

Caracterización y mejoramiento de muestras de suelo residual con adición de agregado basáltico 0-6mm

Drewes Ingrid B.^a, Pintos Nicolás A.^a, Demonari Fernando E.^a, Ozuna Ramón^a, Horn Jonatan^a.

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

e-mails: ingrid.drewes@fio.unam.edu.ar, nicolás.pintos@fio.unam.edu.ar, fernandodemonari@gmail.com
, ozunaramon.ing@gmail.com, wwwhyona@gmail.com

Resumen

En el presente trabajo se exponen resultados de ensayos de caracterización, específicamente granulometría por vía húmeda, límites de Atterberg, y ensayos de compactación Proctor Tipo III, realizados sobre tres muestras de suelo provenientes de la zona centro-sur de la provincia de Misiones, con adición de agregado granular 0-6 en diferentes porcentajes. Con esta incorporación se busca aumentar el aprovechamiento de un material de muy poca salida comercial, que es generador de inconvenientes medioambientales. Como resultado se muestra que se trata de un suelo A-7-5 en estado natural, manteniéndose en esta clasificación o llegando a un A-5 según la muestra y el porcentaje de adición de binder (HRB). Además, se observa una marcada tendencia a una menor humedad óptima a mayor sea el porcentaje de participación del agregado de trituración 0-6mm, y una reducción de la plasticidad en correspondencia. Se prevé continuar estudiando estas mezclas, incluso adicionando diferentes ensayos para evaluar si se produce una mejora sensible de la capacidad portante del suelo.

Palabras Clave – Binder, Suelos residuales, Plasticidad, Proctor.

1 Introducción

En el marco del Proyecto de investigación “Estabilización de Suelos mediante la Incorporación de Cemento y Residuos de la Industria Misionera”, en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones, y en conjunto con el Laboratorio de la Dirección Provincial de Vialidad (D.P.V.), se estudian los suelos residuales de la Provincia de Misiones, con o sin adición de materiales en diferentes porcentajes, con el fin de conocer mejor sus propiedades y si estas adiciones proporcionan mejoras respecto del uso del suelo en estado natural.

Este trabajo expone particularmente los resultados de ensayos a muestras de suelo de 3 sitios dentro de la zona Centro-sur de la provincia de Misiones, con la incorporación de material granular 0-6mm, comúnmente denominado como “binder”. Dicha fracción suele ser aprovechada en la producción de mezclas asfálticas, principalmente en la zona sur de la provincia, pero en la zona centro y norte no posee prácticamente salida comercial, generando conflictos medioambientales con vecinos, por la presencia de partículas de polvo basáltico en el aire en días ventosos y en los cursos de aguas menores (arroyos) en épocas de lluvias abundantes. Además, se generan sobrecostos de explotación, en las canteras, por los espacios de acopio requeridos y movimientos de transporte desde las cintas hasta los mismos, entre otros.

La estabilización y mejora de los suelos residuales a partir de la incorporación de cal o cemento, está ampliamente probada, pero el contenido de humedad natural de los suelos y el elevado régimen pluviométrico de la provincia (media anual de 2000mm), hacen que las tareas de distribución y homogenización sean muy dificultosas en campo, para algunas épocas del año, además del costo que implica la adición de los materiales cementantes.

El apropiado diseño de una mezcla de suelo limo arcillosos rojizo con incorporación de agregados basálticos triturados se plantea como una probable solución para, por ejemplo, generar una capa de rigidez intermedia entre la subrasante de suelo y los estabilizados granulares que se ubican por debajo de las capas asfálticas. La mezcla de estos materiales en proporciones adecuadas, permitiría obtener un correcto escalonamiento modular: Subrasante-Sub base-Base, además del aprovechamiento de un material de muy poca salida comercial, que genera inconvenientes medioambientales, considerado incluso como descarte en algunas canteras.

