

Análisis de la Resistencia a la Tracción en Suelos Reforzados con Fibras de Origen Animal – Plumaz de Pollo

Rosemary Janneth LLANQUE AYALA^{a,1}, José CAMAPUM DE CARVALHO^a
y Ana Laura FERNANDEZ HERNÁNDEZ^b

^aUniversidad de Brasília

^bUniversidad de Querétaro

Resumen. Recientes investigaciones evalúan la resistencia mecánica de los suelos con adición de fibras de origen vegetal obteniéndose mejoras en sus características mecánicas, la proteína celulose que es componente principal de estas fibras es causante de los incrementos de resistencia. Con la industria avícola vienen generándose residuos, el principal residuo es la pluma de pollo considerado fibra, estas fibras tienen una proteína de características mejores que la celulose, la queratina, que es caracterizada por su alta durabilidad y difícil degradabilidad. Se usó esta teoría para utilizar la pluma como fibra natural para refuerzo en suelos de baja resistencia. El objetivo de este trabajo es analizar la resistencia a la tracción de un suelo de baja resistencia. Fueron preparados cuerpos de prueba con adición de 3 tenores de fibra, 0,25%; 0,50% e 0,75%. Fueron realizados los ensayos de caracterización del suelo y caracterización física de la pluma. Los cuerpos de prueba fueron ensayados en una prensa mecánica para cada caso. De los resultados obtenidos se pudo verificar que los mejores resultados son obtenidos para los casos de pluma completa y barba, siendo desfavorables para el raque. También, se pudo verificar que, cuanto mayor la cantidad de fibras en el suelo mayor será la resistencia a la tracción de la mezcla. Una gran desventaja que limita la cantidad de fibra en el suelo es su volumen en relación al volumen del suelo, desventaja que limita la trabajabilidad de la mezcla, recomendándose hasta una cantidad de 0,50% como ideal. Cantidades mayores dificultan su trabajabilidad aunque aseguran incrementos de resistencia a la tracción.

Palabras Clave. Plumaz de pollo, resistencia a la tracción.

1. Introducción

En la construcción de carreteras el suelo es generalmente clasificado a partir de sus propiedades físicas que establecen su potencial para uso en las capas de estructuras de pavimento. El problema comienza cuando el suelo no es clasificado como material apto para construcción.

La evolución de la industria que genera calidad de vida a los habitantes, genera también residuos de los principales productos adquiridos en un determinado tiempo. Parte de los residuos que son provenientes de la industria avícola son consideradas fibras de origen animal.

¹ Programa de posgraduación en Geotecnia, Universidad de Brasília, Campus Darcy Riveiro, Brasília DF; E-mail: janneth.civil.100@gmail.com.

El objetivo principal de este trabajo es analizar el comportamiento mecánico de un suelo laterítico con adición de plumas de pollo para ser utilizado como parte de la estructura de pavimento en carreteras.

2. Mejoramiento de suelos con fibras naturales

Las fibras naturales, dependiendo de su origen, son clasificadas en: animales, vegetales y minerales. Generalmente, son resultado de procesos industriales y descartados en la mayor parte de los casos, tornándose elementos contaminantes del ecosistema.

La característica principal de las fibras animales pelos y plumas están concentradas en el biopolímero queratina que se constituye en el elemento principal de la estructura de la fibra.

Montes-Zarazúa et al. [1] evidenciaron mejoramiento en las propiedades de un suelo expansivo cuando son adicionados 3% de fibras de plumas de pollo reduciendo el índice de vacíos, lo que permite un mejor desempeño del suelo como material de fundación.

Sales [2] estudió el uso de cabello humano verificando altos valores en la resistencia a la tracción y en consecuencia mejorando el comportamiento del suelo.

Galán-Marín et al. [3] utilizaron la fibra natural lana de oveja. El refuerzo de suelo con este material permitió mejorar a resistencia a la compresión con combinación con otro refuerzo, el alginato, subproducto obtenido de las algas marinas.

Ali Butt et al. [4] analizaron la resistencia a la compresión simple de suelos arcillosos mezclados con cabello, los autores constataron 2% como una cantidad ideal de fibra en el suelo.

Las plumas de pollo son constituidas por una parte central dura denominada raquis. Del raquis (1) salen filamentos laterales denominados barbas (2) y de las barbas salen fibrillas denominadas bárbulas (3). En la Figura 1 se presenta la estructura de una pluma de pollo.

