

Factores edáficos asociados a las propiedades mecánicas de la *Guadua angustifolia*

Soil factors associated with mechanical properties of *Guadua angustifolia*

Mauricio Duarte T⁽¹⁾, Guissela Alexandra López⁽²⁾ y María Camila Campos⁽³⁾

Resumen

En la actualidad no se cuenta con información amplia sobre la relación entre las propiedades físico-químicas de los suelos y los esfuerzos a compresión y tracción paralela a la fibra de *Guadua angustifolia*. Por esto, se realizó un muestreo de los suelos en los predios previamente seleccionados de los trabajos de (Capera y Erazo, 2012) y (Alarcón y Olarte, 2013) del municipio de Pitalito; se desarrollaron pruebas físicas y químicas de las muestras de suelo y finalmente se procesaron los resultados y se realizaron análisis estadísticos. Con base en los resultados se encontraron las características del suelo que influyen sobre los esfuerzos a compresión paralela y tracción de la guadua y cómo es el crecimiento de la guadua con respecto al suelo, siendo la textura, pH, Saturación de cationes (Ca, Mg), relación de cationes (Ca/k, Ca/Mg), elementos menores (Cu, Zn, Fe, Mn, B), bases de cambio (Na, K, Mg, Ca) las características físicas y químicas del suelo que influyen sobre las propiedades mecánicas de la *Guadua angustifolia* y de ellas depende la relación agua-suelo-guadua para obtener un buen crecimiento.

Palabras clave: *Guadua angustifolia*; suelo; propiedades físicas; propiedades químicas.

Abstract

Currently there is not enough information available on the relationship between the physical and chemical properties of the soil and the compression and tension resistance parallel to the fiber of *Guadua angustifolia*. For this reason soil samples were taken in the same areas of the samples of guadua used in previously works (Capera and Erazo, 2012) and (Alarcon and Olarte, 2013); then physical and chemical testing of soil samples were developed and finally was done statistical analysis. From the results, it was established the soil characteristics that affect the parallel compression and tension stresses of Guadua and its growth, being the texture, pH, saturation cations (Ca, Mg) ratio of cations (Ca / K, Ca / Mg), minor elements (Cu, Zn, Fe, Mn, B), exchangeable bases (Na, K, Mg, Ca) the physical and chemical soil characteristics that influence the mechanical properties of the *Guadua angustifolia* and depends on them water-soil-bamboo relationship for good growth.

Key words: *Guadua angustifolia*; soil physical properties; chemical properties.

-
1. Magister en Ingeniería Civil. Docente Universidad Surcolombiana. Av Pastrana Borrero carrera 1a Neiva. E-mail: maduto@usco.edu.co
 2. Ingeniera Agrícola Universidad Surcolombiana. Av Pastrana Borrero carrera 1a Neiva. E-mail: guissela_lopez12@hotmail.com
 3. Ingeniera Agrícola Universidad Surcolombiana. Av Pastrana Borrero carrera 1a Neiva. E-mail: camilacampos416@gmail.com

Recibido: noviembre 2015. Aceptado: marzo 2016.

1. Introducción

La Guadua posee amplio rango de distribución geográfica, lo cual indica su gran adaptabilidad. Observaciones técnicas demuestran que el buen desarrollo de la planta está gobernado de manera directa por la calidad del sitio donde se desarrolle, la precipitación y la temperatura (Giraldo y Sabogal, 1999).

Los factores que determinan las áreas adecuadas para el cultivo de Guadua, son los edáficos, climáticos y el manejo silvicultural, ya que estos van asociados con el crecimiento y desarrollo de esta materia prima, así mismo con sus propiedades mecánicas como lo son la resistencia al corte, flexión, compresión y tensión.

En la actualidad no se cuenta con suficientes conocimientos en lo que respecta a los sitios más apropiados para el cultivo de la guadua; sin embargo, el auge reciente de industrializarla hace prever la realización de proyectos de reforestación con esta especie. Por esto son necesarios estudios de investigación acerca de la guadua y de los sitios aptos para su plantación, que garanticen mayor producción y calidad de materias primas (Castaño, 2004).

Por tal razón se presentan las variables físicas y químicas del suelo y su relación con las propiedades físico-mecánicas de la *Guadua angustifolia* del municipio de Pitalito, específicamente con los valores de esfuerzo a la compresión y tensión paralela a la fibra.

2. Metodología

2.1 Localización

La presente investigación se desarrolló en el municipio de Pitalito al sur del departamento del Huila a 188 km de la ciudad de Neiva, el rango de altitud de la zona de estudio es de 1000–1800 m.s.n.m, la

temperatura media anual oscila entre 18 – 21 °C. Geográficamente los límites de la zona de estudio son: latitud 1°55'40.95"N – 1°44'50.30"N – longitud 75°57'15.00"O – 76°08'02.38"O, de acuerdo con el sistema de referencia MAGNA –SIRGAS.

2.2 Identificación y selección de los lugares de muestreo

Para la sección de los sitios de muestreo se tuvo en cuenta los rodales elegidos para el proyecto “Resistencia a la Compresión Paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la *Guadua angustifolia* del municipio de Pitalito-Huila”, con el fin de continuar el estudio de los mismos rodales y así tener datos y resultados completos que buscan caracterizar la Guadua de la zona sur del departamento del Huila y de rodales específicos.

El municipio de Pitalito por su ubicación geográfica posee una gran diversidad de fauna y flora; dentro de la flora sobresalen los bosques de Guadua, los cuales dentro de la zonificación ambiental del municipio son muy representativos según lo establecido en el Plan de Ordenamiento Territorial (P.O.T 2000).

Teniendo en cuenta la norma NTC 5525 y por razones prácticas se le asignó a cada predio una letra que lo identifica, como se observa en la tabla 1.

2.3 Recolección de información básica de los lugares de muestreo

Se recolectaron de forma aleatoria cinco submuestras de cada rodal, y se depositaron en un balde limpio con el fin de mezclarlas homogéneamente y realizar el cuarteo para la toma de la muestra representativa, esta es empacada en doble bolsa plástica debidamente sellada e identificada. Posteriormente las muestras obtenidas son llevadas a la ciudad de Neiva para su respectivo análisis de laboratorio¹

Tabla 1. Coordenadas magna-sirgas de los predios estudiados.

Predio	Vereda	Latitud (N)	Longitud (O)	Altitud (m.s.n.m)
A: La Esperanza	San Francisco	1.50.06.04"	76.06.57.44"	1313
B: Villa María	Zanjones	1.50.26.07"	76.01.58.35"	1279
C: Yamboró	Aguadas	1.53.36.02"	76.05.25.13"	1331
D: La Dalia-Limón	Palmarito	1.47.13.81"	76.04.03.39"	1294

Fuente: Capera y Erazo, 2012.

¹ Laboratorio AGUALIMSU S.A.S. análisis físicoquímicos y microbiológicos de aguas, alimentos y suelos. Neiva.

2.4 Relación de las variables mediante análisis estadístico

Los resultados obtenidos en los proyectos “Resistencia a la compresión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la *Guadua angustifolia* del municipio de Pitalito-Huila” (Caperá y Erazo, 2012) y “Esfuerzo máximo a tensión paralela a la fibra y determinación del módulo de elástica de la *Guadua angustifolia* del municipio de Pitalito-Huila” (Olarte y Alarcón, 2013), se utilizaron para analizar la incidencia de los factores edáficos en las propiedades físico mecánicas de la Guadua.

