

Bearing capacity (CBR) of three clay soils incorporating banana pseudostem fiber in different percentages

Kehila Guerra, Ing¹, Miguel Mosqueira, Dr.²

^{1,2} Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. bethsua.ga@gmail.com

Abstract– The aim of this investigation was to determine the bearing capacity of three clayey soils incorporating pseudostem banana fiber in lengths of 25mm, in three different percentages: 0.25%, 0.50%, 0.75%, forming a homogeneous mixture with the soil. These additions raised the values of the soil bearing capacity indices, California Bearing Ratio (CBR). The incorporation of banana pseudostem fiber positively influenced the bearing capacity of the three soils, since with an incorporation of 0.25%, the CBR value for soil No. 01 increased by 50.78%; 220.27% for soil No. 02 and 31.73% for soil No. 03. Furthermore, decreases in the CBR index were observed when the fiber percentages increased.

Keywords: soil, maximum dry density, optimum moisture content, California Bearing Ratio (CBR).

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.541>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Bearing capacity (CBR) of three clay soils incorporating banana pseudostem fiber in different percentages.

Kehila Guerra, Ing¹, Miguel Mosqueira, Dr.²

^{1,2} Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. bethsua.ga@gmail.com

Resumen– El objetivo de esta investigación fue determinar la capacidad portante de tres suelos arcillosos incorporando fibra de pseudotallo de plátano en longitudes de 25mm, en tres diferentes porcentajes: 0.25%, 0.50%, 0.75% formando una mezcla homogénea con el suelo. Estas incorporaciones elevaron los valores de los índices de capacidad portante de los suelos, California Bearing Ratio (CBR). La incorporación de fibra de pseudotallo de plátano influyó positivamente en la capacidad portante de los tres suelos pues con una incorporación de 0.25% incrementó en un 50.78% el valor de CBR para el suelo N° 01; en un 220.27 % para el suelo N°02 y en un 31.73% para el suelo N°03. Además, se observaron disminuciones en el índice CBR cuando los porcentajes de fibra aumentaron.

Palabras clave: suelo, densidad máxima seca, óptimo contenido de humedad, California Bearing Ratio (CBR).

Abstract– The aim of this investigation was to determine the bearing capacity of three clayey soils incorporating pseudostem banana fiber in lengths of 25mm, in three different percentages: 0.25%, 0.50%, 0.75%, forming a homogeneous mixture with the soil. These additions raised the values of the soil bearing capacity indices, California Bearing Ratio (CBR). The incorporation of banana pseudostem fiber positively influenced the bearing capacity of the three soils, since with an incorporation of 0.25%, the CBR value for soil No. 01 increased by 50.78%; 220.27% for soil No. 02 and 31.73% for soil No. 03. Furthermore, decreases in the CBR index were observed when the fiber percentages increased.

Keywords: soil, maximum dry density, optimum moisture content, California Bearing Ratio (CBR).

I. INTRODUCCIÓN

En toda obra de ingeniería civil, el suelo cumple un rol muy importante; más aún cuando hablamos de obras que impliquen la estabilización de taludes, construcción de terraplenes, refuerzos de bases de pavimentos, mejoramiento de suelos licuables, u otras similares. No obstante, al realizarse este tipo de obras no siempre se encuentra un suelo adecuado que garantice la estabilidad y durabilidad de una explanada.

Si unimos a ello la creciente importancia medioambiental y la presión social por minimizar la apertura de nuevas canteras, es evidente que deberíamos esforzarnos en utilizar materiales calificados como tolerables, marginales, e incluso inadecuados [1].

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.541>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Cuando se presentan suelos considerados malos, la práctica convencional consiste en reemplazar el suelo que se tiene por uno con mejores características o evitarlo construyendo con cimentaciones profundas; ambas soluciones suelen ser altamente costosas, razón por la cual, se vuelven atractivas las técnicas de mejoramiento o refuerzo de suelos.

Una manera de reforzar el suelo muy utilizada es el reforzamiento mediante la adición de fibras, si bien es una técnica antigua, su estudio ha adquirido interés recién en los últimos 20 años. En general, los diferentes estudios concuerdan en que la resistencia al corte se incrementa al introducir fibras a la matriz de suelo [2].

Existen ya algunas investigaciones que han sido publicadas en las cuales se propone la utilización de fibras artificiales, y naturales de origen orgánico como método de reforzamiento de suelos, porque es un método eco amigable y de bajo costo.

Considerando que, en un país como el nuestro, las fibras naturales son fáciles de conseguir a partir de los restos de frutas y plantas que se utilizan en la industria alimentaria, se puede establecer como un método bastante innovador y prometedor. Además, en Perú se da una gran cantidad de producción de plátano debido a los diversos climas que permiten el cultivo de este fruto en diversos departamentos y ciudades; casi todos los bananos exportados son orgánicos, representando alrededor del 3% de la producción mundial de banano orgánico [3].

Refuerzo de suelos con fibras naturales

Para la ingeniería civil el término “suelo” se define como el depósito de partículas no cementadas de granos minerales, materia orgánica descompuesta, junto con líquido y gases, los cuales ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas, el suelo es de gran importancia ya que forma parte del apoyo de las estructuras construidas por el hombre, además el suelo se usa como material de construcción si cumple con las características geotécnicas necesarias para su fin, de no cumplirlas se pueden usar métodos para mejorarse [4].

Se puede decir que el reforzamiento de suelos es el proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento para corregir alguna deficiencia o alterar sus propiedades físicas o mecánicas, de

modo que se incrementen o mejoren, para que sea capaz de soportar efectos de tránsito y condiciones de clima más severas dándole estabilidad en cualquier condición de tiempo y servicio [5].

Existen muchos métodos y técnicas para mejorar las propiedades y características de los suelos, mediante la incorporación de materiales o sustancias conocidos como refuerzo.

La función del material de refuerzo es incrementar la estabilidad, capacidad de carga y disminuir los asentamientos del suelo. Muchos de estos estudios han empleado técnicas como: mallas de acero, inyecciones de concreto, anclajes, fibras naturales, etc.

