

Compactación mecánica en muestras de suelo residual con adición de cemento portland normal

Guillermo Cáceres^{a*}, Leiva Enzo^a, Baez Ignacio^a, Fernandez Guadalupe^a, Rabe Maximiliano^a, Reinert Hugo^a

^a *Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ingeniería, Laboratorio de Ingeniería Civil, Oberá, Misiones, Argentina.*

e-mails: caceressguille@gmail.com, enzoleivapro62@gmail.com, ignaciofabianbaez3110@gmail.com, ggfernandez30@gmail.com, rabemaximiliano@gmail.com, hugo.reinert@fio.unam.edu.ar

Resumen

El empleo de cemento portland como elemento de adición a los suelos residuales resulta de aplicación en un número importante de obras civiles, dado que genera un mejoramiento en las propiedades geomecánicas de la mezcla. Sin embargo, la cuantificación de las mejoras resulta poco difundida debido a que no se cuenta con estudios al respecto, en particular para los suelos tropicales regionales. Es por ello que desde el área geotecnia del Laboratorio de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de Oberá, se formuló el proyecto de investigación “Estabilización de Suelos mediante la Incorporación de Cemento y Residuos de la Industria Misionera” como continuidad de proyectos precedentes en la temática, realizándose ensayos de compactación para mezclas de suelo con diferente contenido de cemento, 0%, 2%, 4%, 6%, y 8%, para una muestra de suelo colorado limo arcilloso de la Ciudad de Oberá, Misiones. Los resultados obtenidos, humedad óptima y densidad seca máxima para cada contenido de cemento, muestran correspondencia adecuada para el tipo de suelo, lográndose reducir la humedad óptima e incrementar la densidad seca máxima con el aumento de cemento incorporado en la mezcla.

Palabras Clave – *Compactación Proctor, Suelo-Cemento, Densidad seca máxima, Humedad optima.*

1 Introducción

Los suelos regionales se denominan residuales debido al propio proceso de formación, dado que el material (suelo) proviene de la propia meteorización de la roca matriz y no ha sido transportado desde su localización original, siendo en principio roca, luego saprolito, y finalmente la evolución llega hasta el suelo conocido regionalmente como colorado.

En los diferentes usos del suelo como elemento de construcción, el mismo puede ser transportado por medios mecánicos a sitios diferentes, por lo que usualmente para su empleo requiere mecanismos de compactación o mejora que le otorgan nuevas propiedades geomecánicas, dada la incorporación de energía para su mejoramiento.

Los suelos residuales de la región bajo el análisis del sistema unificado de clasificación de suelos responden por lo general a ML o MH (limos arcillosos de baja o alta plasticidad), mientras que para el sistema de clasificación HRB (Highway Research Board) estos suelos se clasifican por lo general como A-5, A-6 o A-7.

*caceressguille@gmail.com

Las referencias bibliográficas, y en particular la Norma de Ensayo VN-E20-66 indica que para estos suelos, el porcentaje en peso de cemento a incorporar para su empleo en obras como elemento compactado, debe ser próximo al 13%, valor que resulta prohibitivo regionalmente dado los costos asociados que demandaría.

En el presente trabajo, se han iniciado los ensayos para la evaluación de la influencia en la densidad seca máxima alcanzada en ensayo Proctor Normal, del contenido de cemento con 0%, 2%, 4%, 6%, y 8% en la mezcla de suelo. Estos valores adoptados se encuentran todos por debajo de la recomendación de la Norma de Vialidad Nacional, por lo que los resultados obtenidos resultan de gran importancia para describir el comportamiento geomecánico en tales condiciones.

2 Metodología

La muestra de suelo empleada para en el presente trabajo ha sido tomada de la zona centro de la provincia de Misiones, más específicamente en la Ciudad de Oberá, y trasladada en condiciones adecuadas para su almacenamiento y conservación al Laboratorio de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería donde se procedió a realizar los ensayos planificados.

Dado el exceso de humedad natural que posee el suelo, inicialmente el mismo se dispone para secado al aire durante un período prudencial, en general del orden de una semana, para luego realizar el cribado por tamiz N° 4, y seguidamente almacenarla en bolsas plásticas convenientemente identificadas.

En cuanto a los ensayos realizados, para el caso de suelo sin cemento, se desarrollaron los correspondientes ensayos de caracterización, Límites de Atterberg (IRAM 10501-2007) [1], granulometría por tamizado vía húmeda (IRAM 10507-1986) [2], clasificación de suelos (IRAM 10509-1982) [3], así como la determinación de gravedad específica (IRAM 10503-2007) [4].

