

## Relación Entre Resultados de Ensayos de Compactación y Propiedades Geotécnicas Índices de Suelos Residuales de Misiones, Argentina

Morgenstern Melina E. <sup>a</sup>, Tkachuk Matías G. <sup>b</sup>, Demonari Fernando E. <sup>c</sup>, Basile Alejandro M. <sup>d</sup>, Semañuk Mario A. <sup>e</sup>, Drewes Ingrid B. <sup>f</sup>, Bogado Gustavo O. <sup>g</sup>, Bressan Daniel A. <sup>h</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>b</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>c</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>d</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>e</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>f</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>g</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>h</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

[meelimor04@gmail.com](mailto:meelimor04@gmail.com), [matiastkachuk@gmail.com](mailto:matiastkachuk@gmail.com), [fernandodemonari@gmail.com](mailto:fernandodemonari@gmail.com), [marianobasile023@gmail.com](mailto:marianobasile023@gmail.com),  
[msem1994@gmail.com](mailto:msem1994@gmail.com), [ingridbdrewes@gmail.com](mailto:ingridbdrewes@gmail.com), [gustavobogado@fio.unam.edu.ar](mailto:gustavobogado@fio.unam.edu.ar), [bressanobe@gmail.com](mailto:bressanobe@gmail.com)

---

### Resumen

Los suelos residuales compactados, demuestran un buen desempeño en diversas obras civiles, en contradicción con su clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. Por esto, el proyecto “Estudio de comportamiento geomecánico de suelos residuales compactados” (código 16/I145) de la Facultad de Ingeniería de Oberá, propone elaborar un registro de las propiedades geomecánicas de los suelos residuales compactados de la provincia. En el marco de este proyecto, se propone analizar correlaciones entre parámetros de compactación y propiedades geotécnicas índices.

Las propiedades estudiadas fueron: límites de Atterberg (IRAM 10501-2007), granulometría por tamizado vía húmeda (IRAM 10507-1986), y Clasificación de Suelos (IRAM 10509-1982). Además, se realizaron ensayos de compactación en sus dos variantes “Método Normal” y “Método Normal, alternativa B” (IRAM 10511-1972).

Según el SUCS, los suelos ensayados se clasificaron como limos de alta o baja plasticidad. En cuanto a los resultados de ensayos de compactación, al variar la energía de compactación del método Normal a su alternativa B, existe un aumento de la densidad seca máxima y una disminución de la humedad óptima. Con respecto a la correlación entre las propiedades índice y los parámetros de compactación (humedad óptima y densidad seca máxima) los guarismos obtenidos, demuestran correspondencias favorables.

**Palabras Clave:** Compactación, Densidad seca máxima, Humedad óptima, Límite líquido, Pasante tamiz 200, Propiedades índice.

### 1. Introducción

Todas las obras de ingeniería civil, cuentan con un material fundamental para su sustentación y/o fundación: el suelo. Además de esto, este material en estado compactado, puede formar parte de varias etapas de los proyectos ingenieriles, por lo tanto, es de suma importancia su estudio. Al revisar la clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el Highway Reserch Board (HRB), caracteriza a los suelos de la zona como limos de alta o baja plasticidad, no

aptos para su utilización en bases o sub-bases de pavimentos. Con este argumento, el proyecto “Estudio de comportamiento geomecánico de suelos residuales compactados” (código 16/I145) de la Facultad de Ingeniería de Oberá propone estudiar los suelos de la provincia de Misiones para generar un registro de las propiedades geomecánicas del suelo en estado compactado, para demostrar el buen desempeño de este material en diversas obras.

El presente trabajo es una ampliación del trabajo “ANÁLISIS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN SUELOS TROPICALES DE MISIONES, ARGENTINA”<sup>1</sup>, donde se estudiaron mediante ensayos de laboratorio bajo la normativa IRAM, las propiedades índices y los parámetros de compactación a dos energías de referencia de los suelos residuales de la provincia. Luego, se obtuvieron correlaciones importantes entre los parámetros de compactación: densidad seca máxima (DSM) y humedad óptima (HO) y propiedades índice, correlaciones útiles para estudios de anteproyectos.

## 2. Metodología

Las muestras de suelo se obtienen como parte de servicios a terceros que brinda la Facultad o bien son buscados en campo por los integrantes del proyecto.