Variables independientes:

Propiedades físicas del suelo:

- Textura
- pH
- Densidad Aparente
- Conductividad eléctrica
- Materia Orgánica

Propiedades químicas del suelo:

1. Relación de cationes:
 - Ca/Mg, Ca/K, Mg/k, (Ca+Mg)/K
2. Saturación de cationes:
 - Saturación de calcio (ca)
 - Saturación de magnesio (mg)
 - Saturación de potasio (K)
 - Saturación de sodio (Na)
3. Elementos menores:
 - Cobre, Zinc, Hierro, Manganeso, Boro
4. Bases de cambio:
 - Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio

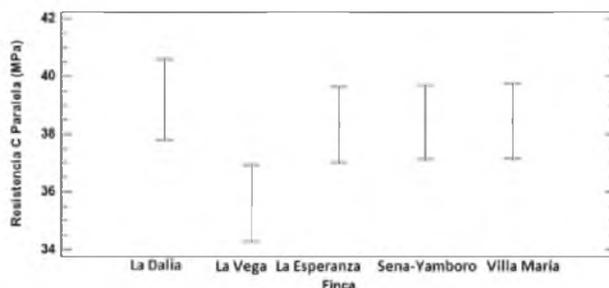


Figura 1. Diagrama de Fisher LSD para la resistencia a Compresión Paralela por fincas.

Variables dependientes:

- Resistencia a la compresión paralela a la fibra.
- Resistencia a la tensión paralela a la fibra.

3. Resultados y discusión

Los resultados logrados y visualizados en los trabajos de Caperá y Erazo (2012), y Olarte y Alarcón (2013), se observan en la tabla 2.

Tabla 2. Esfuerzo promedio a compresión y tensión de las zonas estudiadas.

Predio	Compresión paralela (MPa)	Tensión (MPa)
Villa María	38,32	57,95
Sena Yamboró	38,35	61,25
Dalia	38,96	62,31
La Esperanza	38,19	62,71
La Vega	35,38	

Además, en la **Figura 1** se observa que en los cuatro predios de Pitalito-Huila (La Dalia, Yamboró, La Esperanza y Villa María) existe una mayor Resistencia a Compresión Paralela con respecto a la Finca la Vega de Timana-Huila, por otro lado, en la **Figura 2** se muestra que en las fincas La Dalia, La Esperanza y Yamboró se tiene una diferencia notable de mayor Resistencia a Tensión paralela con respecto a la finca Villa María.

Los resultados del laboratorio de suelos, se organizaron en la Tabla 3, la cual corresponde al análisis físico y la Tabla 4 el análisis químico del suelo en los cinco predios estudiados en el municipio de Pitalito.

A partir del análisis de las muestras de suelo en laboratorio, se identificaron los factores edáficos de mayor incidencia sobre esfuerzos de Compresión y

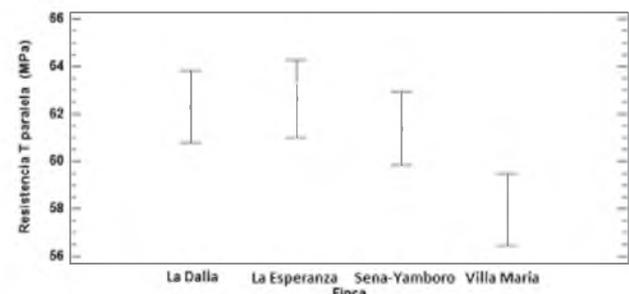


Figura 2. Diagrama de Fisher LSD para Resistencia a Tensión Paralela por fincas.

tensión paralela de la *Guadua angustifolia* en el municipio de Pitalito; se buscó la mejor línea de tendencia y para poder correlacionar cuales de las propiedades físico-químicas del suelo podrían afectar las propiedades mecánicas de esfuerzo a compresión y tensión paralela a la fibra de la Guadua. Como resultado principal, se logró evidenciar que la mejor línea de tendencia lograda fue la polinómica de orden 2 en todos los casos. En el presente artículo solo se van a describir aquellas cuyas correlaciones estuvieron por encima de $R^2 = 0.7$

3.1 Propiedades químicas

3.1.1 Relación de cationes

- Ca/Mg

Se puede observar en la Figura 3 el comportamiento de las líneas polinómicas para Compresión y Tensión Paralela, con correlaciones R^2 de 0.71 y 0.79 respectivamente. Según la Figura 3, no existe una diferencia importante entre la relación de cationes y los esfuerzos a Compresión y Tensión.

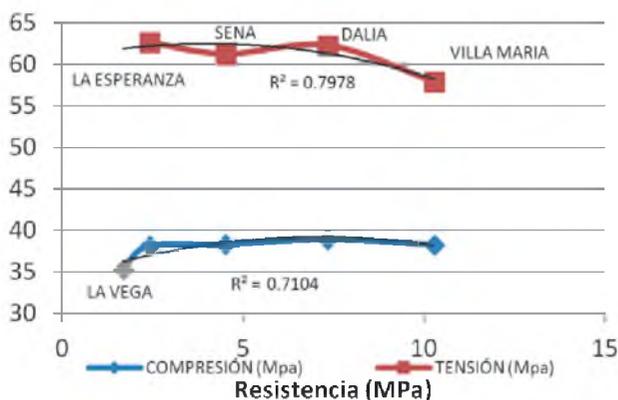


Figura 3. Relación Ca/Mg de las cinco zonas de estudio y la resistencia a compresión y tensión de la *Guadua angustifolia*.

Cuando la relación Ca/Mg es alta, según (Laínez, 1962), disminuyen la absorción del magnesio. De acuerdo a los resultados mostrados en la Figura 3, el predio con mayor relación de Ca/Mg en el suelo, es Villa María, por lo tanto, hay una absorción de magnesio menor en comparación a los demás predios. Al observar esta figura, se encuentra que el pico más alto de esfuerzo a tensión ocurre entre rangos de Ca/Mg de 4 y 10, aunque la correlación no sea muy buena.

En cuanto a la Compresión Paralela, el predio La Vega tiene la menor compresión (35,38 MPa) y la menor

relación Ca/Mg (1.69), en cambio el predio la Dalia la mayor compresión (38.96 MPa) con una relación de Ca/Mg de 7.33; esto muestra un rango de Ca/Mg para la obtención de esfuerzos a Compresión altos que oscila entre 7 y 10.

Para el resto de relaciones de cationes (Mg/K), (Ca/K), ((Ca+Mg)/K), las correlaciones polinómicas estuvieron en su mayoría por debajo de 4, mostrando casi nula una dependencia de estas propiedades químicas del suelo con relación a las propiedades mecánicas estudiadas.

3.1.2 Saturación de Cationes

- Saturación de Ca

En la Figura 4, se muestra que la mejor tendencia polinómica ocurre para el esfuerzo a compresión, con una correlación R^2 de 0.74. La ecuación polinómica indica que los esfuerzos promedios de compresión se ven afectados por la saturación cálcica. Cuando la resistencia a la compresión es alta (38.96 MPa), la cual se presenta en la finca Dalia, su contenido de saturación de Calcio en el suelo es elevada, por el contrario, el predio La Vega tiene una resistencia a la compresión mínima (35.38 MPa) y un menor contenido de la saturación de calcio. Esto evidencia que los rangos de saturación de calcio en el suelo para que se presenten esfuerzos a compresión altos oscilan entre 40 y 80.