El reforzamiento con fibras consiste en adicionar un porcentaje de fibras sean de origen natural o sintético al suelo, para alterar sus propiedades y estabilizarlo. Existen factores importantes [6] respecto de las fibras, como son:

- Características de la fibra: tipo de fibra, longitud, forma, relación de aspecto (longitud – diámetro), rugosidad.
- Características del suelo: distribución granulométrica; tamaño, forma y rugosidad de partículas; contenido de humedad; entre otros.
- Contenido de fibras.
- Orientación de las fibras.
- Relación de vacíos del suelo reforzado.
- Método de compactación del suelo reforzado.

Una de las maneras para reforzar un suelo es la utilización de fibras naturales, las mismas que tienen un origen orgánico pues son obtenidas de frutos y plantas, y poseen características que permiten utilizar este material fibroso para mejorar la resistencia del suelo, muchas veces de igual manera que una fibra sintética, pero a un menor costo.

Sobre las fibras naturales Rodríguez (2014) señala que “son biopolímeros y por su estructura (celulosa, lignina, hemicelulosa, entre otros) considerados como materiales compuestos. Los biopolímeros son definidos como materiales biodegradables, pues pueden sufrir fácil descomposición o degradación” [7].

Existen innumerables tipos de fibras naturales, debido a su origen; sin embargo, en materia de construcción se han trabajado solo algunas debido a sus características, como son: fibra de coco, fibra de palma, fibra de celulosa procesada, fibra de paja de arroz, fibra de pseudotallo de plátano.

En tal sentido, el objetivo de la investigación fue determinar la capacidad portante de tres suelos arcillosos incorporando fibra de pseudotallo de plátano de 25mm, en porcentajes de 0.25%, 0.50% y 0.75%.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Selección de porcentajes y longitudes de fibra

Para determinar los porcentajes de adición de fibra y la longitud de la misma, la presente investigación tomó como antecedentes tres investigaciones anteriores referidas al mismo ámbito: “Estabilización de arcilla de Kuttanad expansiva utilizando Fibras de paja de arroz tratadas con cal” presentado por Serin y Neethu, en la Revista Internacional de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología de Ingeniería [8]; “Rendimiento de la tierra arcillosa reforzada con fibra de Coco”, presentado en la Revista Internacional de Ingeniería y Ciencia (IJES) por Chaple [9] y, “Resistencia y ductilidad de los suelos de arena limosa reforzada con fibras de palma distribuidas al azar” presentado por Marandi, Bagheripour, Rahgozar y Zare en la Revista Americana de Ciencias Aplicada [10].

En todas las investigaciones mencionadas se utilizan fibras orgánicas en porcentajes que varían desde un 0.25%, hasta un 1.5%; y en longitudes que varían desde los 20mm hasta los 60mm, obteniendo mejores resultados con las incorporaciones más pequeñas y con las longitudes menores.

En atención a estos resultados previos, se decidió emplear los porcentajes de 0.25%, 0.50% y 0.75% por ser con los que mejores resultados se obtuvieron, y se optó por una longitud de 25mm para uniformizar la longitud y no convertirla en un factor adicional a evaluar.

B. Clasificación de suelos

Para clasificar los suelos se realizaron ensayos de laboratorio normados técnicamente.

En primer lugar, se obtuvieron suelos de tres calicatas realizadas en la zona Namora-Llacanora, asignándole a cada uno la nomenclatura S1, S2 y S3. En segundo lugar, se realizó con cada uno de los suelos, los ensayos de:

- Contenido de Humedad: se realizó en muestras inalteradas de cada uno de los suelos, en el estado en que fueron obtenidas. El procedimiento seguido fue según lo establecido en la Norma Técnica Peruana de Contenido de Humedad [11].
- Límites de Atterberg: se realizó para cada uno de los suelos, a fin de determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de cada suelo. El procedimiento fue el normado en la Norma Técnica Peruana de Límites de Atterberg [12].
- Análisis Granulométrico: se realizó con muestras secas de cada uno de los suelos (S1, S2, S3), se siguió el procedimiento establecido en la Norma Técnica Peruana de Análisis Granulométrico [13].
- Clasificación de suelos: se clasificaron los suelos por dos métodos, el primero fue el establecido en la Norma

Técnica Peruana de Clasificación de Suelos SUCS [14] y el segundo fue el método AASHTO [15].

C. Determinación de la capacidad portante

Para determinar la capacidad portante, se incorporaron tres porcentajes (0.25%, 0.50%, 0.75%) de fibra de pseudotallo de plátano según el peso seco de cada tipo de suelo (S1, S2, S3), dichas fibras tuvieron una longitud de 2.5 cm y se mezclaron con el material de manera manual hasta obtener una mezcla homogénea de suelo y fibra.

Posterior a ello se realizaron dos ensayos, Proctor Modificado y CBR, tanto para las muestras de suelo sin incorporación (muestras patrón) como para las muestras de suelo con incorporación de fibra de pseudotallo de plátano.

- Proctor Modificado: el ensayo de Proctor Modificado se realizó según la Norma Técnica Peruana de Proctor Modificado [16].
- CBR: este ensayo de laboratorio está compuesto por tres ensayos: Ensayo de Compactación CBR, Ensayo de Hinchamiento y Ensayo de Carga-Penetración; los procedimientos de cada uno de ellos se encuentran establecidos en la Norma Técnica Peruana de Método de ensayo de CBR (California Bearing Ratio) de suelos compactados en el laboratorio [17].

D. Validación estadística de los resultados

Para poder validar estadísticamente los datos obtenidos, se utilizó el software Minitab 18.1., y se elaboró un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) [18], se escogió este diseño experimental debido a que, en los resultados de la investigación no se cuenta con repeticiones para los valores de los índices de CBR.

Se realizó el Analisis de Varianza (ANOVA) para poder determinar la variabilidad de el factor, del bloque y la variabilidad residual. Se realizaron comparaciones, de los niveles del factor y bloque utilizando el método de Tukey, el mismo que sirve para crear intervalos de confianza para todas las diferencias en parejas entre las medias de los niveles de los factores y bloques, mientras controla la tasa de error por familia en un nivel especificado [19].

