

Influencia en los resultados de ensayos de compactación del método de secado y tiempo de humedecimiento previo al moldeo. Caso de Suelo Residual de Misiones, Argentina

Drewes Mario ^a, Rey Leyes Samira R.^a, Posnik Nahuel D.^a, Drewes Ingrid B.^{*b}, Pintos Nicolás A.^b, Reinert Hugo O.^b, Bogado Gustavo O.^{b,c}

^a Integrante del Proyecto, Estudiante de Ingeniería Civil, Laboratorio de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

^b Integrante del Proyecto, Ingeniero Civil, Docente Departamento de Ingeniería Civil, Laboratorio de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

^c Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, CONICET.

e-mails: mariodrewes98@gmail.com, samisrlr3@gmail.com, Nahuel.posnik22@gmail.com, ingrid.drewes@fio.unam.edu.ar, nicolasagustinpintos@gmail.com, hugo.reinert@fio.unam.edu.ar, gustavobogado@fio.unam.edu.ar

Resumen

En este trabajo se comparan resultados en base a una variación en la metodología de trabajo relacionado al secado y tiempo de humedecimiento de muestras de suelo previo al moldeo de cada punto del ensayo Proctor. Se desarrollaron dos procedimientos, en el procedimiento 1 se deja secar el suelo al aire a temperatura ambiente por 7 días para lograr una humedad de trabajo adecuada, y el tiempo de humedecimiento de cada muestra previo al moldeo es de 24 horas, mientras que en el procedimiento 2, el secado se realiza a horno por 24 horas y el tiempo de humedecimiento previo al moldeo es de tan solo 1.5 horas. Los resultados obtenidos presentan diferencias importantes tanto en los valores de humedad óptima, como en la densidad seca máxima alcanzada conforme ensayos de compactación en diferentes energías de acuerdo a las normas IRAM 10511 y VN-E5-93 (Próctor Tipo I, Tipo II y Tipo III).

Palabras Clave – Compactación, Densidad Seca, Humedad óptima, Suelos tropicales.

1 Introducción

Las obras viales que se construyen en la provincia de Misiones tienen como elemento de base los suelos residuales o tropicales lateríticos presentes naturalmente en esta región. A consecuencia, el empleo de suelos compactados en diferentes etapas de proyecto es una realidad, y como tal, resulta necesaria la adecuada caracterización de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos en estado remoldeado, luego de la compactación.

El abordaje de la influencia del tratamiento de secado del suelo en laboratorio, teniendo como referencia las recomendaciones internacionales de la temática, Ávila (2003) [1], los suelos residuales por lo general poseen algo de humedad como agua de cristalización dentro de la estructura de los minerales de arcilla, por lo que el secado a esta temperatura en estufa, puede provocar una deshidratación parcial o total de estos minerales, produciendo cambios irreversibles en las propiedades del suelo.

Visto que la información que se tiene respecto a las características de los suelos tropicales de Misiones, es escasa, desde la Facultad de Ingeniería de la UNaM, y la Dirección Provincial de Vialidad (DPV) se propuso realizar un primer estudio en el tema relacionado a la influencia en los resultados del ensayo Proctor del procedimiento de secado y humedecimiento de los diferentes puntos de moldeo en ensayos de compactación a diferente energía, de acuerdo a las normas IRAM 10511[5] y VN-E5-93[6] (Próctor Tipo I, Tipo II y Tipo III).

Los resultados obtenidos permiten identificar diferencias tanto en la humedad óptima como en la densidad seca máxima conforme los procedimientos de secado y humedecimiento previo al moldeo Proctor, para todas las energías de moldeo consideradas.

2 Metodología

La muestra de suelo utilizada se obtuvo de campo por miembros del Laboratorio de Ingeniería Civil (LIC), de la Facultad de Ingeniería. Su ubicación se puede observar en la siguiente imagen satelital (Fig. 1) y corresponde a las coordenadas de georeferencia: 27°28'23.4"S; 55°05'05.9"W (-27.473168, -55.084973).