Para el estudio de las muestras se realizan los ensayos de Granulometría y Límites de Atterberg para su caracterización, y Ensayos de Compactación Proctor Tipo III, con el fin de hallar la humedad óptima para esta energía de compactación, para cada muestra y porcentaje de adición del agregado granular. Los ensayos se realizan sobre muestras de suelo natural (0% de agregado binder), y con adición del binder al suelo en porcentajes del 15%, 30% y 45% en peso seco, obteniendo así 4 puntos de análisis por cada sitio, en cada ensayo (Límites de Atterberg y Compactación Proctor).

2 Metodología

Los suelos residuales utilizados para esta investigación son en todos los casos limo arcillosos rojizos de diferentes puntos de la provincia de Misiones. Este tipo de suelos en su gran mayoría poseen alrededor de un 90% de pasante del tamiz IRAM 75 μ (tamiz #200) en tamizado por vía húmeda, con índices de plasticidad mayores a 12 lo que los clasifica generalmente como suelos A-7-5 o A-7-6 (ML o MH en SUCS).

En el caso del agregado basáltico 0-6mm se trata de una fracción proveniente de la trituración de basaltos “densos y sanos”, dependiendo del proceso de trituración de cada cantera sus contenidos de polvo (pasante tamiz IRAM 75 μ en tamizado por vía húmeda) pueden variar entre un 10 a 18% y el comportamiento de la fracción pasante tamiz IRAM de 420 μ (Tamiz #40) debe tener un índice de plasticidad menor a 4 (comportamiento no plástico). A continuación, se muestran imágenes de los dos materiales utilizados y una gráfica de curva granulométrica para las muestras de cantera Santa María, Posadas y yacimiento San isidro.



Fig. 1 Muestra de suelo analizada



Fig. 2 Muestra de binder analizada

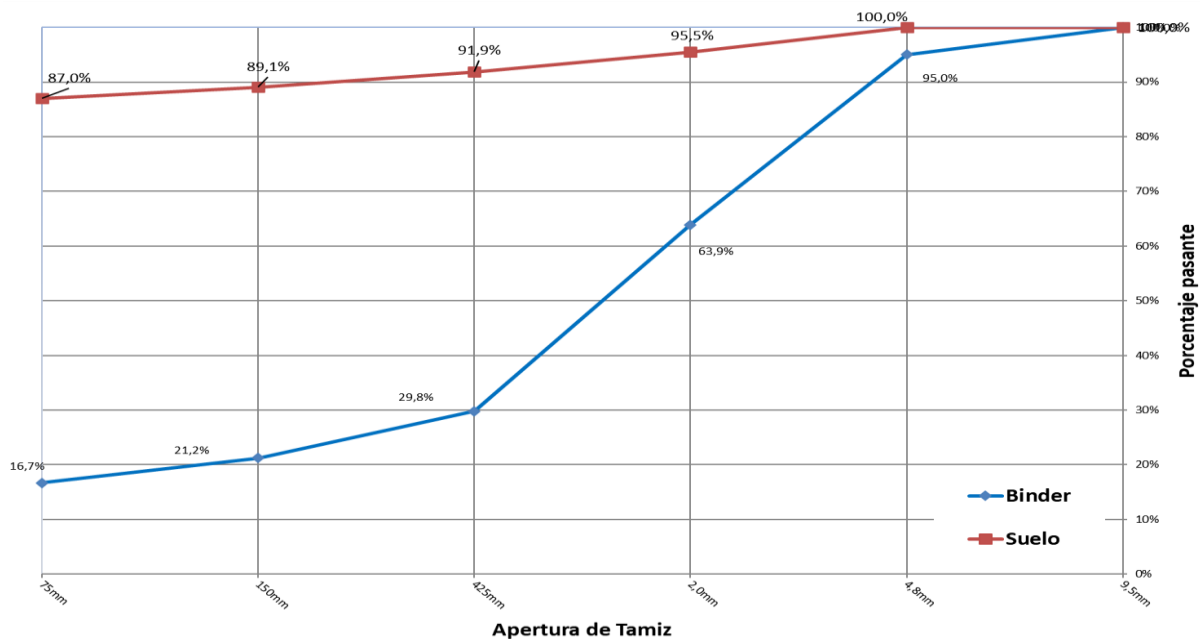


Fig. 3 Curvas Granulométricas de Binder y Suelo Limo arcilloso Rojizo

3 Características de los Materiales Naturales

Las muestras de suelo utilizadas se obtuvieron de campo por miembros del Laboratorio de la D.P.V. Su ubicación se puede observar en la siguiente imagen satelital (Fig.) y corresponden a las coordenadas expuestas en la tabla a continuación (Tabla 1):