Para el caso de los ensayos de compactación desarrollados, se procedió conforme la Norma IRAM 10511 [5], tomando las recomendaciones particulares de la Norma de Ensayo VN-E20-66 [6].

Como parte del procedimiento se ha trabajado con suelo previamente preparado en cantidad suficiente para el moldeo de cada punto, el cual se ha llevado a humedad establecida, variando entre diferentes puntos en el orden del 2 al 3% de humedad. Estas muestras se acondicionaron en bolsas plásticas, definiendo en todos los casos 24 horas de maceración antes de la correspondiente compactación.

Para el caso de las muestras de puntos en que se incorpora cemento, esto se lleva a cabo inmediatamente antes del moldeo, realizando la mezcla correspondiente conforme la dosificación en peso determinada para cada caso.

En la Figura 1 se muestra el procedimiento de laboratorio. En primer lugar, la incorporación de agua mediante el rociador en el suelo preparado. Seguidamente se incorpora el cemento el cual previamente se pasa por tamiz número 40 para reducir los grumos. Finalmente, con la muestra homogeneizada se realiza la compactación en molde Proctor, obteniendo la probeta recuperada luego de las tres capas de compactación.

En la Tabla 1 se detallan las características del ensayo desarrollado, en cuanto a dimensiones del molde, peso del pisón, numero de capas y cantidad de golpes correspondientes, referidos al Método Normal Alternativa B de la Norma IRAM 10511.



Fig. 1. Imágenes Fotográficas del procedimiento de moldeo en laboratorio.

Tabla 1: Características del ensayo de compactación

IRAM 10511	Molde		Pisón		Nº de capas	Nº de golpes por capa
	Capacidad	Diámetro	Diámetro	Masa		
Método normal – Alternativa B	0,94 dm ³	101+1 mm	50 mm	2500 gr	3	25

3 Presentación y Análisis de Resultados

Para el caso de suelo sin cemento, es decir en condiciones naturales, se desarrollaron los correspondientes ensayos de caracterización, límites de consistencia, granulometría por lavado tamiz 200 y gravedad específica, presentándose los resultados obtenidos en Tabla 2.

Asimismo, se presenta la clasificación alcanzada en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, donde se identifica como Limo de baja plasticidad (ML), mientras que en el sistema de Clasificación del HRB se caracteriza como A-5.

Tabla 2: Resultados de Ensayos de Caracterización (SS: Suelo Solo)

Muestra	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice de Plasticidad (%)	Pasa Tamiz 200 (%)	Gravedad Específica (-)	Clasificación SUCS	Clasificación HRB
Suelo Solo	47.25	37.45	9.80	98.80	2.83	ML	A-5

En la Tabla 3 se presenta a modo de resumen los resultados obtenidos de Humedad Óptima (HO) y Densidad Seca Máxima alcanzada (DSmax) de cada uno de los ensayos Proctor realizados, con 0%, 2%, 4%, 6%, y 8% de incorporación de cemento en peso.

En la Figura 2 se presentan las curvas de compactación obtenidas para cada caso, donde se puede observar la trayectoria seguida en cada prueba tanto en rama seca como en rama húmeda de cada ensayo realizado.

Tabla 3: Resultados de Ensayos Proctor Método Normal (SS: Suelo Solo; SC: Suelo Cemento)

Muestra	SS-0%	SC-2%	SC-4%	SC-6%	SC-8%
HO [%]	34.70	33.20	33.00	32.50	31.80
DSmax [gr/cm ³]	1.374	1.402	1.395	1.415	1.424