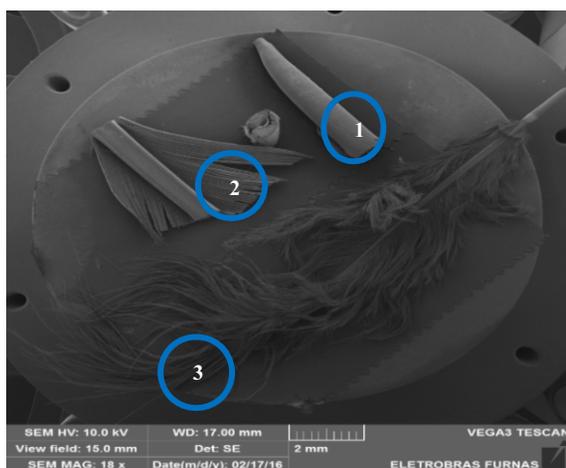


Figura 1. Partes de la pluma.

Las plumas están caracterizadas por tener un componente principal, la queratina, es un material biológico insoluble, está presente en los picos, lana, uñas, cabello, caparazón de tortuga, cuernos y plumas.

Según su estructura interna, la queratina se clasifica en queratina α y β . La queratina α se caracteriza por ser flexible con una estructura helicoidal y está presente en cabellos y pelos, y la queratina β con una estructura conformada en placas, característica que le da mayor rigidez, está presente principalmente en uñas, picos, escamas y plumas. Estas estructuras se distinguen por las ligaciones de puentes de azufre, siendo que cuanto mayor el número de puentes, mayor la rigidez de la estructura.

En las plumas de pollo se pueden encontrar ambos tipos de queratina. Según la estructura de la pluma, a queratina se presenta hasta un 95% de concentración [5].

3. Materiales y métodos

El estudio fue realizado en laboratorio del programa de pos graduación en Geotecnia de la Universidad de Brasilia, con el uso de equipos convencionales como hornos, equipo de mini-compactación y prensa mecánica.

3.1. Materiales

El suelo de clasificación laterítico areno-arcilloso fue colectado a 3m de profundidad en el campo experimental del Programa de Pos Graduación en Geotecnia de la Universidad de Brasilia.

Las plumas de pollo fueron colectadas de un matadero, lavadas y secadas naturalmente. Las plumas fueron cortadas en tamaños entre 1,00 cm y 1,50 cm transversalmente.

3.2. Métodos

El suelo está constituido por una arena arcillosa cuando se hace uso de defloculante y arcilla limosa cuando no es usado defloculante, presenta color rojizo oscuro, consecuencia de predominio de hierro en su estructura, siguiendo la norma [6]

De los resultados de difracción de rayos X (DRX), se identificaron minerales predominantes: gibbsita y caolinita, y la presencia de cuarzo, hematita, goethita, anastásio y rutilo. Los resultados obtenidos verifican los encontrados en el trabajo de [7].

En la Figura 2 se presentan las curvas granulométricas del suelo, con y sin el uso de defloculante.

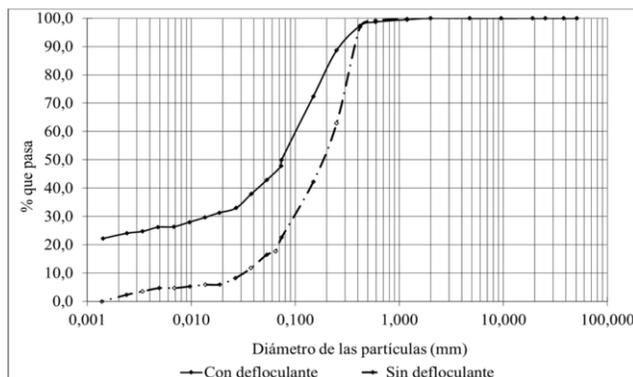


Figura 2. Curvas granulométricas del suelo puro.

Se verifica además que el efecto de defloculante disgrega los agregados del suelo, afectando en su granulometría en estado natural.

Para la clasificación del suelo a ser mejorado fue realizado el ensayo mini-MCV [8]. Con base en los resultados, el suelo es clasificado como arena arcillosa laterítico (LA').