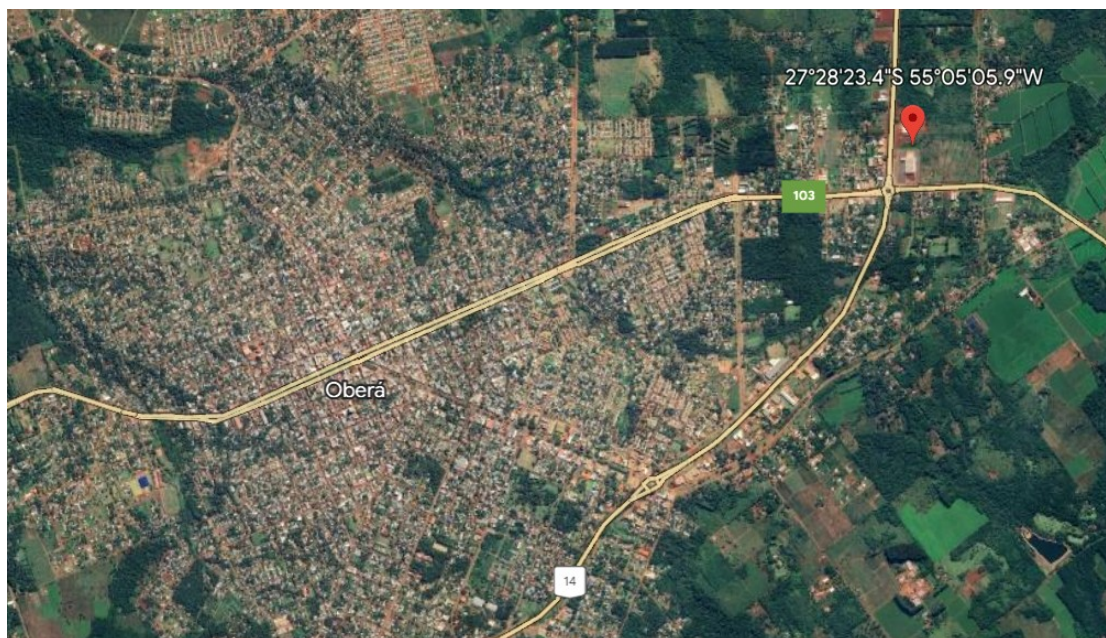


Fig. 1. Ubicación de la muestra utilizada.

Previo a la realización de los ensayos Proctor, se llevaron a cabo los ensayos de caracterización correspondientes, Límites de Atterberg (IRAM 10501-2007) [2], granulometría por tamizado vía húmeda (IRAM 10507-1986) [3], y la correspondiente Clasificación de Suelos (IRAM 10509-1982) [4].

Respecto del ensayo Próctor se proponen dos procedimientos diferentes, que varían esencialmente en los modos de secado previo de la muestra general y el humedecimiento de las porciones de muestra empleadas para los diferentes puntos de moldeo.

Procedimiento 1: Muestra secado al aire y humedecimiento con 24hs de reposo.

El suelo es secado al aire a temperatura ambiente de laboratorio por 7 días y posteriormente mortereado y cribado por el tamiz N° 4 (4.75mm). Con el material pasante se preparan cinco a seis muestras de suelo variando el contenido de agua para conseguir las diferentes humedades de moldeo. Estas muestras se dejan reposar por 24hs en bolsas cerradas para asegurar su correcta homogeneización antes del compactado.

Procedimiento 2: Muestra secado a horno y humedecimiento con 1.5hs de reposo.

El suelo es secado a horno por 16 a 24 horas y posteriormente mortereado y cribado por el tamiz N° 4 (4.75mm). Con el material pasante se preparan cinco a seis muestras de suelo variando el contenido de agua para conseguir las diferentes humedades de moldeo. A diferencia del procedimiento 1, estas muestras se dejan reposar solamente por 1,5hs y ya se compactan para acortar tiempos de ejecución del ensayo.

El ensayo de compactación en ambos procedimientos se rige por la Norma IRAM 10511-1972[5] “Método de ensayo de compactación en laboratorio”, y la Norma de Ensayo VN-E5-93[6] “Compactación de Suelos”, aplicando diferentes energías de compactación.

En la Tabla 1 se presentan las características de ensayo para los diferentes métodos estudiados, Proctor Tipo I, Tipo II y Tipo III.

Tabla 1. Características del ensayo de compactación.

IRAM 10511	Molde		Pisón		N° de capas	N° de golpes por capa	Altura de Caída Pisón	Energía de Compactación
	Capacidad	Diámetro	Diámetro	Masa				
Tipo I	0,94 dm ³	101+1 mm	50 mm	2500 gr	3	25	30.5	6.03 kg/cm ³
Tipo II	0,94 dm ³	101+1 mm	50 mm	4530 gr	5	25	45.7	27.27 kg/cm ³
Tipo III	0,94 dm ³	101+1 mm	50 mm	2500 gr	3	35	30.5	8.44 kg/cm ³

3 Análisis de resultados

En la Tabla2 se presentan los resultados de los ensayos de caracterización de la muestra de suelo. Como se puede apreciar en la clasificación según el SUCS, resulta ser un “ML” limo arcilloso de baja plasticidad, mientras que en la clasificación HRB, se categoriza como A-7-5.

Tabla2. Resultados de ensayos de caracterización.

Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Pasa #200	Clasificación SUCS	Clasificación HRB
44%	32%	12%	97.69%	ML Limo de baja plasticidad	A-7-5

En la Tabla 3 se presentan los resultados de los ensayos de compactación, detallándose los valores de humedad y densidad seca (P.U.V.S. – Peso Unitario Valor Seco) para cada punto moldeado, según el tipo de Próctor y el procedimiento de secado y humedecimiento utilizado.

Tabla 3. Resultados de los ensayos de compactación.

Ensayo N°	PROCEDIMIENTO 1			PROCEDIMIENTO 2		
	Proctor Tipo I	Proctor Tipo II	Proctor Tipo III	Proctor Tipo I	Proctor Tipo II	Proctor Tipo III
	P.U.V.S. [kg/m ³]	P.U.V.S. [kg/m ³]	P.U.V.S. [kg/m ³]	P.U.V.S. [kg/m ³]	P.U.V.S. [kg/m ³]	P.U.V.S. [kg/m ³]
1	1300	1634	1473	1334	1498	1319
2	1343	1809	1545	1391	1543	1459
3	1380	1884	1626	1419	1568	1470
4	1365	1837	1697	1380	1501	1401
5	1325	1774	1642	1303	1378	1314
6	-	-	1586	-	-	-

Ensayo N°	Humedad [%]	Humedad [%]	Humedad [%]	Humedad [%]	Humedad [%]	Humedad [%]
1	30.6	20.8	21.4	25.2	22.4	23.9
2	32.3	22.8	23.0	26.9	24.4	26.2
3	34.2	24.8	25.1	29.0	26.3	28.2
4	35.9	26.8	27.2	31.1	29.3	30.9
5	37.3	28.9	29.3	34.0	31.5	32.5
6	-	-	34.1	-	-	-

En la Fig. 2 se presentan las curvas características del ensayo de compactación (Densidad Seca vs. Humedad de moldeo) para los diferentes ensayos analizados, en ambas alternativas de secado y humedecimiento analizado (Procedimiento 1 y Procedimiento 2).

Se puede observar que, para la energía de compactación más baja (Próctor Tipo I), al secar la muestra al aire a temperatura ambiente, humedecerla y dejarla en reposo por 24hs (Procedimiento 1), la variación de humedad óptima respecto de la muestra secada a horno y humedecida con un tiempo de humectación de 1,5 hs (Procedimiento 2), aumenta considerablemente, requiriendo alrededor de 6% más de humedad para obtener una densidad seca máxima similar.

Sin embargo, para la mayor energía de compactación utilizada (Próctor Tipo II), se logra una mayor densidad seca máxima a menor humedad óptima trabajando con el procedimiento 1, habiendo una diferencia importante entre ambos resultados. La humedad óptima para el procedimiento 1 es de 25.0%, con un P.U.V.S. de 1874 kg/m³, mientras que para el procedimiento 2 la humedad óptima es de 26.2%, con un P.U.V.S. de 1563 kg/m³, es decir que se diferencia en casi un 20% el valor de peso unitario seco alcanzado.