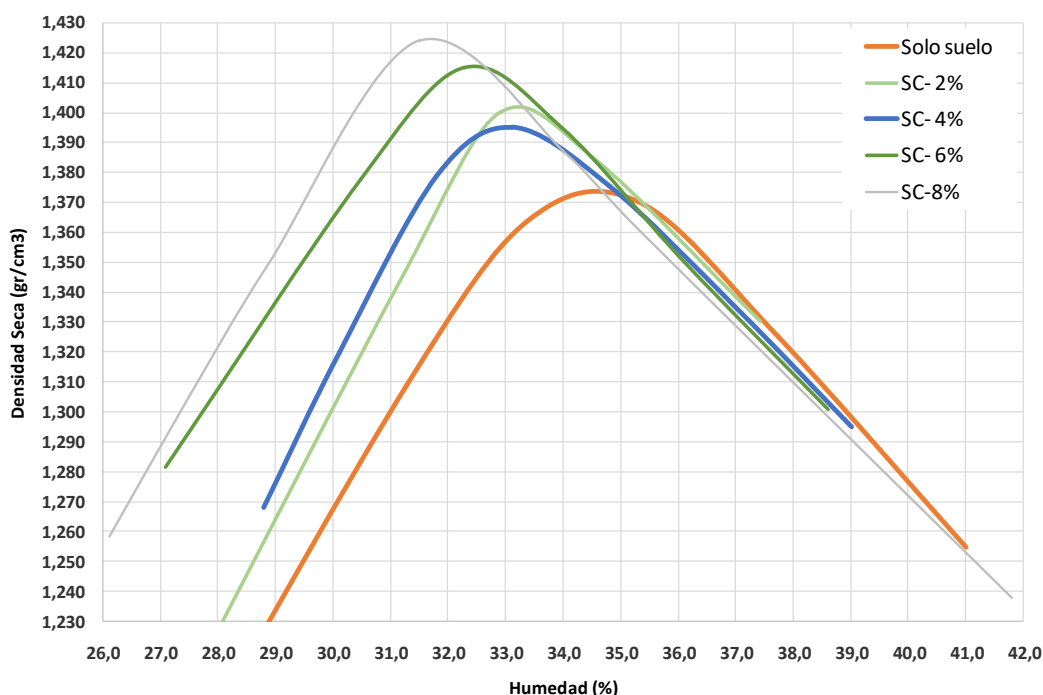


Fig. 2. Curvas de compactación obtenidas para cada caso analizado (0%, 2%, 4%, 6%, y 8%).

En la Figura 3 y Figura 4 se presentan resultados de la correlación propuesta para la variación de los contenidos de cemento y los datos característicos del ensayo de compactación, esto es, la variación de la Humedad Óptima y Densidad Seca Máxima alcanzada en relación con el contenido de cemento incorporado para los distintos ensayos Próctor llevados a cabo.

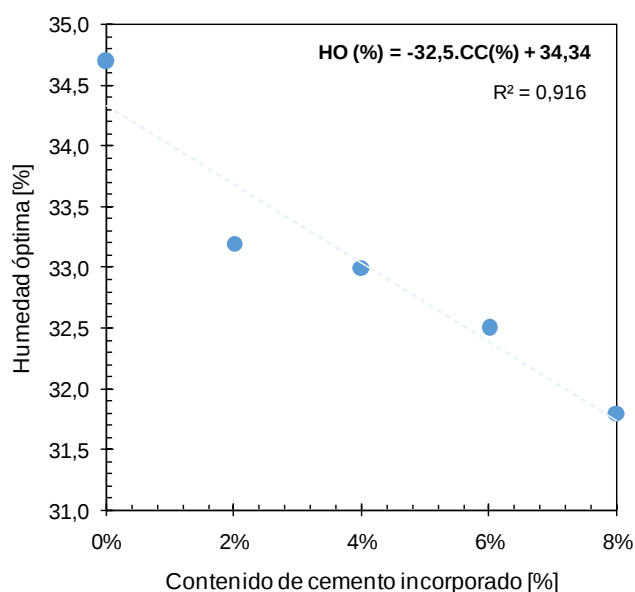


Fig. 3. Variación de humedad óptima alcanzada vs contenido de cemento incorporado.

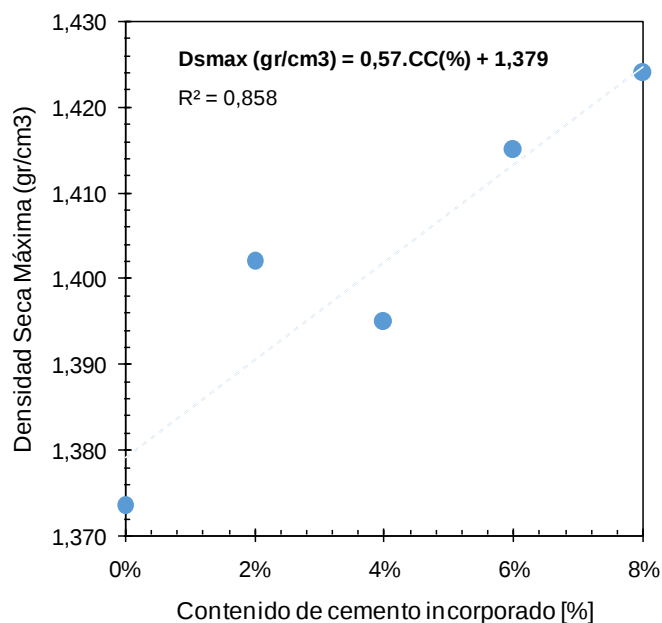


Fig. 4. Variación de Densidad Seca Máxima alcanzada vs contenido de cemento incorporado.