Es importante destacar, que se realizó esta validación estadística únicamente para los valores de CBR de 0.1” pues estos son los valores finales que se toman en cuenta según la norma técnica del ensayo de CBR.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Sobre la Clasificación de Suelos

Contenido de Humedad

Los resultados del contenido de humedad de los tres suelos analizados fueron los siguientes: 58.30% para el suelo N° 01, 38.52% para el suelo N° 02 y, 53.27% para el suelo N° 03.

Límites de Atterberg

De los datos recolectados de los ensayos de laboratorio, para el límite líquido, plástico e índice de plasticidad; se obtuvieron los datos que se muestran a continuación y que se utilizaron directamente para determinar la clasificación de los suelos en estudio:

Tabla 1
Límites de Atterberg

DESCRIPCIÓN	SUELO N° 01	SUELO N° 02	SUELO N° 03
Límite líquido	77.33	67.15	122.25
Límite plástico	52.04	44.82	52.95
Índice de plasticidad	25.29	22.33	69.31

Análisis Granulométrico

Los resultados del análisis granulométrico fueron utilizados para la clasificación de los suelos; se muestran en las tablas 2, 3 y 4 y en las figuras 1, 2 y 3 presentadas a continuación:

Tabla 2
Análisis granulométrico del suelo N° 01

Tamiz	Abertura	P. Ret.	% RP	%RA	% pasa
N° 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00
N°10	2	0.64	0.13	0.13	99.87
N°20	0.84	1.44	0.29	0.42	99.58
N°30	0.59	1.67	0.33	0.75	99.25
N°40	0.42	2.70	0.54	1.29	98.71
N°60	0.25	6.31	1.26	2.55	97.45
N°100	0.15	8.20	1.64	4.19	95.81
N°200	0.074	9.27	1.85	6.05	93.95
Perdida Lavado		469.77	93.95	100.00	-
Total	-	500.00	-	-	-

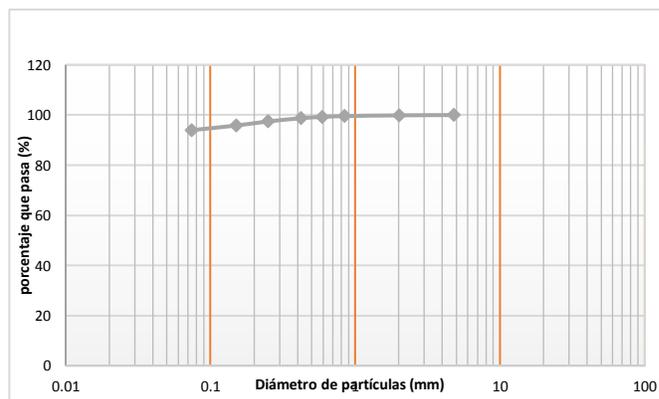


Figura 1. Curva Granulométrica del suelo N° 01

Tabla 3
Análisis granulométrico del suelo N° 02

Tamiz	Abertura	P. Ret.	% RP	%RA	% pasa
N° 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00
N°10	2	2.20	0.44	0.44	99.56
N°20	0.84	2.80	0.56	1.00	99.00
N°30	0.59	1.20	0.24	1.24	98.76
N°40	0.42	1.50	0.30	1.54	98.46
N°60	0.25	3.70	0.74	2.28	97.72
N°100	0.15	10.20	2.04	4.32	95.68
N°200	0.074	22.60	4.52	8.84	91.16
Perdida	Lavado	455.80	91.16	100.00	-
Total	-	500.00	-	-	-

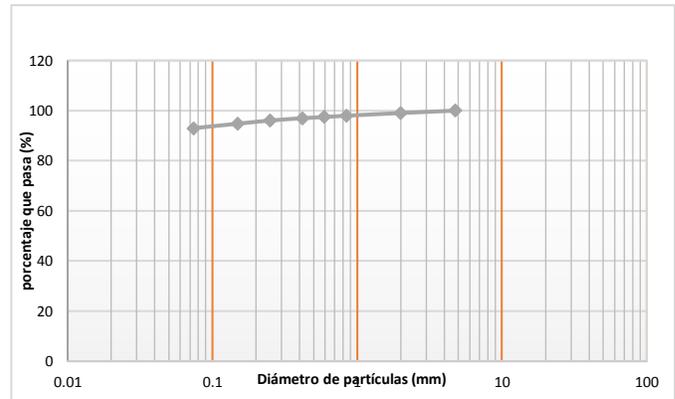


Figura 3. Curva Granulométrica del suelo N° 03

Clasificación de suelos SUCS

La clasificación de suelos por el método de SUCS proporcionó como resultado que los tres suelos pertenecen a la categoría OH perteneciente a las arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada.

Clasificación de suelos AASHTO

La clasificación de suelos por el método AASHTO proporcionó como resultado el siguiente:

- Suelo N° 01: A-7-5 (18) Suelo arcilloso pobre a malo.
- Suelo N° 02: A-7-5 (17) Suelo arcilloso pobre a malo.
- Suelo N° 03: A-7-5 (20) Suelo arcilloso pobre a malo.

B. Sobre la Capacidad Portante

Proctor modificado Clasificación de suelos AASHTO

Se realizó el ensayo de Proctor Modificado en el molde tipo A según la norma técnica peruana debido a la clasificación de los suelos materia de investigación y, se obtuvieron los siguientes resultados:

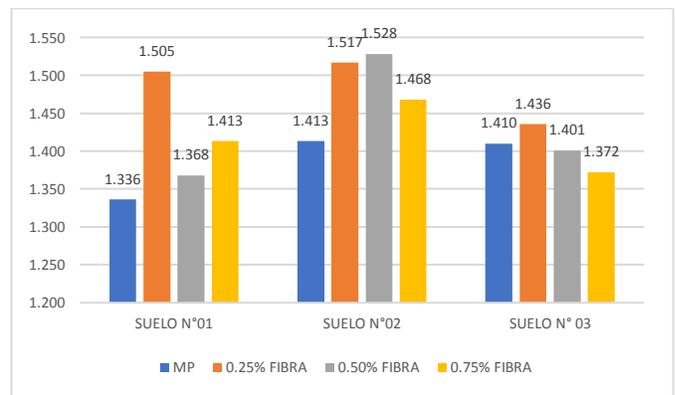


Figura 4. Densidad máxima seca (gr/cm³).