Se ensayaron un total de diez sitios, como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1: Designación de muestras ensayadas

Designación	Localidad	Tipo de Obra
FI001	L. N. Alem	Obra Industrial
FI003	Panambí	Estación Transformadora
FI005	Oberá	Estación Transformadora
FI006	Guaraní	Obra Industrial
FI007	Oberá	Obra edilicia
FI008	Oberá	Obra edilicia
FI009	Oberá	Obra Vial
FI011	Oberá	Reserva Natural
GCM01	Aristóbulo del Valle	Estación Transformadora
GCM02	Posadas	Conjunto Habitacional

En primer lugar, se realizaron los ensayos de caracterización: Límites de Atterberg – Norma IRAM 10501-2007<sup>2</sup>, Granulometría por tamizado vía húmeda – Norma IRAM 10507-1986<sup>3</sup>, y Clasificación de Suelos – Norma IRAM 10509-1982<sup>4</sup>.

En segundo lugar, se realizó el ensayo de compactación “Método de ensayo de compactación en laboratorio” – Norma IRAM 10511-1972<sup>5</sup>, aplicando dos diferentes tipos de energía de compactación tal como lo indican el “Método normal” y “Método normal, alternativa B”. Luego secar el suelo a temperatura ambiente durante siete días, se preparan cinco muestras de suelo con el material pasante por el tamiz IRAM N°4 (4,75mm) aumentando el contenido de agua. Las prescripciones de ensayo para los dos métodos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Prescripciones del ensayo de compactación

IRAM10511	Molde		Pisón		N° de capas	N° 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, alternativa B	0,94 dm <sup>3</sup>	101+1 mm	50 mm	2500 gr	3	35

### 3. Análisis de resultados

Primeramente, en la Tabla 3, se presentan los resultados de los ensayos de caracterización de suelos. Como se puede apreciar en la clasificación según el SUCS, todos los suelos son limos de alta o baja plasticidad.

Tabla 3: resultados de ensayos de caracterización

Muestra	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Pasa #200	Clasificación SUCS	
FI001	54,20	40,50	13,70	94,95%	MH	Limo de alta plasticidad
FI003	53,00	35,20	17,80	92,72%	MH	Limo de alta plasticidad
FI005	50,80	38,10	12,70	93,81%	MH	Limo de alta plasticidad
FI006	66,20	44,80	21,40	96,70%	MH	Limo de alta plasticidad
FI007	66,30	49,50	16,80	96,59%	MH	Limo de alta plasticidad
FI008	57,30	45,80	11,50	94,23%	MH	Limo de alta plasticidad
FI009	39,60	30,50	9,10	56,15%	ML	Limo de baja plasticidad
FI011	57,00	44,60	12,40	96,72%	MH	Limo de alta plasticidad
GCM01	59,00	47,00	12,00	95,61%	MH	Limo de alta plasticidad
GCM02	50,00	36,00	14,00	87,91%	ML	Limo de baja plasticidad