El análisis de los resultados obtenidos para el caso de variación de la humedad óptima con el contenido de cemento, indica que, a mayor cantidad de cemento, se requiere menor humedad de

referencia para alcanzar la densidad seca máxima. Esta diferencia entre los extremos analizados, esto es entre 0% y 8% de contenido de cemento, resultó en el orden del 3%.

Situación inversa a la mencionada se da para el caso de la densidad seca máxima, la cual aumenta con el incremento en el contenido de cemento incorporado a la mezcla, aunque si se verifica la diferencia absoluta, se podrá comprobar que el incremento no es muy importante.

En ambos casos el ajuste logrado en la regresión lineal dado por R^2 , resultan aceptables, con la particularidad que para el caso del 2% de incorporación de cemento se dieron las mayores dispersiones en ambos parámetros analizados.

Tomando en cuenta la falta de información referente a los resultados geomecánicos de las mezclas de suelos regionales con cemento, los ensayos realizados resultan de mucha utilidad para describir el comportamiento y para el registro de los guarismos de referencia en estos suelos [7], [8], [9].

4 Conclusiones

Los resultados de ensayos de caracterización y de compactación Proctor realizados sobre una muestra de suelo de la zona centro de la Provincia de Misiones, más específicamente la Ciudad de Oberá, permiten caracterizar al suelo en estudio como Limo de baja plasticidad según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, o bien como A-5 según el Sistema HRB.

Asimismo, los ensayos Proctor realizados con suelo cemento con 0%, 2%, 4%, 6%, y 8% de incorporación de cemento en peso, permiten afirmar que con el aumento del porcentaje incorporado se logra un aumento de la Densidad Seca Máxima y una disminución de la humedad óptima.

Estos resultados otorgan la presunción de que las propiedades geomecánicas necesariamente han de mejorar, dado el aumento de la densidad que se logra con la incorporación del cemento aun en baja proporción.

Esta tendencia mencionada se mantiene desde el 0% de contenido de cemento, lo cual amerita continuar el análisis ya que como se mencionara precedentemente las referencias bibliográficas recomiendan trabajar con un 13% de incorporación de cemento.

Como parte de otros trabajos, se han evaluado las propiedades relacionadas a la compresión simple de las mezclas, en relación con los días de curado del cemento, lo cual ha de ser evidencia del beneficio de la incorporación de cemento, tareas aun en desarrollo.

5 Agradecimientos

Se agradece la colaboración de los integrantes adscriptos al proyecto de investigación en desarrollo en el Laboratorio de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones.

6 Referencias

- [1] 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.
- [2] Norma IRAM 10507 “Método de determinación de la granulometría por tamizado mediante vía húmeda”, 1986.
- [3] Norma IRAM 10509 “Clasificación de los suelos, con propósitos ingenieriles”, 1982.
- [4] Norma IRAM 10503 “Método de determinación de la densidad relativa de los sólidos y de la densidad de los sólidos de un suelo”, 2007.
- [5] Norma IRAM 10511 “Método de ensayo de compactación en laboratorio”, 1972.
- [6] Norma VN-E20-66 “Determinación de dosaje para ensayar mezclas de suelo-cemento”, 1966.
- [7] Horn Jonatan; Drewes Mario; Alvez Angela; Rey Leyes Samira; Villalba Castillo Florencia; Pintos Nicolás Agustín; Hugo Reinert; Bogado Gustavo (2022). Análisis de resultados en ensayos de compactación para mezclas suelo-cemento. Jornadas de Investigación, Desarrollo Tecnológico, Extensión y Vinculación. Oberá Misiones. Vol1-Año 2022-ISSN 2591-4219.
- [8] Drewes, Mario; Bogado, Gustavo O.; Horn, Jonatan R.; Bressan, Daniel A.; Pintos, Nicolás A.; Reinert, Hugo O. (2022). Variación de la resistencia a la compresión simple en muestras de suelo cemento. Salão do Conhecimento, 5(5). XXX Seminário de Iniciação Científica - Salão do Conhecimento 2022, Brasil. ISSN 2318-2385.
- [9] Bogado, Gustavo. O.; Reinert, Hugo. O.; Drewes, Mario; Francisca Franco M. (2023). Influencia del porcentaje de cemento en el comportamiento físico-mecánico inicial de suelos lateríticos de Misiones. XXVI Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, Comodoro Rivadavia, Argentina.