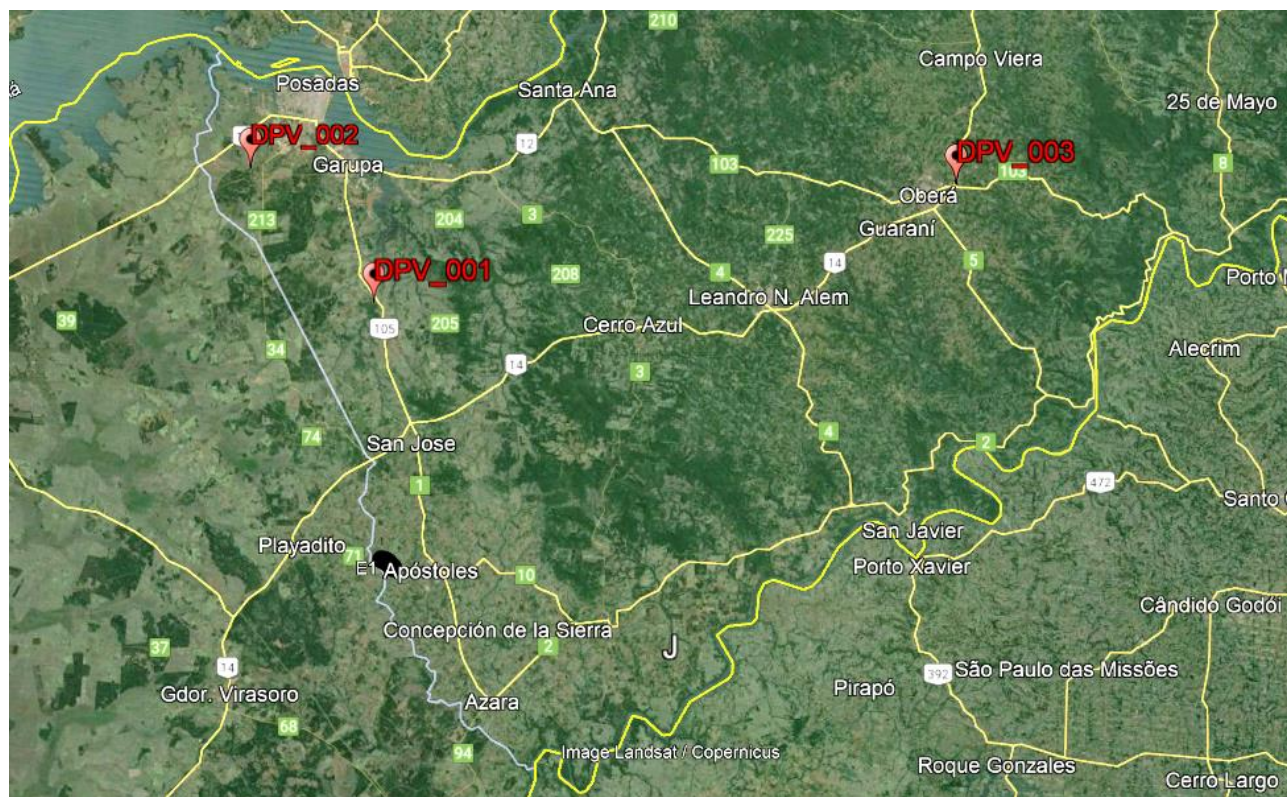


Fig. 4. Ubicación de las muestras analizadas.

Tabla 1: Coordenadas de los sitios en estudio.