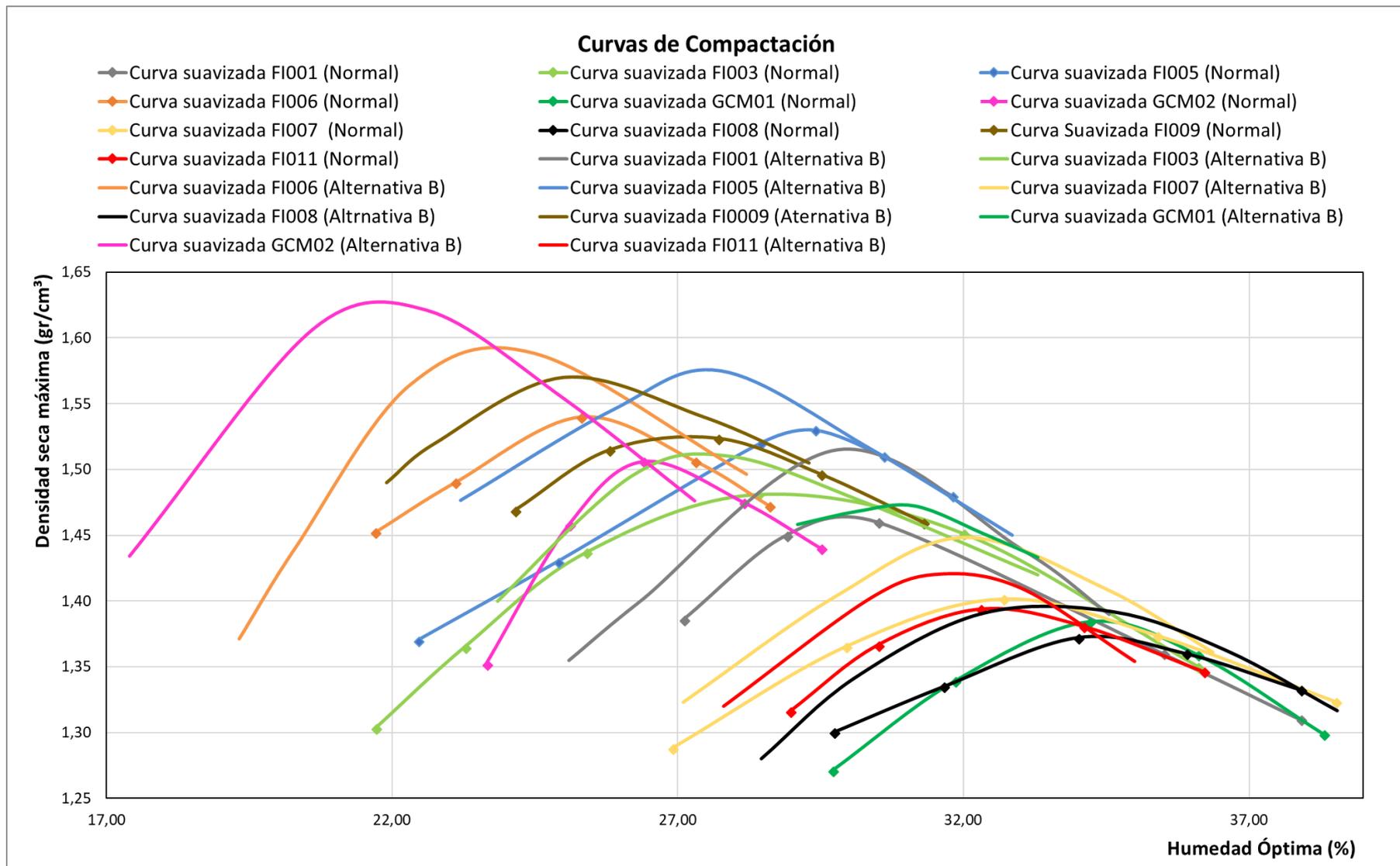
Con respecto a los resultados de los ensayos de compactación, en la Tabla 4 se detallan los valores obtenidos de humedad óptima y densidad seca máxima, según el Método normal y el Método normal, Alternativa B.

Tabla 4: resultados de los ensayos de compactación según el Método normal y el Método normal, Alternativa B.

Muestra	Humedad Optima		Densidad Seca Máxima	
	Método normal	Método normal, alternativa B	Método normal	Método normal, alternativa B
FI001	30,50	30,00	1,46	1,51
FI003	28,40	27,40	1,48	1,51
FI005	29,40	27,50	1,53	1,58
FI006	25,30	23,80	1,54	1,59
FI007	32,70	32,00	1,40	1,45
FI008	34,50	33,00	1,37	1,39
FI009	27,00	25,00	1,52	1,57
FI011	32,50	31,50	1,39	1,42
GCM01	34,50	31,00	1,38	1,47
GCM02	26,40	21,70	1,51	1,63

En la Figura 1, se pueden apreciar las curvas características del ensayo de compactación para las diez muestras analizadas en ambas alternativas de energía de compactación.

Figura 1: Curvas de compactación



Se puede observar en todos los casos un aumento en la densidad seca máxima y una disminución de la humedad óptima para el caso de la alternativa B, respecto del método normal. En la Tabla 5, se presentan las variaciones de humedad óptima y densidad seca máxima al aumentar la energía de compactación. En correspondencia por colores, en la Tabla 6 se agrupan las muestras por rangos de variaciones.