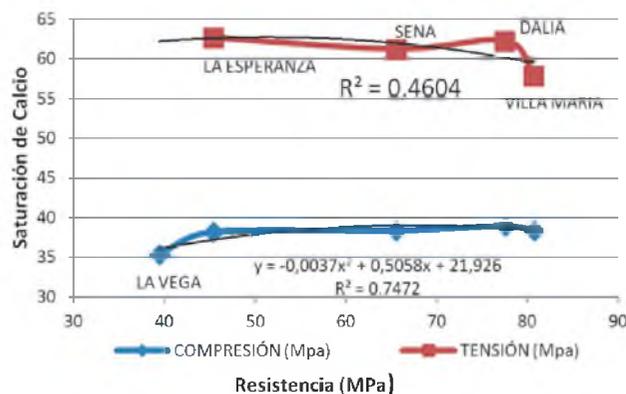


Figura 4. Curva de saturación de calcio, resistencia a la tensión y compresión de la *Guadua angustifolia*.

Es importante recalcar que el Ca es un macronutriente estructural, pues hace parte del componente de las paredes y membranas celulares, razón por la cual es indispensable su presencia para la formación de nuevas células.

Tabla 3. Análisis físico de suelo en los cinco predios estudiados.

Predio	Porcentaje Arenoso	Porcentaje Limo	Porcentaje Arcilla	Textura	pH	Densidad Aparente (Gr/cc)	Conductividad Eléctrica	MO (%)
Villa María	30	29	41	Arcilloso	5,85	1,15	150,6	0,51
La Vega	53	28	19	Franco Arenoso	5,3	0,84	90,2	0,67
Sena Yamboró	30	40	30	Franco Arcilloso	6,03	0,93	150,3	0,51
Dalia	41,9	25	33,1	Franco Arcilloso	6,45	0,96	117,5	0,84
La Esperanza	46	27	27	Franco Arcilloarenoso	5,76	1,02	104,2	0,62

Tabla 4. Análisis químico de los cinco predios estudiados.

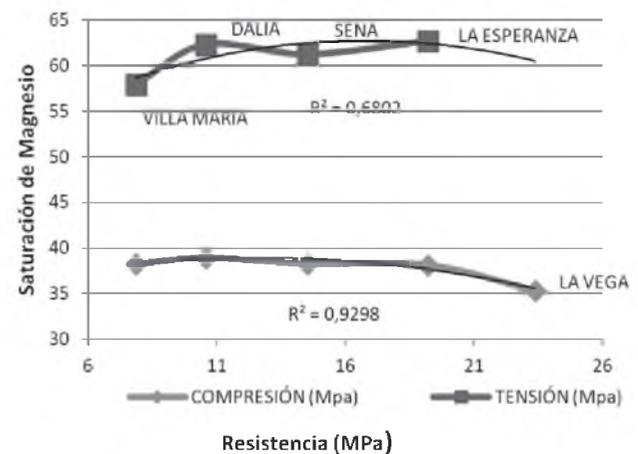
Composición química de los rodales en Pitalito-Huila																	
Predio	Relación de cationes				Saturación de cationes				Elementos menores					Bases de cambio			
	Ca/Mg	Ca/K	Mg/k	(Ca+Mg)/K	Saturación de calcio (ca)	Saturación de magnesio (mg)	Saturación de potasio (K)	Saturación de sodio (Na)	Cu	Zn	Fe	Mn	B	Na	K	Ca	Mg
Villa María	10,27	24,21	2,36	5,75	80,71	7,86	3,33	8,1	1,15	2,36	54,1	11,6	0,1	0,34	0,14	3,39	0,33
La Vega	1,69	5,18	3,07	4,52	39,4	23,37	7,61	17,39	1,02	1,32	68,1	29	0,43	0,64	0,28	1,45	0,86
Sena Yamboró	4,51	10,83	2,4	5,65	65,52	14,52	6,05	13,91	0,46	0,65	41,5	14,4	0,18	0,69	0,3	3,25	0,72
Dalia	7,33	23,1	3,15	7,77	77,52	10,57	3,36	8,56	0,98	0,94	68,3	5,2	0,24	0,51	0,2	4,62	0,63
La Esperanza	2,42	4,27	1,77	3,05	45,38	19,2	10,87	23,55	0,59	0,34	33,7	4,6	0,14	0,65	0,3	1,28	0,53

- Saturación de Mg

Según Lombin y Fayemi (1975) los porcentajes de saturación normales de Magnesio establecidos por varios autores son 4%, 6%, 10% y el rango 5-10%. Según Lora (1978) una saturación menor del 15% es baja, entre 15% y 25% media y mayor de 25% alta.

Según esta clasificación, los predios Villa María con un porcentaje de saturación de magnesio del 10% y el predio Dalia con el 14% son de saturación baja, el predio Sena Yamboró con el 19% presenta una saturación de magnesio media, y los predios La Esperanza y La Vega con una saturación del 26% y 31% respectivamente, presentan una saturación alta.

En la Figura 5, se evidencia que la mejor línea de tendencia polinómica es para el esfuerzo a compresión, con una correlación R^2 de 0.92. El predio La Vega tiene una resistencia a la compresión muy baja en comparación a los demás, se puede decir que la saturación de magnesio alta afecta directamente la Resistencia a la Compresión Paralela de la *Guadua*

**Figura 5.** Saturación de magnesio en el suelo y resistencia mecánica de la *Guadua angustifolia*.

angustifolia. Para conseguir una guadua con la resistencia a compresión alta, la saturación de Mg debe estar entre un rango de 7 y 19. Las saturaciones de K y Na según las tendencias polinómicas no afectan los esfuerzos a compresión y tensión de la guadua, ya que sus correlaciones estuvieron por debajo de 5.

3.1.3 Elementos menores

- Cu

De acuerdo a la Figura 6, se puede observar que existe una correlación polinómica fuerte (0.97) en lo que tiene que ver con la resistencia a la tensión, mostrando que un alto contenido de Cu en el suelo puede afectar los valores de los esfuerzos a tensión en la guadua. Se puede definir que para obtener buenos valores de tensión el rango de Cu en el suelo debe oscilar entre 0.1 y 1.0 mg/kg.

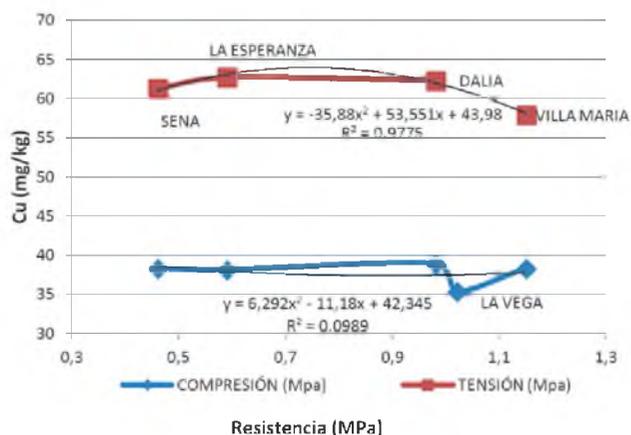


Figura 6. Contenido de Cu, esfuerzos promedio de compresión y tensión de los rodales estudiados.

En cuanto a la Resistencia a la Compresión, no se evidencia una relación, dado que la curva de tendencia polinómica encontrada presenta un coeficiente de correlación bastante bajo.

- Zn

La Figura 7 registra una buena relación entre el contenido de Zinc en el suelo y la Resistencia a la Tensión en la guadua, con un valor de correlación R^2 de 0.91. El predio Villa María registra el valor más alto de contenido de Zn (2.36 mg/kg) pero con el valor más bajo de Esfuerzo a Tensión (57.95 MPa), en cambio el predio La Esperanza posee el valor más bajo de Zn (0.34 mg/kg) pero con el valor más alto de tensión (62.71 MPa). Como conclusión y teniendo en cuenta lo mostrado en la Figura 7, para la obtención de valores más óptimos de Esfuerzo a Tensión en la guadua, se pueden encontrar con rangos de Zn en el suelo entre 0.3 a 0.9 mg/kg.