Denominación		Localidad	Coordenadas
DPV_001	Autovía 105	Fachinal	27°36'36.2"S 55°49'42.4"W
DPV_002	San Isidro	Posadas	27°27'27.1"S 55°59'10.0"W
DPV_003	DINI	Oberá	27°28'23.4"S 55°05'05.9"W

Para el muestreo y preparación de muestras se siguió la siguiente rutina:

- Muestreo de suelo en yacimientos (250 Kg húmedos) y agregado basáltico 0-6mm en canteras (100 Kg Húmedos). Estas cantidades prevén ensayos sobre el suelo sin adiciones y para mezclas con agregado 0-6mm en porcentajes de 15, 30 y 45% (relaciones en peso seco)
- Secado “a horno” de agregado 0-6mm (100°C ±5° por aproximadamente 24 hs)

c) Secado “a aire” del suelo y tamizado por #N°4 (IRAM 4.8mm): Se deberán romper los terrones gruesos de suelo, por medios manuales. Antes de generar el acopio en bolsas, se debe homogeneizar toda la muestra pasante #4, ya sea con mezclado en lona o a pala.

d) Determinación de la humedad natural inicial del suelo en acopio, embolsado e identificación de las muestras.

Se preparan las mezclas de suelo y agregado 0-6mm en las proporciones indicadas anteriormente, y se acopian en bolsas independientes, para proceder a las rutinas de ensayos.

A cada muestra se le realiza primeramente los ensayos de caracterización correspondientes, Límites de Atterberg (IRAM 10501-2007) ^[1], Granulometría por tamizado vía húmeda (IRAM 10507-1986) ^[2], Clasificación de Suelos (IRAM 10509-1982) ^[3].

Luego se preparan al menos 6 bolsas de aproximadamente 2.250gr de material en humedad de acopio (≈ 10 a 15%). La cantidad de agua a agregar a cada bolsa será tal que entre punto y punto del ensayo se produzcan saltos de 2 puntos porcentuales, por ejemplo: 20%, 22%, 24%, 26%, 28%, etc. Se dejará homogeneizar la humedad dentro de cada bolsa cerrada por al menos 24 hs, antes de realizar el proceso de compactación Proctor tipo III ^[4] de la norma VN-E5-93, o su equivalente en norma IRAM 10511 ^[5].



Fig. 5: Yacimiento de suelo DPV_001



Fig. 6: Muestras de suelo con adición de binder

4 Presentación y Análisis de Resultados

Como resultado de los ensayos de granulometría por vía húmeda se tiene que todas las muestras de suelo natural corresponden a un A-7-5, manteniéndose la misma o llegando a ser un A-5 según sea la muestra y el porcentaje de adición de binder (según la clasificación HRB). En el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos se identifican como Limos de baja o Alta plasticidad (ML o MH).

En las siguientes tablas se exponen los resultados obtenidos de los límites de Atterberg de cada uno de los ensayos realizados para 0%, 15%, 30% y 45% de agregado granular 0-6mm (relaciones en peso seco).

Tabla 2: Resultados de ensayos para límites de Atterberg – Muestra: DPV_001.

[0-6mm]	Límites de Atterberg			
	LL	LP	IP	HRB
0 %	68,16%	43,56%	24,59%	A-7-5
15 %	59,71%	38,55%	21,16%	A-7-5
30 %	56,71%	36,19%	20,52%	A-7-5
45 %	56,13%	38,12%	18,01%	A-7-5

Tabla 3: Resultados de ensayos para límites de Atterberg – Muestra: DPV_002.

[0-6mm]	Límites de Atterberg			
	LL	LP	IP	HRB
0 %	49,65%	35,52%	14,13%	A-7-5
15 %	49,69%	35,82%	13,87%	A-7-5
30 %	41,47%	30,35%	11,12%	A-7-5
45 %	41,34%	30,58%	10,76%	A-7-5

Tabla 4: Resultados de ensayos para límites de Atterberg – Muestra: DPV_003.