Según el Sistema de Clasificación Unificada de Suelos (SUCS), el suelo utilizado es clasificado como arena arcillosa (SC). En la Tabla 1 se encuentran citadas las características físicas de los materiales utilizados en esta investigación.

Tabla 1. Caracterización del suelo natural y la pluma.

Material	Suelo	Pluma
Gs	2,65	1,07
LL	35	-
LP	23	-
IP	12	-
Clasificación MCT	LA'	-
Clasificación SUCS	SC	-
Clasificación HRB	A-2-6	-

Los métodos de ensayo utilizados fueron básicamente: los ensayos de compactación en equipo miniatura [9] y los ensayos necesarios para clasificación por la metodología convencional MCV [8].

El ensayo de tracción fue realizado bajo los principios establecidos en la norma [10]. En la Figura 3 se verifica el montaje del ensayo de tracción indirecta.



Figura 3. Ensayo de Resistencia a la tracción indirecta.

Para la obtención de la curva de compactación del suelo puro se inicia el ensayo con material en la humedad natural ($w=18,9\%$), esto para representar la situación real de campo.

Después de 24 horas de homogenización agua, pluma y suelo fue realizado el ensayo de mini-compactación según la metodología Nogami – Villibor, se compactó el suelo puro y las mezclas suelo – pluma con energía intermedia, es decir, 6 golpes en ambos lados del cuerpo de prueba.

Para determinación de la resistencia a la tracción, son preparados cuerpos de prueba (CP) en una relación diámetro/altura de 2/1. Siendo así, diámetro 5,0 cm y altura 2,5 cm.

3.3. Mini compactación

La Figura 4 presenta las curvas de compactación obtenidas para el suelo puro y suelo con plumas, en cantidades de 0,25%, 0,50% e 0,75%.

Para la cantidad de 0,25% se observa que en relación al peso específico aparente seco máximo, el resultado se aproxima del obtenido para el suelo sin plumas, pasando a ser menor con una ampliación en la humedad óptima en la medida en que se aumenta la cantidad de plumas. Se observa también que el aumento en la cantidad de plumas tiende a ensanchar la curva de compactación. Ambas observaciones indican que las plumas interfieren resistiendo a la compactación, O Sea, dando resistencia al corte al suelo.

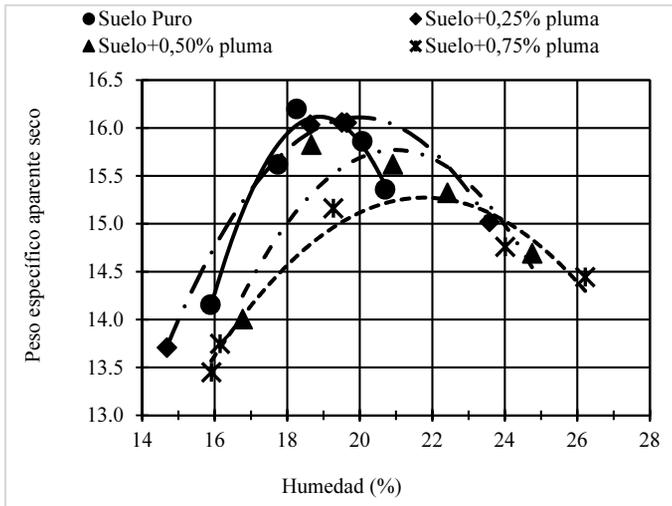


Figura 4. Curvas de compactación suelo puro y suelo – pluma.

3.4. Resistencia a la tracción

Los ensayos de resistencia a la tracción fueron realizados en la condición no saturada, para los CP y con humedad óptima. FIGURA 5. Influencia de las plumas en la Resistencia a la tracción.

La Figura 5 presenta la relación resistencia a la tracción máxima y el peso específico aparente seco. Se verifica en los resultados que, para la cantidad de 0,25% de plumas la resistencia máxima se mantiene inalterada con tendencia a aumentar con el incremento en la cantidad de fibras en la mezcla. Los mayores valores de resistencia a la tracción son para cantidades de 0,75% de fibras.