De la figura N° 4 se puede observar que, por un lado, para los suelos N° 01 y N° 02, hubo un incremento en las densidades máximas secas de las muestras incorporadas con

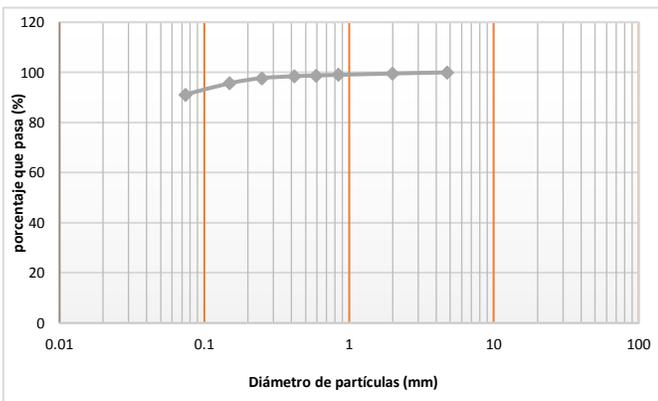


Figura 2. Curva Granulométrica del suelo N° 02

Tabla 4
Análisis granulométrico del suelo N° 03

Tamiz	Abertura	P. Ret.	% RP	%RA	% pasa
N° 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00
N°10	2	4.81	0.96	0.96	99.04
N°20	0.84	5.34	1.07	2.03	97.97
N°30	0.59	2.60	0.52	2.55	97.45
N°40	0.42	2.37	0.47	3.02	96.98
N°60	0.25	4.63	0.93	3.95	96.05
N°100	0.15	6.25	1.25	5.20	94.80
N°200	0.074	9.06	1.81	7.01	92.99
Perdida	Lavado	464.94	92.99	100.00	-
Total	-	500.00	-	-	-

fibra de pseudotallo de plátano a los distintos porcentajes (0.25%, 0.50% y 0.75%) respecto de las muestras sin incorporar. Por otro lado, en el caso del suelo N°03 se observa que las densidades máximas secas varían, incrementaron para una incorporación de 0.25% de fibra y disminuyeron para las incorporaciones de 0.50% y 0.75%.

Tal como se puede apreciar no existe un patrón específico a seguir entre las distintas incorporaciones en lo referente a densidad máxima seca, lo cual no es determinante sino relativo a cada uno de los suelos.

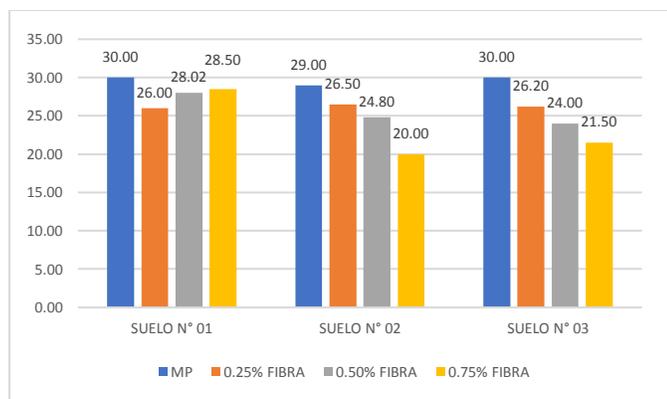


Figura 5. Contenido de humedad óptimo

De la figura N° 5 podemos observar que, en el caso de los tres suelos, los porcentajes de humedad óptimos fueron inferiores al requerido por la muestra patrón respectiva, en porcentajes que varían para el suelo N° 01 desde un 1.50% hasta un 4.00% menos de agua. Para el suelo N° 02, se tuvieron disminuciones de agua desde un 2.50% hasta un 9.00% y en el caso del suelo N° 03 estas variaciones fueron desde un 3.80% hasta un 8.50% de disminución de agua.

Como podemos observar en los tres suelos se presentó una disminución de contenidos óptimos de humedad con respecto a la muestra patrón, para el suelo N° 01 se aprecia que para la incorporación de 0.25% de fibra el porcentaje óptimo de humedad fue menor respecto de los porcentajes necesarios para la incorporación de 0.50% y 0.75%, y a su vez estos tres porcentajes fueron de menor valor que el porcentaje necesario para la muestra patrón. Para los suelos N° 02 y N° 03 se puede observar que los contenidos de humedad óptimo disminuyeron a medida que el porcentaje de fibra de pseudotallo de plátano aumentó.

Tabla 5
Resultados de Proctor Modificado

DESCRIPCIÓN	MP	0.25% FIBRA	0.50% FIBRA	0.75% FIBRA
SUELO N° 01 DSM(gr/cm3)	1.336	1.505	1.368	1.413
SUELO N° 01 CHO (%)	30.000	26.000	28.020	28.500
SUELO N° 02 DSM(gr/cm3)	1.413	1.517	1.528	1.468
SUELO N° 02 CHO (%)	29.000	26.500	24.800	20.000
SUELO N° 03 DSM(gr/cm3)	1.410	1.436	1.401	1.372
SUELO N° 03 CHO (%)	30.000	26.200	24.000	21.500

CBR (California Bearing Ratio)

En base a los resultados de Proctor se realizaron los ensayos de Capacidad portante (CBR), de los cuales se obtuvo resultados de CBR al 0.1'' y al 0.2'', los que se muestran a continuación:

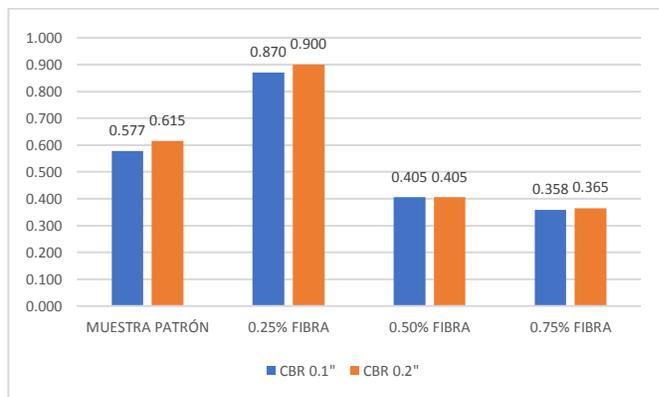


Figura 6. CBR A 0.1'' y 0.2'' Suelo N° 01.