[0-6mm]	Límites de Atterberg			
	LL	LP	IP	HRB
0 %	44,09%	32,00%	12,09%	A-7-5
15 %	45,68%	37,75%	7,93%	A-5
30 %	43,14%	34,70%	8,44%	A-5
45 %	47,33%	33,00%	14,33%	A-7-5

En la figura 7 se muestra la variación de los límites de Atterberg: Límite líquido (LL), Límite Plástico (LP) e índice de Plasticidad (IP) según se incremente el porcentaje de participación de agregado basáltico 0-6mm, donde se observa una tendencia a la disminución de estos valores a mayor porcentaje de agregados, aunque se observan algunos valores que no se ajustan a dicha tendencia.

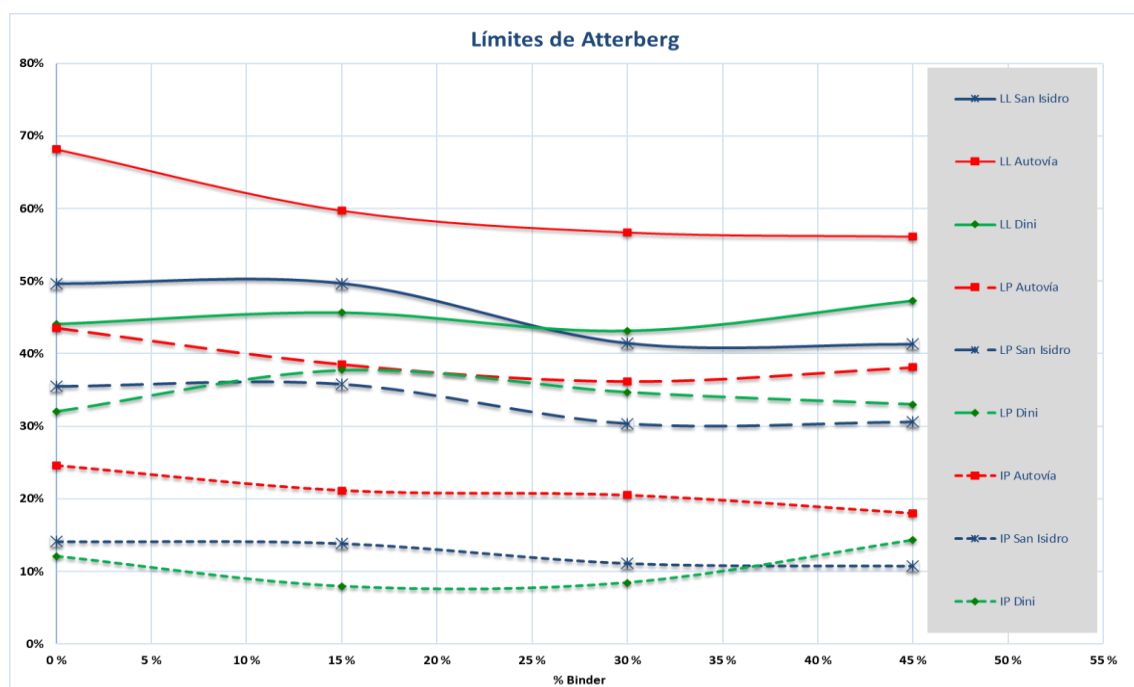


Fig. 7. Límites de Atterberg.

En las siguientes tablas se exponen los resultados obtenidos de Humedad (Hum.) y Densidad Seca (P.U.V.S.) de cada uno de los ensayos Proctor realizados para 0%, 15%, 30% y 45% de agregado granular 0-6mm.

Tabla 5: Resultados de ensayos Proctor – Muestra: DPV_001.