- Fe

Como se representa en la Figura 8, el contenido de hierro en el suelo tiene una correlación polinómica

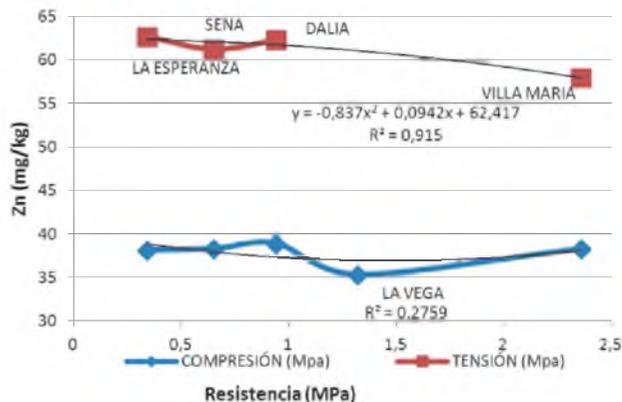


Figura 7. Curva de contenido de Zn en el suelo y propiedades mecánicas de la *Guadua angustifolia*.

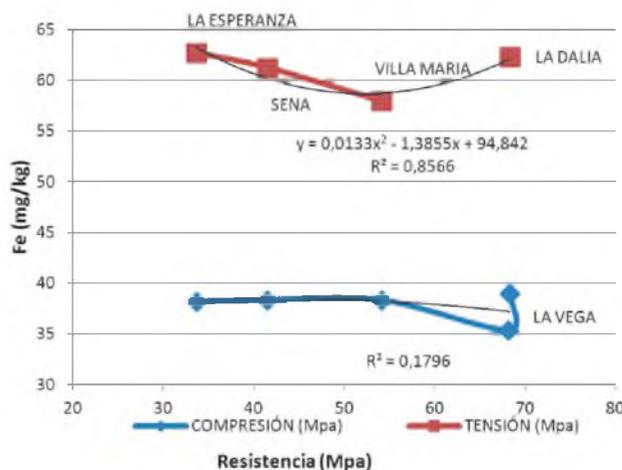


Figura 8. Contenido de Fe, esfuerzos promedio de compresión y tensión de los rodales estudiados.

aceptable ($R^2 = 0.86$) para el Esfuerzo a Tensión, lo cual muestra que puede existir una relación del contenido de hierro con respecto a los predios estudiados.

Al observar los resultados de la correlación polinómica para el esfuerzo a compresión, se concluye que el Fe no influye en los valores de Resistencia a la Compresión paralela de la guadua.

El valor más bajo de Fe (33.7 mg/kg) es para el predio La Esperanza, pero resulta que tiene el valor más alto de resistencia a la tensión (62.71 MPa); el predio Dalia obtuvo el valor más alto de Fe (68.3 mg/kg) pero su registro en esfuerzo a tensión no disminuye mucho respecto al del predio La Esperanza (62.31 MPa). De lo anterior se podría deducir que para valores de Fe por debajo de 33.7 mg/kg y por encima de 68.3 mg/kg se pueden obtener los mejores resultados de esfuerzos a Tensión de la guadua.

- Mn

A diferencia de los anteriores elementos menores, se observa una buena relación polinómica entre el Mn en el suelo y las propiedades mecánicas como la compresión y la Tensión Paralela, obteniéndose correlaciones R^2 de 0.96 y 0.97 respectivamente.

El predio La Esperanza obtuvo el valor más bajo de concentración de Mn (4.6 mg/kg) pero no el más bajo en cuanto a la compresión (38.19 MPa), en cambio el predio La Vega logró el valor más alto de concentración de Mn en el suelo (29 mg/kg) pero el más bajo en esfuerzo a compresión (35.38 MPa); de esto se puede deducir al observar la figura 7, que los valores de concentración de Mn en el suelo debe estar entre 4 y 14 mg/kg para la obtención de buenos resultados de esfuerzos a Compresión Paralela.

En la Tensión, se evidencia según la Figura 9, que el predio La Esperanza que tiene el valor más bajo de Mn, tiene el valor más alto de esfuerzo a Tensión (62.71 MPa), mientras que el predio Sena Yamboró que tiene el valor más alto de Mn (14.4 mg/kg) obtuvo un valor de Resistencia a la Tensión (61.25 MPa). Con base a lo anterior, se podría creer que, para la obtención de buenos resultados de esfuerzos a tensión, se necesitaría que la concentración de Mn en el suelo estuviera por debajo de 4 mg/kg y por encima de 14 mg/kg.

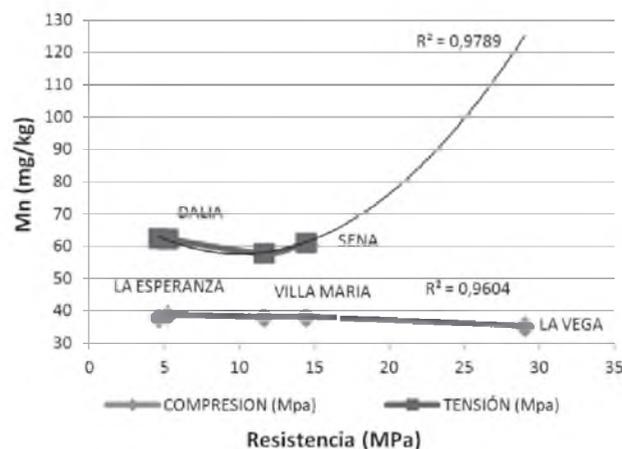


Figura 9. Relación de la concentración de Mn con los esfuerzos a compresión y tensión de la Guadua.

- B

En cuanto al contenido de B en el suelo y su relación con las propiedades mecánicas de la guadua, se puede deducir con base en la Figura 10, que existen buena relación entre esta propiedad química y la Resistencia

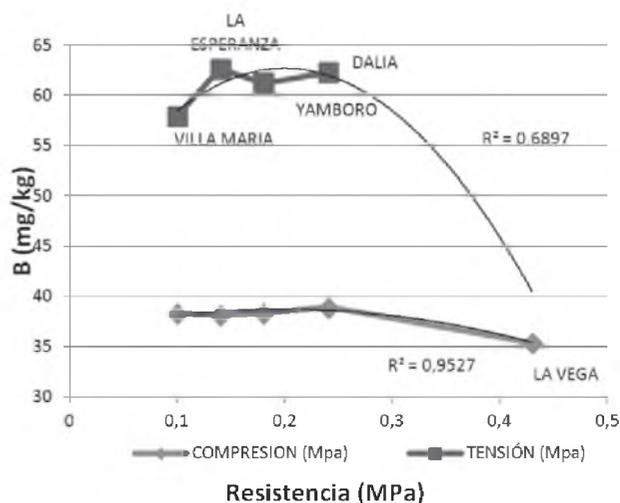


Figura 10. Contenido de B, esfuerzos promedio de compresión y tensión de los rodales estudiados.

a la Compresión Paralela a la fibra de la Guadua, ya que muestra una correlación R^2 de 0.95.

El rodal que posee el valor más alto de esfuerzo a la Compresión Paralela es La Dalia (38.96 MPa), presentando un contenido en Boro de 0.24 mg/kg uno de los más altos. El rodal La Vega tiene una resistencia a la Compresión Paralela de 35.38 MPa, el cual es el valor más bajo con relación a los demás predios, y posee un contenido de B de 0.43 mg/kg, el más elevado en cuanto a la concentración de B existentes en los suelos estudiados. Esto concluye que para obtener buenos valores de Resistencia a la Compresión Paralela se necesitaría valores de B que oscilaran entre 0.1 y 0.24 mg/kg.