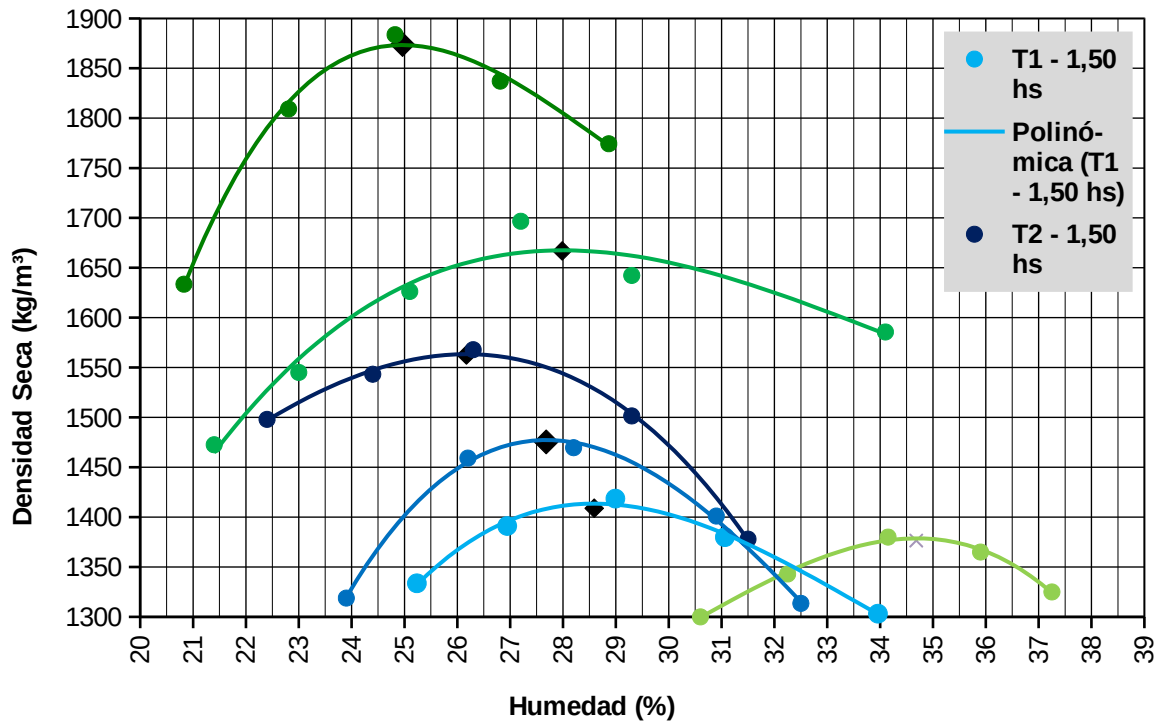


Fig. 2. Curvas características resultado de los ensayos de compactación.

Para el caso del Proctor Tipo III que presenta una energía de compactación intermedia, da como resultado una densidad seca máxima del orden del 13% mayor para el procedimiento 1, con una humedad óptima apenas mayor que la conseguida en el procedimiento 2.

A modo de reflejar lo detallado, se resume en la Tabla 4 las variaciones mencionadas anteriormente.

Tabla 4. Resumen de resultados de ensayos de compactación.

	PROCEDIMIENTO 1			PROCEDIMIENTO 2		
	Próctor Tipo I	Próctor Tipo II	Próctor Tipo III	Próctor Tipo I	Próctor Tipo II	Próctor Tipo III
Humedad Óptima [%]	34.7	28.0	25.0	28.6	27.7	26.2
Densidad Seca Máxima [kg/m ³]	1376	1667	1874	1409	1475	1563

4 Posibles efectos en los cambios de las propiedades

Fookes (1998) [7] indica que la estructura y el comportamiento físico mecánico de los suelos residuales tropicales pueden cambiar por secado aún a bajas temperaturas y algunos de estos cambios son físicos químicos y resultan irreversibles en la granulometría, plasticidad, contracción y densidad de las partículas. Los cambios pueden ser causados por:

- Alteración de los minerales de arcilla por deshidratación parcial;
- Agregación de partículas finas para formar partículas mayores que permanecen unidas aún al rehumedecerse;
- El secado al horno entre 105 y 110 grados centígrados frecuentemente puede cambiar la mineralogía de algunos elementos constituidos en los suelos residuales;
- Efectos de doble capa y agua adsorbida.

5 Conclusiones

Las variaciones observadas entre los resultados de la prueba realizada con los diferentes modos de secado previo y tiempo de humedecimiento para el moldeo de los puntos de Proctor, indican en líneas generales variaciones de consideración.

Para el caso del Proctor Tipo I, la reducción de casi el 6% en el valor de la humedad óptima para el caso de suelo secado previamente a aire, respecto del secado a aire, por más que no se modifique sustantivamente la densidad seca máxima, responde a una referencia sensible en campo al momento de llevar adelante la compactación.

Para el caso del Proctor Tipo II la diferencia en la densidad seca máxima es de casi el 20%, mientras que en el Proctor Tipo III es del 13%, siendo en ambos casos la humedad óptima variable en torno a tan solo el 1%.

El hecho de secar previamente a horno las muestras, responde a una condición exclusiva de laboratorio, muy diferente a la condición de campo.

Asimismo, como se mencionara los suelos residuales tropicales poseen humedad como agua de cristalización, por lo que el secado a esta temperatura en estufa, puede provocar una deshidratación parcial o total de estos minerales, produciendo cambios irreversibles en las propiedades del suelo.

Como observación final, se recomienda trabajar con la modalidad que se indica en el procedimiento 1, es decir, secando al aire a temperatura ambiente las muestras de suelo, y dejándolas reposar por 24hs entre el momento de humedecimiento y el ensayo de compactación propiamente dicho.

La validación de la presente recomendación queda condicionada a la continuidad de los estudios ampliando los sitios de muestras estudiados.

6 Referencias

- [1] AVILA, D. (2003). "Conceptos Básicos de Suelos Residuales". Revista Geotécnia. Volumen 6. Colombia. p. 13-15, 2003.
- [2] 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.
- [3] Norma IRAM 10507 "Método de determinación de la granulometría por tamizado mediante vía húmeda", 1986.
- [4] Norma IRAM 10509 "Clasificación de los suelos, con propósitos ingenieriles", 1982.
- [5] Norma IRAM10511 "Método de ensayo de compactación en laboratorio", 1972.
- [6] Norma de Ensayo VN-E5-93 "Compactación de Suelos", 1993.
- [7] FOOKES, P. G. (2004). "Suelos Residuales Tropicales". Hombre Nuevo Editores. Medellín, Colombia. 235 p.