0%		15%		30%		45%	
P.U.V.S. [gr/cm³]	Hum. [%]	P.U.V.S. [gr/cm³]	Hum. [%]	P.U.V.S. [gr/cm³]	Hum. [%]	P.U.V.S. [gr/cm³]	Hum. [%]
1.307	28.76	1.424	22.97	1.518	18.76	1.721	15.93
1.402	30.78	1.483	24.38	1.619	21.65	1.794	17.49
1.351	33.69	1.532	25.75	1.645	23.76	1.809	19.00
1.276	37.30	1.534	27.23	1.624	25.00	1.798	19.90
1.200	38.82	1.510	28.21	1.558	27.55	1.730	21.85
		1.446	29.23				

Tabla 6: Resultados de ensayos Proctor – Muestra: DPV_002.

0%		15%		30%		45%	
P.U.V.S. [gr/cm³]	Hum. [%]	P.U.V.S. [gr/cm³]	Hum. [%]	P.U.V.S. [gr/cm³]	Hum. [%]	P.U.V.S. [gr/cm³]	Hum. [%]
1.473	24.90	1.566	19.10	1.632	16.40	1.662	13.40
1.504	26.80	1.629	20.80	1.746	18.10	1.843	15.20
1.497	28.50	1.636	23.10	1.742	20.00	1.863	16.80
1.457	29.90	1.567	25.10	1.681	21.80	1.807	18.50
		1.530	27.50	1.619	23.60	1.718	21.10

Tabla 7: Resultados de ensayos Proctor – Muestra: DPV_003.

0%		15%		30%		45%	
P.U.V.S. [gr/cm ³]	Hum. [%]	P.U.V.S. [gr/cm ³]	Hum. [%]	P.U.V.S. [gr/cm ³]	Hum. [%]	P.U.V.S. [gr/cm ³]	Hum. [%]
1.319	23.90	1.441	22.65	1.466	17.55	1.576	14.85
1.459	26.20	1.550	24.74	1.580	19.33	1.726	16.14
1.470	28.20	1.529	26.85	1.608	20.63	1.776	18.72
1.401	30.90	1.498	28.21	1.633	22.75	1.711	20.92
1.314	32.50			1.570	24.90	1.672	22.45

En la Figura 8 se presentan las curvas de compactación obtenidas para cada caso, donde se observa el comportamiento del suelo o suelo-binder para diferentes humedades, a una misma energía de compactación ($\approx 8.50 \text{ Kgcm/cm}^3$).