De la figura N° 6 de CBR al 0.1'' y 0.2'' para el suelo N° 01, se puede observar que la incorporación de 0.25% incrementó la resistencia del suelo respecto de la muestra patrón para 0.1'' en un 0.293 y para 0.2'' en 0.285, además se puede establecer de dicha figura que los porcentajes de incorporación de 0.50% y 0.75% disminuyeron la resistencia del suelo para 0.1'' en 0.172 y 0.219 respectivamente; mientras que para un 0.2'' la disminución de valores fue de 0.210 y 0.250 respectivamente.

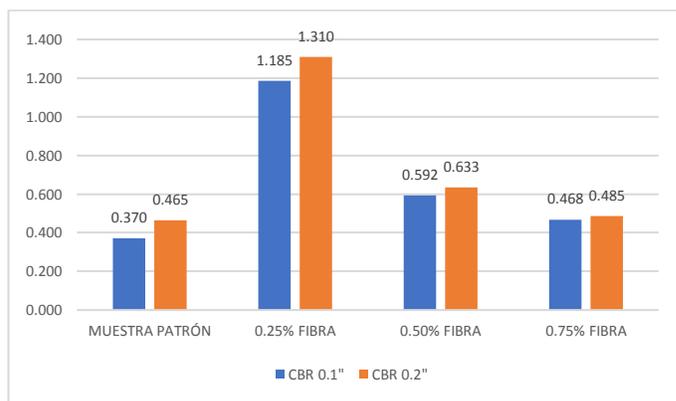


Figura 7. CBR A 0.1'' y 0.2'' Suelo N° 02.

De la figura N° 7 de CBR al 0.1'' y 0.2'' para el suelo N° 02, se puede observar que la incorporación de 0.25% incrementó la resistencia del suelo respecto de la muestra patrón para 0.1'' en un 0.815 y para 0.2'' en 0.845, además se puede establecer de dicha figura que la incorporación de 0.50% incrementó la resistencia del suelo para 0.1'' en 0.222 y para 0.2'' en 0.168; mientras que la incorporación de 0.75% incrementó la resistencia del suelo para 0.1'' en un 0.098 y para 0.2'' en 0.020.

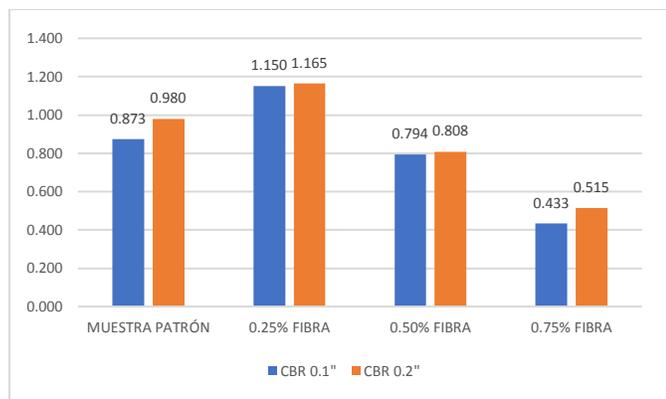


Figura 8. CBR A 0.1" y 0.2" Suelo N° 03.

De la figura N° 8 de CBR al 0.1" y 0.2" para el suelo N° 03, se puede observar que la incorporación de 0.25% incrementó la resistencia del suelo respecto de la muestra patrón para 0.1" en un 0.277 y para 0.2" en 0.185, además se puede establecer de dicha figura que los porcentajes de incorporación de 0.50% y 0.75% disminuyeron la resistencia del suelo para 0.1" en 0.079 y 0.440 respectivamente; mientras que para un 0.2" la disminución de valores fue de 0.172 y 0.465 respectivamente.

Tabla 6

Resultados De California Bearing Ratio (CBR)

DESCRIPCIÓN	MUESTRA PATRÓN	0.25% FIBRA	0.50% FIBRA	0.75% FIBRA
SUELO N° 01 CBR 0.1"	0.577	0.870	0.405	0.358
SUELO N° 01 CBR 0.2"	0.615	0.900	0.405	0.365
SUELO N° 02 CBR 0.1"	0.370	1.185	0.592	0.468
SUELO N° 02 CBR 0.2"	0.465	1.310	0.633	0.485
SUELO N° 03 CBR 0.1"	0.873	1.150	0.794	0.433
SUELO N° 03 CBR 0.2"	0.980	1.165	0.808	0.515

Tabla 7

Incremento De California Bearing Ratio (CBR)

DESCRIPCIÓN	INDICE CBR MUESTRA PATRÓN	0.25%		0.50%		0.75%	
		INDICE CBR	INCREMENTO RESPECTO A MUESTRA PATRÓN	INDICE CBR	INCREMENTO RESPECTO A MUESTRA PATRÓN	INDICE CBR	INCREMENTO RESPECTO A MUESTRA PATRÓN
SUELO N° 01 CBR 0.1"	0.577	0.870	50.78%	0.405	-29.81%	0.358	-37.95%
SUELO N° 01 CBR 0.2"	0.615	0.900	46.34%	0.405	-34.15%	0.365	-40.65%
SUELO N° 02 CBR 0.1"	0.370	1.185	220.27%	0.592	60.00%	0.468	26.49%
SUELO N° 02 CBR 0.2"	0.465	1.310	181.72%	0.633	36.13%	0.485	4.30%
SUELO N° 03 CBR 0.1"	0.873	1.130	31.73%	0.794	-9.05%	0.433	-50.40%
SUELO N° 03 CBR 0.2"	0.980	1.165	18.88%	0.808	-17.55%	0.515	-47.45%

Tal como se puede apreciar del análisis de las figuras anteriores de CBR para los tres suelos y de la tabla N° 7 de incremento de valores de CBR, se tiene que estos mejoraron su índice de California Bearing Ratio (CBR) con una

incorporación de fibra de 0.25% y que este incremento varía desde un 31.73% hasta valores como 220.27%; por ende, es recomendable el mejoramiento de suelos arcillosos de alta plasticidad mediante la incorporación de fibra de pseudotallo de plátano.