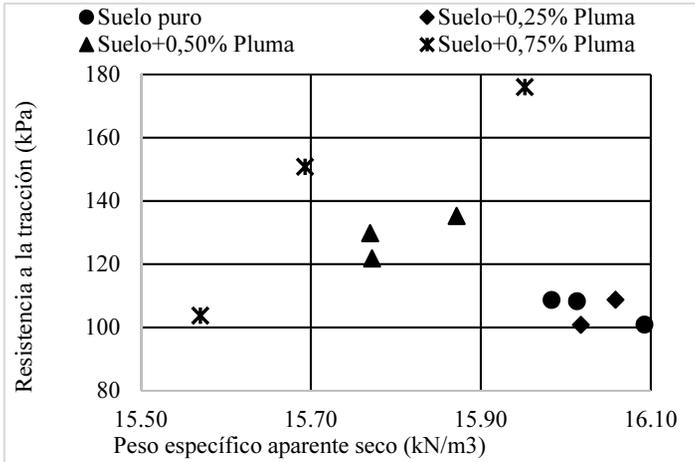


Figura 5. Influencia de las plumas en la Resistencia a la tracción.

Con el objetivo de evaluar la contribución de las fibras luego de la ruptura del suelo, los resultados son expresados en la Figura 6 los valores de resistencia residual considerándose 5% de deformación diametral de los cuerpos de prueba. Se verifica que en todos los casos ocurrió incremento de la resistencia a la tracción residual incluyendo los resultados de las mezclas con cantidad de pluma igual a 0,25%.

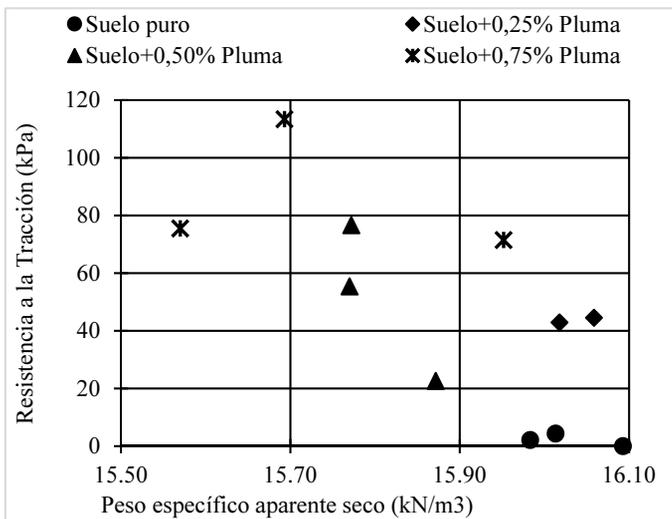


Figura 6. Influencia de las plumas en la Resistencia a la tracción en 5% de deformación.

En la Figura 7 se presenta la relación resistencia a la tracción – humedad (%) del suelo puro y de las mezclas suelo – pluma. Se identifica un comportamiento semejante en relación al peso específico aparente seco, o sea, poca o ninguna influencia para 0,25% de pluma, mejorando el comportamiento a partir de la incorporación de 0,50% de pluma.

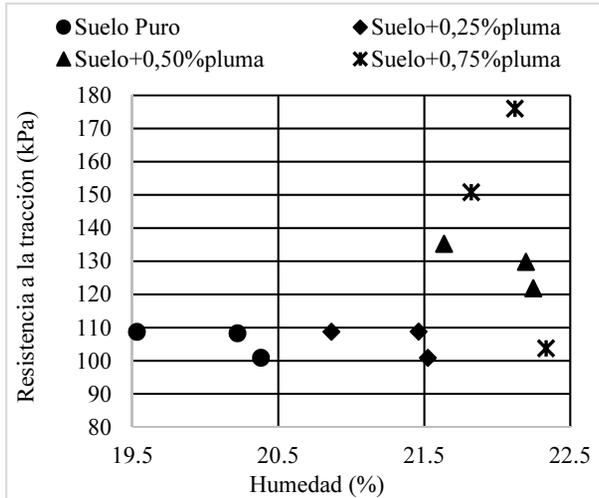


Figura 7. Influencia de las plumas en la Resistencia a la tracción y humedad del suelo.

Para deformaciones diametrales de 5%, los valores de resistencia a la tracción de las mezclas con fibra en función de la humedad son superiores a los valores obtenidos en el ensayo con suelo puro, siendo que prácticamente no varió el comportamiento con el aumento de la cantidad de fibras (Figura 8).