3.1.4 Bases de Cambio

- Contenido de Na

En la figura 11, se observan las líneas de tendencias polinómicas de los Esfuerzos de Tensión y Compresión Paralela respecto a la concentración de sodio, donde se obtiene una deficiente correlación para la Resistencia a la Compresión Paralela ($R^2=0.1$), pero muy buena para la tensión ($R^2=0.97$).

Lo anterior indica que la cantidad de Na en el suelo puede ser significativa solo para la resistencia a la tensión. El predio Villa María obtuvo el valor más bajo de Na en el suelo (0.34 cmd/kg) como también tiene el valor más bajo de tensión (57.91 MPa), en cambio el predio Sena logró el valor más alto de Na (0.69 cmd/kg) con un valor relativamente más alto de esfuerzo a

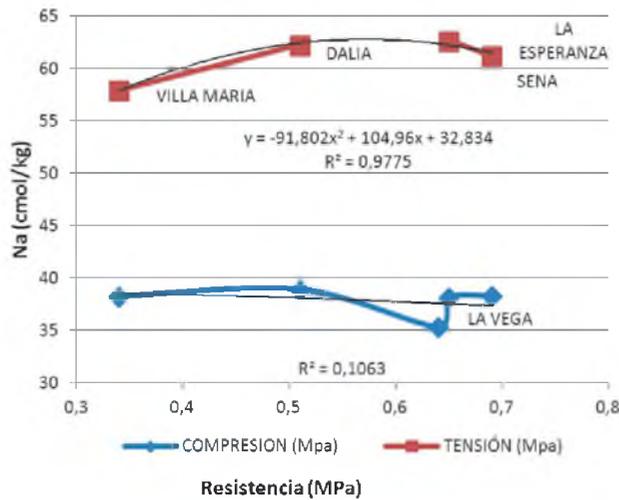


Figura 11. Contenido de Na, esfuerzos promedio de compresión y tensión de los rodales estudiados.

tensión (61.25 MPa). Lo anterior sugiere que en la obtención de buenos resultados de resistencia a la tensión en la guadua se necesitarían valores de contenido de Na en el suelo entre 0.51 y 0.65 cmd/kg.

-Contenido de K

En la Figura 12, se puede evidenciar líneas de tendencia polinómicas obtenidas para ambas propiedades, de Tensión y Compresión Paralela; aunque la única que presenta buena correlación ($R^2 = 0.92$) es la tensión, por lo cual se tiene una alta confiabilidad que el contenido de K en el suelo puede afectar dicha propiedad. Se observa que, a menor contenido de K, como en el rodal Villa María (0,14 mg/kg), existe una menor Resistencia a la Tensión de la guadua, que en este caso

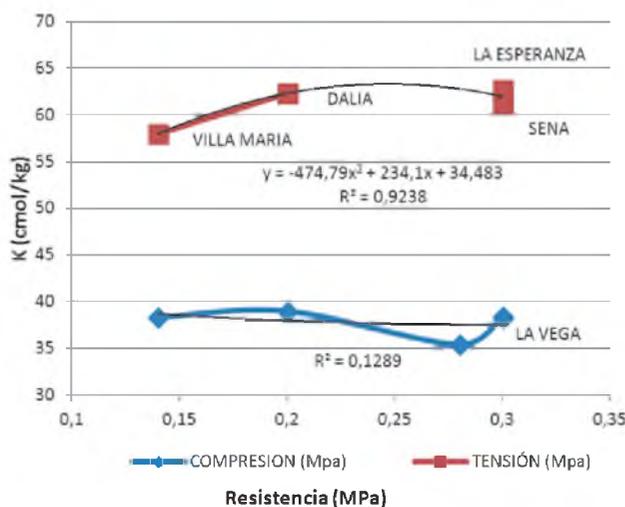


Figura 12. Contenido de K, esfuerzos promedio de compresión y tensión de los rodales estudiados.

es de 57.95 Mpa, y a mayor contenido de K hay un alto valor en el Esfuerzo a la Tensión, como es el resultado en el predio La Esperanza, que tiene una Resistencia a la Tensión de 62.71 MPa y una concentración de K de 0,3mg/kg, el cual es el más elevado con relación a los demás predios estudiados.

- Contenido de Mg

La Figura 13, muestra las tendencias entre el contenido de Mg en el suelo y las resistencias a la compresión y tensión de la Guadua estudiada. Se encontró para ambos casos buenos coeficientes de determinación, aunque un mejor valor en el caso de la Resistencia a la Tensión ($R^2=0.99$) que para el caso de la Compresión Paralela ($R^2 = 0.85$).

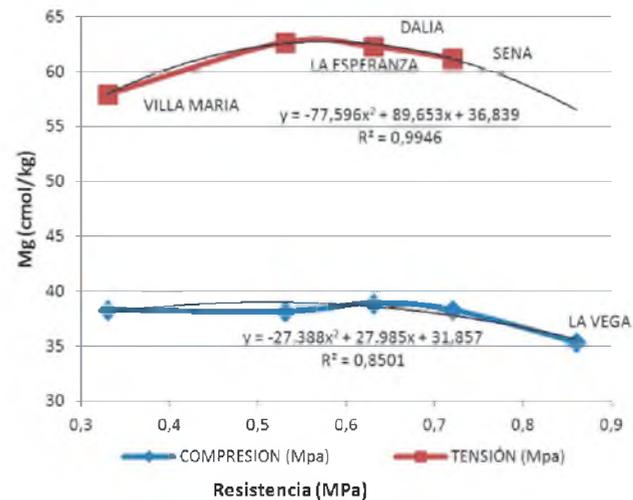


Figura 13. Relación del contenido de Mg y propiedades mecánicas de la Guadua.

Para la Tensión, el predio Villa María obtuvo el menor valor de contenido de Mg (0.33cmd/kg) y el menor valor de Resistencia a la Tensión (57.95 MPa), en cambio el predio Sena obtuvo el mayor valor de cantidad de Mg (0.72 cmd/kg) con un valor mayor de Resistencia a la Tensión de 61.25 MPa. Con base en la Figura 13, se podría afirmar que, para obtener los mejores valores de Resistencia a la Tensión, se necesitaría valores de contenido de Mg que variaran de 0.53 a 0.63 cmd/kg.

Al realizar el análisis para la Compresión Paralela, se encuentra que para el predio Villa María que fue el que obtuvo el menor valor de Mg fue el de los más altos valores de la Resistencia a la Compresión (38.32MPa), mientras que el predio La Vega, que obtuvo el valor más alto de cantidad de Mg (0.86 cmd/kg)

obtuvo el valor más bajo de Resistencia a la Compresión Paralela (35.38 MPa); concluyendo que para tener guaduas con buenos valores de Resistencia a la Compresión Paralela, se necesitaría suelos con cantidades de Mg que varieran de 0.53 y 0.72 cmd/kg.

3.2. Propiedades físicas del suelo

3.2.1 Textura

Según (Cruz, 1994), los suelos que más favorecen el desarrollo de la guadua son los arenos limosos, francos, franco-arenosos, pero observando la Tabla 5, el predio con menor resistencia a la compresión es el predio La Vega presentando una textura franco arenosa. El predio que presentó mejor resistencia a la compresión de la guadua fue el predio La Dalia con un suelo de textura franco arcilloso, además su resistencia a la tensión no fue tan baja.