Tabla 5: variaciones de humedad óptima y densidad seca máxima

Muestra	Método normal		Método normal, alternativa B		Muestra	Variación de la Humedad Óptima (%)	Variación de la Densidad Seca Máxima (%)
	Humedad óptima (%)	Densidad seca máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad óptima (%)	Densidad seca máxima (gr/cm <sup>3</sup> )			
FI001	30,50	30,00	1,46	1,51	FI001	0,50	3,31
FI003	28,40	27,40	1,48	1,51	FI003	1,00	1,99
FI005	29,40	27,50	1,53	1,58	FI005	1,90	3,16
FI006	25,30	23,80	1,54	1,59	FI006	1,50	3,14
FI007	32,70	32,00	1,40	1,45	FI007	0,70	3,45
FI008	34,50	33,00	1,37	1,39	FI008	1,50	1,44
FI009	27,00	25,00	1,52	1,57	FI009	2,00	3,18
FI011	32,50	31,50	1,39	1,42	FI011	1,00	2,11
GCM01	34,50	31,00	1,38	1,47	GCM01	3,50	6,12
GCM02	26,40	21,70	1,51	1,63	GCM02	4,70	7,36

Tabla 6: muestras agrupadas por rangos de variaciones

Muestras	Rango de variación de la Humedad Óptima (%)	Rango de variación de la Densidad Seca Máxima (%)
FI001, FI007	0,50 al 0,70	3,30 al 3,45
FI003, FI008, FI011	1,00 al 1,50	1,40 al 2,20
FI005, FI006, FI009	1,50 al 2,00	3,00 al 3,20
GCM01, GC02	3,50 al 5,00	6,00 al 7,50

Posteriormente, se presentan los resultados de las correlaciones entre las propiedades índices del suelo y los guarismos característicos del ensayo de compactación: humedad óptima y densidad seca máxima. Se puede apreciar en la Figura 2(a), el aumento de la humedad óptima cuando el límite líquido aumenta, resultado obtenido al comparar humedad óptima/límite líquido. En la Figura 2(b) se presenta la correlación entre humedad óptima/pasante tamiz #200 (P#200), cuyo resultado demuestra un aumento en la humedad óptima al incrementarse el contenido de finos.

La relación entre la densidad seca máxima/límite líquido (Figura 3(a)) indica una disminución de la densidad seca máxima con el aumento del límite líquido. En cuanto a la relación densidad seca máxima/pasante tamiz #200 (Figura 3(b)), existe una disminución de la densidad seca máxima con el aumento de fino, resultado que podría indicar a priori lo beneficioso de tener un elevado

contenido de finos, dado que los mismos disminuyen la densidad seca máxima, por lo cual, se necesitaría menor energía de compactación para lograr dichas densidades.

Todas las relaciones fueron ajustadas por un modelo de regresión lineal, cuyas ecuaciones se encuentran en cada gráfico.