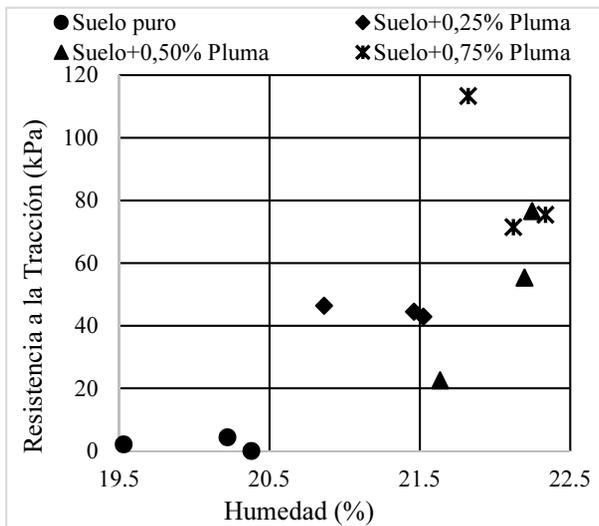


Figura 8. Influencia humedad en la resistencia a la tracción en 5% de deformación.

4. Consideraciones finales y recomendaciones

Se verificó a partir de los resultados de compactación obtenidos, que el incremento en la cantidad de plumas genera una reducción del peso específico aparente seco máximo excepto para la mezcla con 0,25% de pluma. Se constató además que el incremento de

plumas transformó a las curvas de compactación menos pronunciadas. Tanto la disminución del grado de curvatura de las curvas como la reducción del peso específico aparente seco pueden ser vistos como una mayor resistencia del suelo a la compactación en cuanto se incrementa la adición de las plumas.

Los resultados muestran que la adición de pluma tiende a mejorar la resistencia a la tracción del suelo estudiado inclusive preservando parte de ella para grandes deformaciones. Este incremento es proporcional a la cantidad de plumas que es utilizada en la mezcla. Sin embargo, para 0,75% de peso de plumas, el volumen dificulta la mezcla homogenizada con el suelo.

La continuidad de este estudio permitirá la posibilidad de realizar análisis más completas del comportamiento de las mezclas suelo-pluma.

Referencias

- [1] E. Montes-Zarazúa, A. Colín-Cruz, M. De La Luz Pérez-Rea, M. De Icaza, C. Velasco-Santos, C. & L. Martínez-Hernández, (2015). Effect of keratin structures from chicken feathers on expansive soil remediation. *Adv. Mater. Sci. Eng.*, 2015(10.1155/2015/907567): 10 pg.
- [2] K. C. dos S. Sales, (2011). Melhoria de Solos por Inclusão de Fibras Naturais. *Dissertação de Mestrado*. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia. Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Brasília.
- [3] C. Galán-Marín, C. Rivera-Gómez, & J. Petric, (2010). Clay-based composite stabilized with natural polymer and fibre. *Constr. Build. Mater.*, 24(8): 1462–1468.
- [4] W. Ali Butt, B.A. Mir, J.N. Jha (2015). Strength Behavior of Clayey Soil Reinforced with Human Hair as a Natural Fibre, *Geotech Geol Eng* (2016) 34:411–417 DOI 10.1007/s10706-015-9953-x
- [5] A. L. Martínez-Hernández, & C. Velasco-Santos, (2012). Keratin fibers from chicken feathers: structure and advances in polymer composites. In: *Keratin: Structure, Properties and Applications*, pp. 149–21A.N.
- [6] ABNT - NBR 7181/84 (1984). Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, RJ. 13p.
- [7] R. C. Guimarães, (2002). Análise das Propriedades e Comportamento de um Perfil de Solo Laterítico Aplicada ao Estudo do Desempenho de Estacas Escavadas. *Dissertação de Mestrado em Geotecnia*. Universidade de Brasília.
- [8] DNER-ME 258/94 (1994). Solos compactados em equipamento miniatura-Mini-MCV. Rio de Janeiro, RJ. 14p.
- [9] DNER-ME 256/94 (1994). Solos compactados com equipamento miniatura-determinação da perda de massa por imersão. Rio de Janeiro, RJ. 6p.
- [10] DNER-ME 138/94 (1994). Misturas betuminosas-determinação da resistência à tração. Rio de Janeiro, RJ. 4p.
- [11] J. W. Kock, (2006). Physical and Mechanical Properties of Chicken. School of Civil and Environmental Engineering. Georgia Institute of Technology.