En la Tabla 5, se puede evidenciar que los suelos de textura arcillosa son malos para la Resistencia a la Tensión y los suelos franco arenosos son malos para la Resistencia a la Compresión Paralela, pero los suelos de textura franco arcillosos y arcillosos son buenos para la Resistencia a Compresión y los suelos de textura franco arcilloarenoso y franco arcilloso presentan una mejor Resistencia a la Tensión de la guadua.

Tabla 5. Textura del suelo y las propiedades físico-mecánicas de la *Guadua angustifolia* de los cinco predios estudiados.

Predio	Textura	Compresión (MPa)	Tensión (MPa)
Villa María	Arcilloso	38,32	57,95
La Esperanza	Franco Arcilloarenoso	38,19	62,71
Sena Yamboró	Franco Arcilloso	38,35	61,25
Dalia	Franco Arcilloso	38,96	62,31
La Vega	Franco Arenoso	35,38	-

Según Agudelo & Toro (1994) citado por Castaño (2002), los suelos con textura de altos porcentajes de limos y arcillas, favorecen un mejor desarrollo de la especie; el predio La Vega presenta bajo contenido de arcilla y una Resistencia a la Compresión de 35,38 MPa comparado con el predio La Dalia con un contenido de arcilla de 33.1 % y una Resistencia a la Compresión de 38,96 MPa (Tabla 6).

Tabla 6. Porcentaje de contenido de arena, limo y arcilla en los cinco predios estudiados y las propiedades físico-mecánicas de la *Guadua angustifolia*.

Predio	% Arena	% Limo	% Arcilla	Compresión (MPa)	Tensión (MPa)
Villa María	30	29	41	38,32	57,95
Sena Yamboró	30	40	30	38,35	61,25
Dalia	41,9	25	33,1	38,96	62,31
La Esperanza	46	27	27	38,19	62,71
La Vega	53	28	19	35,38	

Los predios La Vega y La Esperanza tienen un mayor contenido de arena, 53% y 46% respectivamente, y dichos predios presentan la menor resistencia a la compresión dentro de los predios estudiados, 35.38 MPa y 38.19 MPa respectivamente, mientras que los predios de Villa María y Sena Yamboró tienen un menor contenido de arenas, 30% los dos, y son los que presentan un mejor rendimiento a Compresión, 38,32 MPa y 38,35 MPa respectivamente.

Para el caso de la Resistencia a la Tensión, se tiene un mejor rendimiento en los predios Dalia y La Esperanza con un contenido de arenas de 41,9% y 46% con rendimientos de 62,31 MPa y 62,71 MPa respectivamente. El predio Dalia con el menor porcentaje de limo, 25%, es el que tiene la mejor resistencia a compresión Paralela 38,96 MPa, el predio Sena Yamboró con un porcentaje de limo del 40% presenta una resistencia a la compresión de 38,35 MPa, lo anterior corresponde a los valores máximos de los esfuerzos a compresión, mientras que el predio La Vega que esta intermedio en el contenido de limo con un 28%, es el que menor rendimiento a compresión tiene, 35,38 MPa. Para el caso de la tensión, no se logra definir un efecto claro del contenido de limo sobre esta propiedad.

En la Tabla 6 también se logra evidenciar que el aumento en el rendimiento a Compresión Paralela aumenta con el contenido de arcilla hasta cierto punto, esto se ejemplifica con el punto mínimo que es el predio La Vega con un 19% de arcilla y 35,38 MPa de Compresión Paralela, la propiedad aumenta hasta el predio Dalia con un 33,1% de arcilla y 38,96 MPa de compresión, luego, comienza a descender el rendimiento en el predio Villa María con un 41% de arcilla pero 38,32 MPa de Compresión Paralela. En el caso de la tensión, esta propiedad presenta altos y bajos con el aumento del contenido arcilloso de los predios, lo que no permite definir muy bien la relación entre estos dos aspectos.

De la tabla 6 se puede deducir, que el predio La Vega es la que tiene un mayor contenido en arenas con un 53% pero es este mismo predio el que presenta el menor contenido de arcilla con un 19%; el menor contenido en arenas lo presentan los predios Villa María y Sena Yamboró con un 30% cada uno, pero estos predios son los de máximo contenido en arcilla con un 41% y en limo con un 40% respectivamente; el menor contenido arcillosos es presentado en el predio La Vega con un 19%, y el menor contenido de limo se encuentra en el predio Dalia con un 25%.

- Porcentaje de arenas

En la Figura 14, se observa una relación buena entre el porcentaje de arena en el suelo y los valores de compresión de los predios estudiados, mientras que para la tensión esa misma relación es muy regular. Lo anterior indica que en suelos arenosos con rangos de porcentajes de arenas entre 30 y 46% se obtendría los mejores valores de Resistencia a la Compresión Paralela de la guadua. Según Giraldo & Sabogal (1999) los guaduales se caracterizan por tener altos contenidos de arena en comparación con limos y arcilla (63,11% 19,03% y 17,84 % respectivamente). De los predios estudiados se destaca el predio Dalia por tener una mejor Resistencia a Compresión Paralela y cumple con la proporción relativa de las partículas del suelo con un contenido de arena en comparación con limos y arcilla (41,9 %, 25%, 33,1% respectivamente).

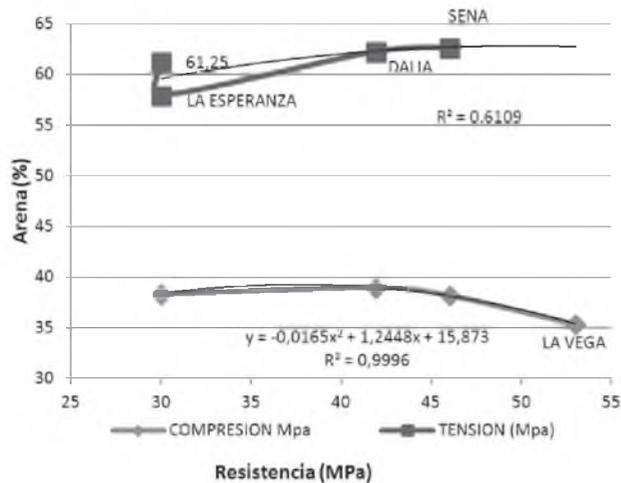


Figura 14. Relación de % de arena en el suelo con respecto a las propiedades mecánicas de la Guadua.

-Porcentaje de limos

La Figura 15, muestra las tendencias polinómicas que hay entre el porcentaje de limos con respecto las pro-

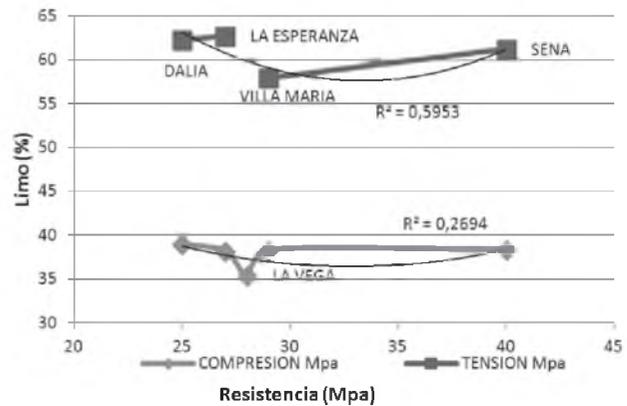


Figura 15. Relación del porcentaje de limos en el suelo y propiedades mecánicas de la Guadua.

iedades mecánicas de la Guadua, dando como resultados correlaciones muy bajas, tanto para la Resistencia a la Compresión como para la Resistencia a la Tensión. De allí que se pueda inferir, que el porcentaje de limo en el suelo no juega un papel relevante en el valor de los esfuerzos a Compresión y Tensión Paralela de la *Guadua angustifolia*.