Además, se puede apreciar que el índice CBR de los suelos disminuyó con incorporaciones mayores como fue el caso de 0.50% y 0.75%; esto podría deberse, a la cantidad de vacíos que se generaron en el suelo a raíz de la inclusión de fibra en él.

Validación estadística de los resultados

Por el método deductivo hemos podido establecer que la incorporación de un porcentaje de fibra de 0.25% en los suelos mejora su capacidad portante; sin embargo, es necesario poder validar esta afirmación de manera estadística; para ello se realizó el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) obteniéndose lo siguiente:

A. Modelo lineal general: CBR AL 0.1" vs. Porcentaje de fibra, suelo

Método

Codificación de factores (-1, 0, +1)

Tabla 8

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Porcentaje de fibra	Fijo	4	0.00, 0.25, 0.50, 0.75
Suelo	Fijo	3	1, 2, 3

Tabla 9

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Sec.	Cont.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Porcentaje de fibra	3	0.6919	71.97%	0.6919	0.23064	10.48	0.008
Suelo	2	0.1374	14.29%	0.1374	0.06870	3.12	0.118
Error	6	0.1321	13.74%	0.1321	0.02201		
Total	11	1.2029	100.00%				

Tabla 10

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	PRESS	R-cuad. (pred)
0.148353	86.26%	74.82%	0.528207	45.06%

Tabla 11

Coeficientes

Término	Coef	EE del coef.	IC de 95%	Valor T	Valor p	FIV
Constante	0.6729	0.0428	(0.5681, 0.7777)	15.71	0.000	
Porcentaje de fibra						
0.00	-0.0662	0.0742	(-0.2478, 0.1153)	-0.89	0.406	1.50
0.25	0.3954	0.0742	(0.2139, 0.5769)	5.33	0.002	1.50
0.50	-0.0759	0.0742	(-0.2547, 0.1056)	-1.02	0.346	1.50
Suelo						
1	-0.1204	0.0606	(-0.2686, 0.0278)	-1.99	0.094	1.33
2	-0.0192	0.0606	(-0.1674, 0.1290)	-0.32	0.762	1.33

$$\begin{aligned}
 \text{CBR AL } 0.1'' &= 0.6729 - 0.0662 \text{ PORCENTAJE DE FIBRA}_{0.00} \\
 &+ 0.3954 \text{ PORCENTAJE DE FIBRA}_{0.25} \\
 &- 0.0759 \text{ PORCENTAJE DE FIBRA}_{0.50} \\
 &- 0.2532 \text{ PORCENTAJE DE FIBRA}_{0.75} \\
 &- 0.1204 \text{ SUELO}_1 - 0.0192 \text{ SUELO}_2 + 0.1396 \text{ SUELO}_3
 \end{aligned}$$

Ecuación N° 01: Ecuación de regresión

0.75 - 0.00	-0.187	0.121	(-0.607, 0.233)	-1.54	0.471
0.50 - 0.25	-0.471	0.121	(-0.891, -0.052)	-3.89	0.031
0.75 - 0.25	-0.649	0.121	(-1.068, -0.229)	-5.36	0.007
0.75 - 0.50	-0.177	0.121	(-0.597, 0.242)	-1.46	0.510

Nivel de confianza individual = 98.66%

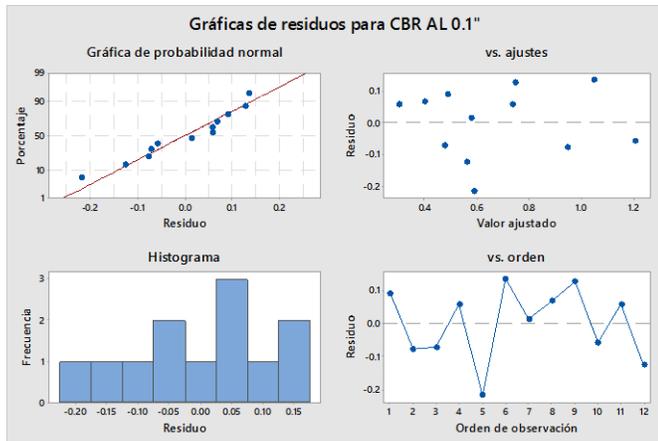


Figura 9. Gráficas de residuos para CBR A 0.1''.

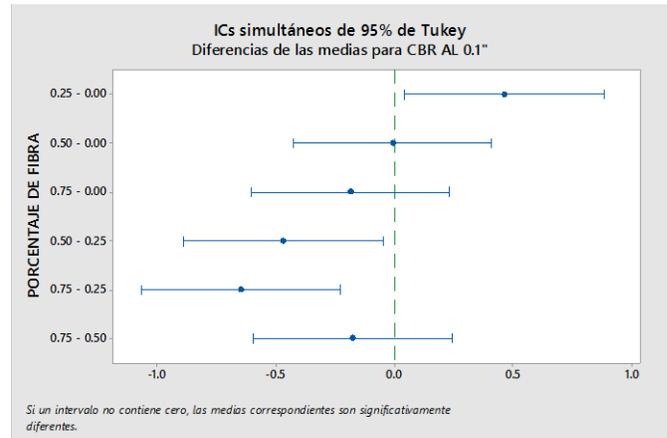


Figura 10. Comparaciones por método de Tukey para porcentajes de fibra.

De los resultados obtenidos en el análisis de varianza se tiene, por un lado, que el valor “p” para el factor porcentaje de fibra, es menor que el nivel de significancia 0.05; por lo que, se debe rechazar la hipótesis nula en favor de la hipótesis alternativa. En ese sentido, se establece que al menos dos porcentajes de fibra tienen una influencia diferente en el índice CBR.

Por otro lado, respecto al valor “p” del factor suelo, este es mayor que la significancia 0.05; por lo que, se debe aceptar la hipótesis nula. En ese sentido, el tipo de suelo no tiene influencia estadísticamente significativa en el índice de CBR.