Figura 2(a): HO vs LL

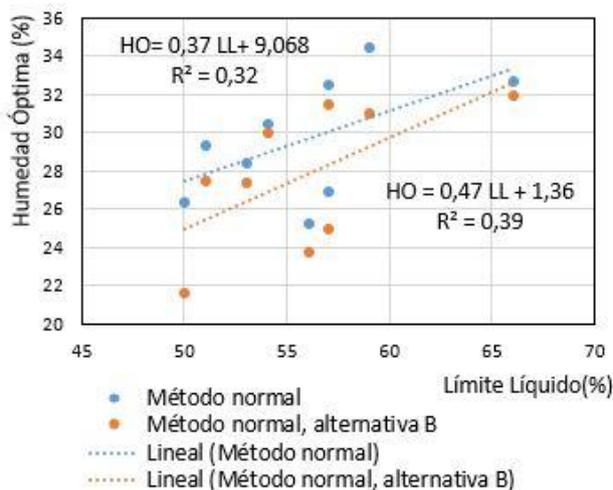


Figura 2(b): HO vs P#200

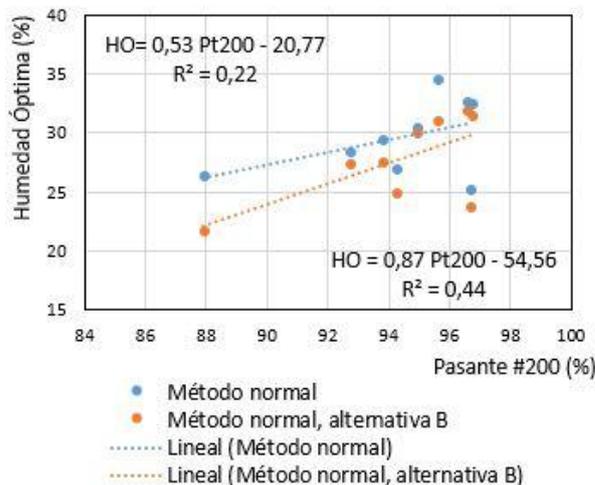


Figura 3(a): DSM vs LL

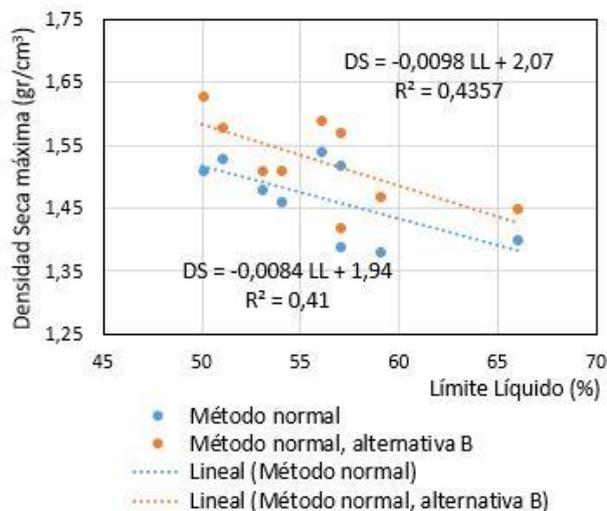
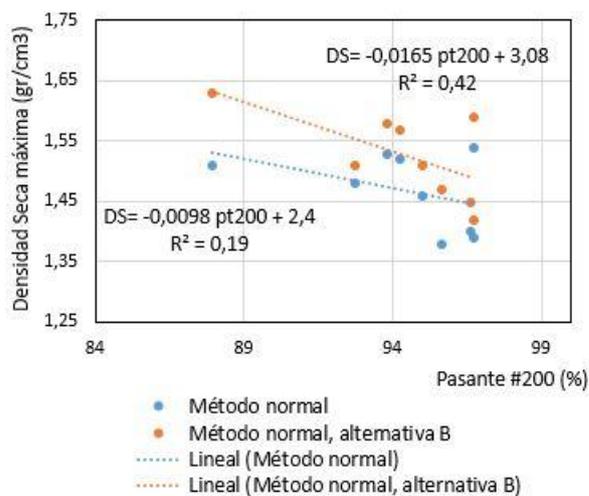


Figura 3(b): DSM vs P#200



#### 4. Conclusiones

Gracias al trabajo de laboratorio y su posterior análisis de resultados, se pudieron ampliar los antecedentes del registro de las correlaciones entre propiedades índices y parámetros de compactación, de suelos residuales de la provincia.

Como es de esperarse, en todas las muestras analizadas, se pudo apreciar una disminución de la humedad óptima y un aumento de la densidad seca máxima al aumentar la energía de compactación, es decir, al pasar del Método normal al Método normal, alternativa B. Mencionadas variaciones, se agruparon en cuatro rangos.

Además, se pudieron apreciar diferentes tendencias entre las propiedades índices y los parámetros de compactación. Se observa el aumento de la humedad óptima cuando el límite líquido aumenta y un aumento en la humedad óptima al incrementarse el contenido de finos. Además, se puede notar una disminución de la densidad seca máxima con el aumento del límite líquido y una disminución de la densidad seca máxima con el aumento de fino, destacando la importancia de seguir estudiando estas correlaciones mediante la incorporación de un mayor número de muestras.

## **5. Referencias**

- [1] Morgenstern M. E, Tkachuk M. G, Demonari F. E, Basile A. M, Drewes I. B, Bogado G. O, Pintos N. A, “ANÁLISIS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN SUELOS TROPICALES DE MISIONES, ARGENTINA”, pp. 1-7, Agosto, 2017.
- [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 IRAM 10511 “Método de ensayo de compactación en laboratorio”, 1972