- Porcentaje de arcilla

La Figura 16, muestra la relación entre el porcentaje de arcillas en el suelo y los esfuerzos a Compresión y Tensión Paralela de la Guadua; se observan unas buenas correlaciones polinómicas entre estas variables, R² de 0.89 para la tensión y 0.98 para la Compresión Paralela. Lo anterior muestra que las arcillas juegan un papel primordial en los resultados de las propiedades mecánicas estudiadas, para la tensión ese porcentaje debe oscilar entre el 27 y el 37%; mientras que para la compresión debe oscilar entre el 30 y el 40%.

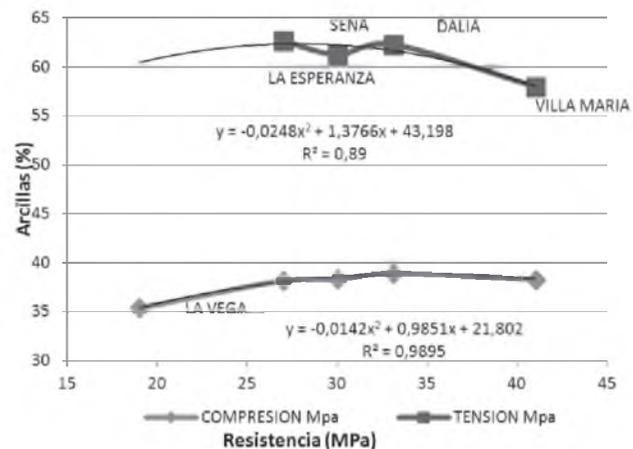


Figura 16. Relación del porcentaje de arcillas en el suelo y propiedades mecánicas de la Guadua.

3.2.2. Densidad aparente

Según Vélez (1996) la densidad aparente es una variable importante para evaluar el grado de compactación de los suelos. En estudios realizados a varios agro ecosistemas, en los que se incluyeron los guaduales, el suelo mostró niveles bajos de compactación (0.69 gr/cc). En promedio un agro sistema productivo tiene entre 0.98 y 1.05gr/cc. La densidad aparente disminuye significativamente en aquellos sistemas donde los contenidos de la materia orgánica son altos y las densidades reales de los materiales que conforman la matriz del suelo son bajas. En la Figura 17 se puede observar que los predios La Vega y Villa María están por fuera de los rangos propuestos por Vélez (1996) dichos predios tienen resultados menores a Resistencia a Compresión y Tensión Paralela, respectivamente.

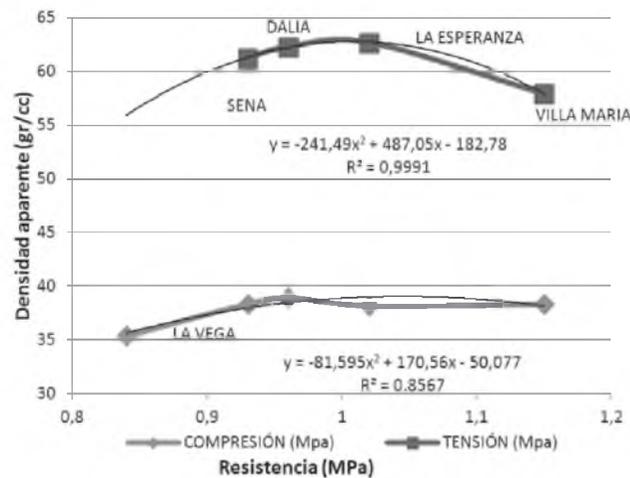


Figura 17. Curva de la densidad aparente en el suelo relacionado con las propiedades mecánicas de la *Guadua angustifolia* en los predios estudiados.

Con densidad aparente mayor de 1,6 gr/cm³, la aireación del suelo estará limitada y con Densidad aparente menor de 1.0 gr/cm³, indicaría altísimos contenidos de M.O (Jaramillo, 2013). Según esto, los predios La Vega con el 0,84 gr/cm³, Sena Yamboró 0,93 gr/cm³, La Dalia 0,96 gr/cm³, La Esperanza 1,02 gr/cm³ y Villa María 1,15 gr/cm³ presentan un buen contenido de materia orgánica.

Según García (2004) los suelos con densidad aparente alta poseen un nivel de calidad sobresaliente. Por lo tanto, los predios estudiados contienen altos contenidos de Materia Orgánica y tienen una buena aireación, lo que puede facilitar el desarrollo radicular, favorecer la actividad biológica y de intercambio ga-

seoso necesario en los procesos oxidativos que viabilizan la absorción de nutrientes por los cultivos.

La Figura 17 también muestra que la línea de tendencia polinómica para la tensión, es la que tiene mayor se aproxima a los datos. Los coeficientes R², son 0,990 y 0,856 para Tensión y Compresión Paralela respectivamente, indicando que la tendencia obtenida es bastante positiva, y mostrando que las propiedades mecánicas de la guadua se ven afectadas por esta propiedad física. Es bueno indicar, que la densidad aparente es una variable importante para evaluar la compactación de los suelos.

3.2.3 Conductividad eléctrica

Los guaduales con un promedio de 50,73cm/h se caracterizan por tener una conductividad que se clasifica como muy rápida; en estos suelos el agua se infiltra sin presentar problemas de encharcamiento, el paso de fluidos es más rápido en suelos no compactados y con mayores contenidos de materia orgánica, donde existe buena porosidad y el tamaño de los agregados es mayor. Según (García, 2004) los suelos con conductividad eléctrica alta poseen un nivel de calidad sobresaliente.

Con relación a las propiedades mecánicas de la Guadua, como se observa en la Figura 18, la conductividad eléctrica está altamente relacionada con la Resistencia a la Compresión Paralela de esta, ya que la línea de tendencia presenta un valor R² de 0.98. Para la Tensión no es muy buena ya que su correlación apenas alcanza a ser de 0.61. De lo anterior, se puede definir que, para obtener mayores valores de resistencia a la Compresión de la Guadua, los valores de conductividad eléctrica deben estar entre 104 y 150 μs/cm.

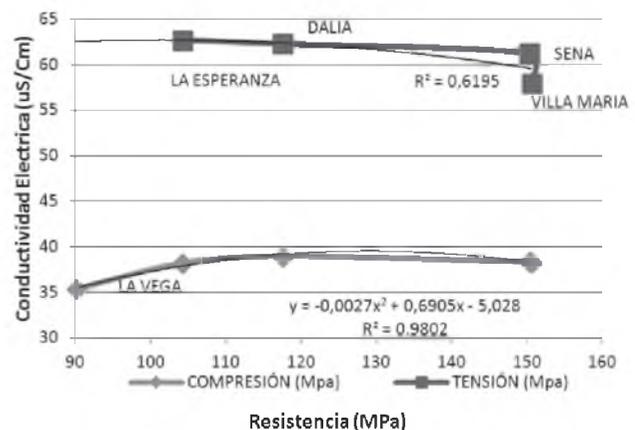


Figura 18. Curva de la Conductividad Eléctrica en el suelo relacionado a las propiedades mecánicas de la *Guadua angustifolia*.

3.2.4 pH

En la Figura 19, se observa que las líneas de tendencia tienen correlaciones R^2 de 0,23 para la tensión y 0,97 para la compresión, lo que muestra que la línea de tendencia que relaciona la resistencia a la compresión con el pH del suelo es bastante buena y por tanto se deduce que a medida que aumenta el pH en el suelo, la Resistencia a Compresión Paralela de la guadua también aumenta, en conclusión, a mayor acidez mejor resistencia a la compresión Paralela.