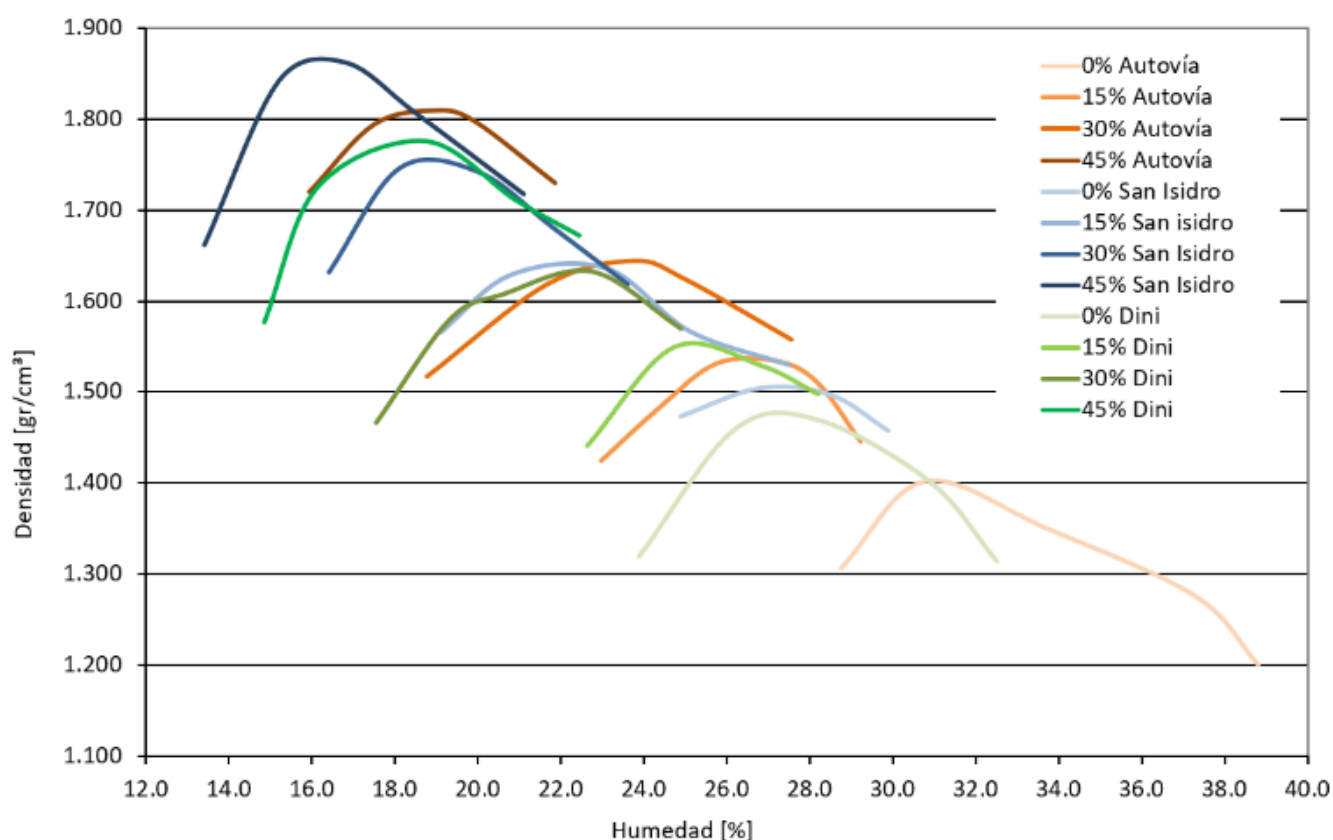


Fig. 8. Curvas Densidad - Humedad.

De los resultados obtenidos se puede interpretar una clara tendencia de que a mayor contenido de agregado basáltico 0-6mm, se alcanzan mayores densidades secas con menores humedades óptimas.

5 Conclusiones y próximas etapas

- ✓ La adición de agregado basáltico 0-6mm a suelos limo arcillosos rojizos, en diferentes proporciones, presenta una reducción de la plasticidad de la mezcla, aunque dicha reducción no es tan efectiva como se esperaría, debido a que en el tamiz IRAM de 420 μ (#40), los porcentajes de participación del agregado basáltico son menores debido a su graduación granulométrica (en la mezcla 55% suelo-45% binder, la proporción pasa tamiz #40 es aproximadamente 80% suelo-20% binder)
- ✓ En el ensayo de compactación Proctor (tipo III), se observa en todas las mezclas una clara tendencia a una menor humedad óptima a mayor sea el porcentaje de participación del agregado de trituración 0-6mm.
- ✓ Así también a mayor porcentaje de binder, mayor es la densidad seca máxima obtenida.

Se prevé incrementar la cantidad de muestras de suelo y mezclas correspondientes con al menos dos yacimientos más del centro y norte de la provincia.

Se continuará con la rutina de ensayos comparando ensayos de Compresión simple no confinada – IRAM 10518-1970 ^[6], y de Valor Soporte Relativo según IRAM 10520-1971 ^[7], para evaluar si se produce una mejora sensible de la capacidad portante del suelo.

6 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, y a los laboratoristas y técnicos de la Dirección Provincial de Vialidad.

7 **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] Recomendación final de la Tesina: “Definición de las condiciones de equilibrio de los suelos lateríticos denominados suelos rojos de la Provincia de Misiones”. Dr. Néstor Raúl Siviero. Facultad de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario.
- [5] Norma IRAM 10511 “Método de ensayo de compactación en laboratorio”, 1972.
- [6] Norma IRAM 10518 “Método de determinación de resistencia a la compresión no confinada en suelos cohesivos”, 1970.
- [7] Norma IRAM 10520 “Método de la determinación del valor soporte relativo e hinchamiento de los suelos”, 1971.