B. Comparaciones para CBR AL 0.1''

Comparaciones por parejas de Tukey: porcentaje de fibra

Tabla 12

Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Porcentaje de fibra	N	Media	Agrupación
0.25	3	1.06833	A
0.00	3	0.60667	B
0.50	3	0.59700	B
0.75	3	0.41967	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 13

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de porcentaje de fibra niveles	Diferencia de medias	EE de diferencia	IC simultáneo de 95%	Valor T	Valor p ajustado
0.25 - 0.00	0.462	0.121	(0.042, 0.881)	3.81	0.034
0.50 - 0.00	-0.010	0.121	(-0.429, 0.410)	-0.08	1.000

De la tabla N°12 y de la figura N°10, se puede establecer en primer lugar, que las muestras patrón y las incorporaciones de 0.50% y 0.75% de fibra no son estadísticamente diferentes pues comparten la misma agrupación B; por ende, no se puede establecer que estos porcentajes puedan influir positiva o negativamente en el índice CBR.

En segundo lugar, se puede establecer que al encontrarse la incorporación de 0.25% en un grupo diferente, es decir, en el grupo A; esta incorporación es estadísticamente diferente de la muestra patrón, y de las otras dos incorporaciones.

En tercer lugar, de la tabla N° 12 se pueden observar los valores de las medias para cada adición, se tiene que la media incrementa respecto de la muestra patrón para 0.25% y disminuye respecto de la muestra patrón para las otras dos adiciones.

Comparaciones por parejas de Tukey: suelo

Tabla 14

Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Suelo	N	Media	Agrupación
3	4	0.81250	A
2	4	0.65375	A
1	4	0.55250	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 15

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de suelo niveles	Diferencia de medias	EE de diferencia	IC simultáneo de 95%	Valor T	Valor p ajustado
2 - 1	0.101	0.105	(-0.221, 0.423)	0.97	0.623

3 - 1	0.260	0.105	(-0.062, 0.582)	2.48	0.105
3 - 2	0.159	0.105	(-0.163, 0.481)	1.51	0.350

Nivel de confianza individual = 97.80%

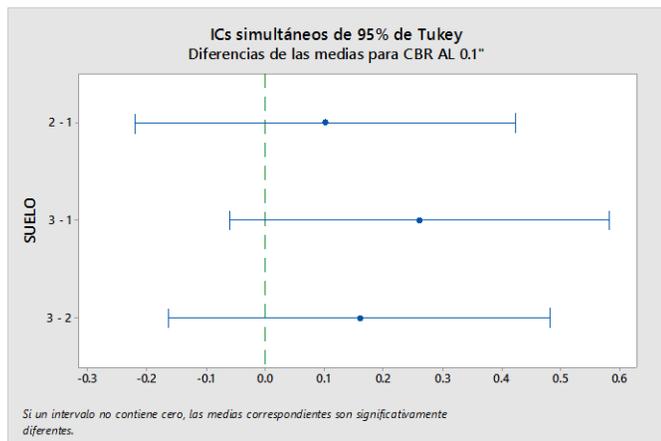


Figura 11. Comparaciones por método de Tukey para porcentajes de fibra.

De la tabla N°14 y de la figura N° 11, se puede establecer que el suelo 01, el suelo N° 02 y el suelo N° 03 pertenecen a un mismo grupo, por lo tanto, no son estadísticamente diferentes y no se puede establecer estadísticamente que influyan en el valor de CBR.

Según el análisis estadístico ANOVA y el diseño DBCA utilizando el método de Tukey, se concluye que los resultados obtenidos con la incorporación de 0.25% de fibra son mejores estadísticamente que los resultados obtenidos con la muestra patrón y con las incorporaciones de 0.50% y 0.75% de fibra.

Al comparar los resultados obtenidos en la presente investigación, con los antecedentes “Estabilización de arcilla de Kuttanad expansiva utilizando Fibras de paja de arroz tratadas con cal” de Serin y Neethu (2018) y “Rendimiento de la tierra arcillosa reforzada con fibra de Coco” de Chaple (2013); se puede observar que en ambos antecedentes el porcentaje de incorporación de fibras naturales que maximizó los valores de CBR fue el de 0.50% mientras que, en la presente investigación se obtuvo que dicho porcentaje fue el de 0.25%.

Del mismo modo en el antecedente “Resistencia y ductilidad de los suelos de arena limosa reforzada con fibras de palma distribuidas al azar” de Marandi, Bagheripour, Rahgozar y Zare (2008), se encontró un incremento de 24.8% en CBR al utilizar fibras naturales; en la presente investigación la incorporación de fibra obtuvo incrementos que superaron el 25% en los valores CBR.

Así también, conforme a los antecedentes de esta investigación y a los resultados obtenidos se puede observar que podría ser factible, por un lado, el estudio de la incorporación de pseudotallo de plátano en porcentajes

menores a los considerados en este trabajo; por otro lado, considerar el estudio en longitudes mayores a la que se tomó en la presente investigación (25.00 mm) tal como se realizó en los antecedentes.

Del mismo modo, considerando que las fibras naturales u orgánicas se degradan al contacto con el medio ambiente; se podría recomendar la investigación de la degradación de la fibra de pseudotallo de plátano para generar mayor seguridad en su uso en el refuerzo de suelos.

Los suelos arcillosos que se han estudiado son considerados dentro de las clasificaciones de suelos, entre los de propiedades mecánicas muy bajas, y comúnmente llamados suelos malos; los resultados que se obtuvieron demostrarían que el refuerzo con fibras naturales puede ser una alternativa para mejorar la resistencia de este tipo de suelos siempre y cuando dicha incorporación sea de un porcentaje de 0.25% de fibra de pseudotallo como máximo.