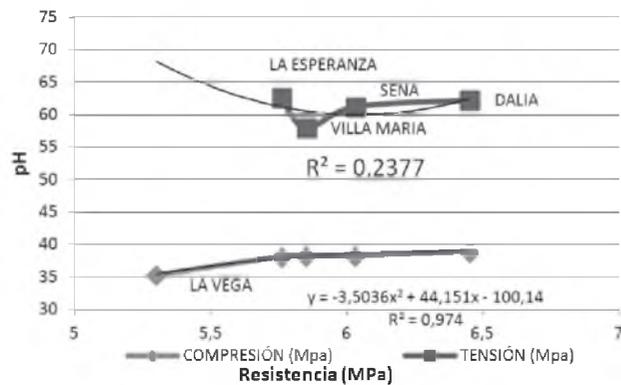


Figura 19. pH en el suelo relacionado con las propiedades -mecánicas de la *Guadua angustifolia*.

Según Castaño (2002), las condiciones óptimas de pH deben ser de 5,5-6,5, lo cual cumple con los resultados de laboratorio (Tabla 3), con un pH 6,5, el predio La Dalia es el de mejor resistencia a la Compresión Paralela a 38,96 MPa y presenta una Resistencia a la Tensión de 62,31 MPa.

3.2.5 Materia Orgánica

Al observar la Figura 20, se puede evidenciar que las tendencias polinómicas, aunque fueron las que más se ajustaron, sus coeficientes de determinación R^2 están por debajo de 0,7, indicando que las líneas de tendencia encontradas no son las adecuadas, que faltarían mayores datos o que es difícil relación la materia orgánica contenida en el suelo y las propiedades de Resistencia a la Tensión y Compresión Paralela.

4. Conclusiones

La *Guadua angustifolia* crece en todo tipo de suelos pero según los resultados del análisis de suelo y el estudio de las propiedades mecánicas de los cinco predios, los suelos con textura franco arcillosa (41,9%

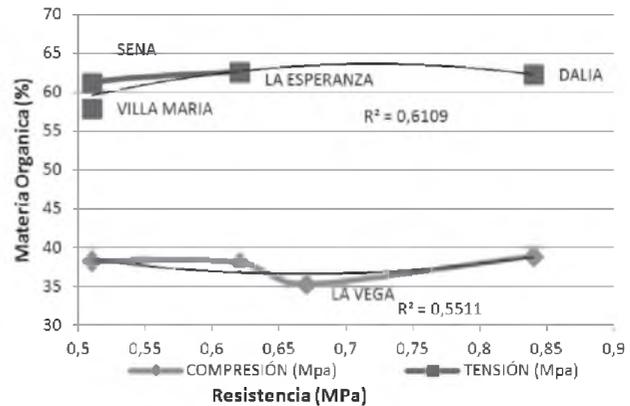


Figura 20. Curva de materia Orgánica en el suelo relacionado con las propiedades mecánicas de la *Guadua angustifolia*.

arena, 25% limo y 33,1% arcilla), son óptimos para una buena resistencia a la compresión y a la tensión; pero los suelos de textura franco arenosa (53% arena, 28% limo y 19% arcilla), no son aptos para un buen esfuerzo promedio a Compresión Paralela ya que el alto contenido de arena disminuye la resistencia de la Guadua.

Los suelos con alto porcentaje de arcilla no son los apropiados para lograr que la guadua tenga una alta Resistencia a la Tensión y en cambio los suelos con alto porcentaje en arena están directamente relacionados con la resistencia a la tensión pues a medida que hay mayor contenido de arena, la Resistencia a la Tensión es elevada.

La Resistencia a la Compresión Paralela de la *Guadua angustifolia* no se asocia significativamente en la mayoría de los elementos menores presentes en cada predio estudiado, solo se correlaciona positivamente con los elementos Mn y B.

Los micronutrientes Cu, Zn, Fe y Mn están asociados con los esfuerzos a la Tensión, pues a medida que el contenido de estos elementos menores en el suelo aumenta, se disminuye la Resistencia a la Tensión de la *Guadua angustifolia*. Es importante tener en cuenta que a mayor acidez la Resistencia a la Compresión Paralela va a ser mayor. Es decir, que el pH está estrechamente relacionado con el aumento en el esfuerzo a la compresión.

Cabe recalcar que la densidad aparente está relacionada con la tensión, la conductividad eléctrica con Compresión Paralela y el contenido de Materia Orgánica con ninguna de las propiedades mecánicas. Es recomendable realizar estudios con mayor número de

muestreos y donde las muestras obtenidas del suelo correspondan al lugar donde se encuentra el culmo de donde se sacan las probetas para la obtención de valores de resistencia.

5. Referencias bibliográficas

- Agudelo, B., Toro, I., 1994. Evaluación del desarrollo de los bosques de *Guadua angustifolia* en la zona de jurisdicción de la C.V.C, bajo diferentes condiciones de sitio, con fines de reforestación. Tesis, Universidad del Tolima. Ibagué. 168pp.
- Alarcón, J., Olarte, J., 2013. Esfuerzo máximo a la tensión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la *Guadua angustifolia* del municipio de Pitalito-Huila. Proyecto de grado. Neiva: Universidad Surcolombiana. 149pp.
- Capera, A., Erazo, W., 2012. Resistencia a la compresión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la *Guadua angustifolia* del municipio de Pitalito-Huila. Proyecto de grado. Neiva: Universidad Surcolombiana. 145pp.
- Castaño, F., Villanueva, G y Soto, F., 2002. Evaluación del desarrollo de los Bosques de *Guadua angustifolia* en la zona de la jurisdicción de la C.V.C. Bajo diferentes condiciones de sitio, con fines de reforestación. Valle del Cauca. 118 pp.
- Castaño, F., 2004. Factores del sitio que influyen en el desarrollo y el crecimiento de la guadua (*Guadua angustifolia Kunth*) y su incidencia en la rentabilidad y riesgos operacionales relacionados con su aprovechamiento forestal en la zona Andina. 15pp.
- Cruz, H., 2002. Los nutrientes en la guadua, la cantidad de extracción, el órgano al que los trasloca, los cambios en asimilaciones según la edad de la planta recibe el nombre de dinámica de extracción de nutrientes por parte del bambú – Guadua. 36pp.
- García, J., 2004. Definición de áreas óptimas de calidad de guadua (*Guadua angustifolia*), orientada a satisfacer las necesidades del mercado. Trabajo de grado de maestría. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. 118 pp.
- Giraldo, E., Sabogal, A., 1999. Una alternativa sostenible: La Guadua, técnicas de cultivo y manejo. Corporación Autónoma Regional de Quindío CRQ, Armenia, Quindío. PP. 189-192.
- Jaramillo, J., 2013. Drenaje Agrícola. Notas de clase. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Agrícola. 19 pp.
- Laínez, José. Relaciones entre los contenidos de cationes en el Suelo y en las hojas de plantas de café deficientes en Magnesio. Tesis de maestría. Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A. 1962.
- Lora, S., 1978. El análisis de suelos y su interpretación. Instituto Colombiano Agropecuario. Suelo y su fertilidad. Compendio No. 23 Bogotá: Instituto Colombiano Agropecuario ICA. 261 pp.
- Mengel, K., Kirkby, E., 2000. Principios de nutrición vegetal. Traducción al español de la 4a edición (1987). Internacional Potash Institute. Basel, Switzerland. 692 pp.