Es necesario tomar en cuenta que la Ciudad de Cajamarca muchos de los suelos tienen resistencias de este tipo, que son muy bajas a comparación de otras zonas del país, donde los suelos poseen una capacidad portante más elevada; en ese sentido, al utilizarse este refuerzo para mejorar tanto taludes, terraplenes como suelos base y otros caracterizados por ser arcillas de alta plasticidad, deberá ser en longitud de 25.00mm y en porcentaje de 0.25%; si bien su capacidad de soporte se incrementaría no sería suficiente para resistir la erosión e intemperismo constante al que se encuentran expuestos este tipo de formaciones de tierra; por ello, deberán evaluarse otros métodos de refuerzo de suelos que permitan seguir cumpliendo con los fines de adaptarnos a los materiales existentes.

IV. CONCLUSIONES

Se determinó que para el suelo N° 01 para un CBR al 0.1” y un CBR al 0.2” la muestra patrón obtuvo un valor de 0.577 y 0.615, para el suelo N° 02 los valores fueron 0.370 y 0.465, para el suelo N° 03 los valores fueron 0.873 y 0.980, respectivamente.

Se determinó que con 0.25% de incorporación de fibra para un CBR al 0.1” y un CBR al 0.2” el suelo N° 01 obtuvo valores de 0.870 y 0.900, para el suelo N° 02 los valores fueron 1.185 y 1.310, para el suelo N° 03 los valores fueron 1.150 y 1.165, respectivamente.

Se determinó que con 0.50% de incorporación de fibra para un CBR al 0.1” y un CBR al 0.2” el suelo N° 01 obtuvo valores de 0.405 y 0.405, para el suelo N° 02 los valores fueron 0.592 y 0.633, para el suelo N° 03 los valores fueron 0.794 y 0.808, respectivamente.

Se determinó que con 0.75% de incorporación de fibra para un CBR al 0.1” y un CBR al 0.2” el suelo N° 01 obtuvo

valores de 0.0.358 y 0.365, para el suelo N° 02 los valores fueron 0.468 y 0.485, para el suelo N° 03 los valores fueron 0.433 y 0.515, respectivamente.

Se determinó que los tres suelos estudiados pertenecen a la clasificación OH del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos correspondiente a arcillas orgánicas de plasticidad media elevada y que también los tres pertenecen al grupo A-7-5 y por sus índices de grupo, siendo suelos considerados pobres a malos.

La fibra de pseudotallo de plátano en una incorporación de 0.25%, influye positivamente en la capacidad portante de los tres suelos pues incrementó en un 50.78% el valor de CBR para el suelo N° 01; en un 220.27 % para el suelo N°02 y en un 31.73% para el suelo N°03. Con ello se cumple parcialmente la hipótesis, pues para los porcentajes de 0.50% y 0.75% de incorporación en los diferentes suelos, en unos casos los valores del CBR incrementan sin alcanzar el valor de 25% y en otros casos disminuyen dichos valores.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ejecutó en la Universidad Privada del Norte sede Cajamarca (UPN-C) como parte de una investigación estudiantil.

REFERENCIAS

[1] Yepes, V. (15 de Diciembre de 2014). *La estabilización de suelos*. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia: <http://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es/tag/estabilizacion-de-suelos/>

[2] Vettorelo, P., & Clariá, J. (2014). Suelos Reforzados con Fibras: Estado del Arte y Aplicaciones. *Revista Facultad de ciencias exactas, físicas y naturales.*, 1(1), 27-34. Recuperado el 25 de Septiembre de 2018, de https://www.researchgate.net/publication/273763093_Suelos_Reforzados_con_Fibras_Estado_del_Arte_y_Aplicaciones

[3] FAO. (2017). *Foro Mundial Bananero*. Recuperado el 13 de diciembre de 2018, de <http://www.fao.org/world-banana-forum/projects/good-practices/organic-production-peru/es/>

[4] Campos, A., & Vásquez, O. (1992). Seminario taller mecánica de suelos y exploración geotécnica. Lima.

[5] Fratelli, G. (1993). *Suelos, Fundaciones y Muros*. Venezuela: Print book.

[6] Vettorelo, P., & Clariá, J. (2014). Suelos Reforzados con Fibras: Estado del Arte y Aplicaciones. *Revista Facultad de ciencias exactas, físicas y naturales.*, 1(1), 27-34. Recuperado el 25 de Septiembre de 2018, de https://www.researchgate.net/publication/273763093_Suelos_Reforzados_con_Fibras_Estado_del_Arte_y_Aplicaciones

[7] Rodríguez, L. (2014). Elaboración de un material biocompuesto a partir de fibra de plátano. Manizales.

[8] Serin, I., & Neethu, E. (2018). Stabilization of Expansive Kuttanad clay using Lime treated Rice straw fibres. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2018, de <http://ijraset.com/files/serve.php?FID=13564>

[9] Chaple, P. (2013). Performance of Coir fiber Reinforced Clayey Soil. *The International Journal Of Engineering And Science*. Recuperado de [http://theijes.com/papers/v2-i4/part.%20\(5\)/J0245054064.pdf](http://theijes.com/papers/v2-i4/part.%20(5)/J0245054064.pdf)

[10] Marandi, S. Bagheripour, M. Rahgozar, I & Zare, H. (2008). Strength and Ductility of Randomly Distributed Palm Fibers Reinforced Silty-Sand Soils. *American Journal of Applied Sciences*. Recuperado de <https://thescipub.com/pdf/10.3844/ajassp.2008.209.220.pdf>

[11] NTP 339.127 (1999). Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo

[12] NTP 339.129 (1999). Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos.

[13] NTP 339.128 (1999). Método de ensayo para el análisis granulométrico.

[14] NTP 339.134 (1999). Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)

[15] ASTM D 3282(1993) Clasificación de Suelos Método AASHTO.

[16] NTP 339.141 (1999). Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada.

[17]NTP 339.145 (1999). Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio.

[18] Salomón, L. (2016). Diseño de Experimentos. *Universidad EAFIT*. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Luis_Armando_Salomon_Hernandez/publication/303297403_Block_DesignsIII/links/573b638908ae9ace840ea7c1.pdf

[19]Minitab (2019). ¿Qué es el método de Tukey? *Soporte técnico de Minitab 2018*. Recuperado de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/multiple-comparisons/what-is-tukey-s-method/#:~:text=Usando%20el%20m%C3%A9todo%20de%20Tukey,de%20confianza%20conjunto%20de%2095%25>.