

Analysis of the mechanical characteristics in mortar mixtures with the incorporation of corn leaf fibers

Haidee Yulady Jaramillo Jaramillo¹, Olgalicia Palmett Plata² Romel de Jesus Gallado Amaya ³ Juan esteban Hurtado Castañeda .⁴

¹Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña, hjjaramillo@ufpso.edu.co

²Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín, olgalicia.palmett@colmayor.edu.co

³Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña, rjgallardoa@ufpso.edu.co

⁴Politécnico Jaime Isaza Cadavid, Medellín, juan_hurtado95141@elpoli.edu.co

Abstract— This article presents the results of a research work of experimental design, aimed at making the addition of corn leaf fibers to the 1: 3 cement mortar matrix, performing stress and compression tests, humidity and density to determine the degree of final strength of the new reinforced mortar. After describing the way in which the fiber of the corn leaf is acquired, the quantities of the elements of the mixture are detailed, and the results of three samples and the average obtained are disclosed.

Keywords— Corn, fiber, mortar, physical-mechanical properties

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.66>
ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

Análisis de las características mecánicas en mezclas de mortero con la incorporación de fibras de hoja de maíz

Haidee Yulady Jaramillo Jaramillo¹, Olgalicia Palmett Plata² Romel de Jesus Gallado Amaya³ Juan esteban Hurtado Castañeda⁴

¹Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña, hjjaramillo@ufpso.edu.co

²Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín, olgalicia.palmett@colmayor.edu.co

³Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña, rjgalladoa@ufpso.edu.co

⁴Politécnico Jaime Isaza Cadavid, Medellín, juan_hurtado95141@elpoli.edu.co

Resumen– En este artículo se presentan los resultados de un trabajo investigativo de diseño experimental, tendiente a realizar la adición de fibras de la hoja de maíz a la matriz de mortero de cemento 1:3, realizando pruebas de tensión y compresión, humedad y densidad para determinar el grado de resistencia final del nuevo mortero reforzado. Una vez descrita la forma en que se procede para adquirir la fibra de la hoja de maíz, se detallan las cantidades de los elementos de la mezcla, y se dan a conocer los resultados de tres muestras y el promedio obtenido.

Palabras Clave: Maíz, fibra, mortero, propiedades físico-mecánicas.

Otros cereales	730	940	2.210	1,3	1,2
Total	1.270	1.910	2.560	2,2	1,4

Fuente: [1]

Estas cifras son relevantes si consideramos que una hectárea de maíz produce cerca de 1,55 toneladas de residuos de tallos. En Colombia la producción de maíz tiene cifra para el 2016 de 306.402 hectáreas con una producción de 4,78 millones de toneladas donde directamente su producción involucra desperdicios en gran magnitud que no son reutilizados si no que generalmente sirven de alimento a otros animales o su ciclo termina como rastrojo.

Lo anterior constituye una problemática ambiental, considerando el gran gasto de energía que involucran los procesos de producción de grandes industrias. Esta situación ha motivado esfuerzos en torno a la construcción y desarrollo sostenible, en las cuales se empiezan a implementar prácticas ecológicas que resultan también ser rentables, principalmente debido a la creciente demanda en el consumo de energía junto con las preocupaciones sobre el efecto invernadero que ha motivado a la industria de la construcción a sustituir los enfoques de construcción convencionales a través del uso de enfoques alternativos [2].

Con los avances obtenidos en las técnicas constructivas, se han venido involucrando materiales vegetales, cada vez con mayor provecho, innovación y economía, situación que ubica los procesos constructivos en la línea de la construcción ecológica y el cuidado del medio ambiente.

El uso de fibras naturales y/o vegetales en la construcción, ha generado una cantidad inusitada de nuevos materiales constructivos que llegan a ser alternativos e innovadores, ya que presentan, dentro de muchas otras ventajas, el cumplimiento de criterios de sostenibilidad, anhelados de hace algún tiempo, en los procesos constructivos.

Por esta razón, es notorio que el uso de fibras para el refuerzo de materiales, se presente como una alternativa válida para los países latinoamericanos [1] además, la escasez de vivienda digna y la rápida tendencia de urbanización en estos países, indican la necesidad de construir mayor infraestructura de vivienda económica, y dado que las fibras vegetales presentan tal promesa de reducción de costos al tiempo que mantienen niveles adecuados de rendimiento, parece necesario, si no esencial, desarrollar programas de investigación dirigidos

I. INTRODUCCIÓN

El proceso de industrialización en países en vía de desarrollo deriva en un aumento de la producción de productos agrícolas, y la consecuente acumulación de desechos no aprovechables. Productos como el arroz, el trigo y el maíz duplicaron su producción entre 1961 y 1991 en el conjunto de países en vía de desarrollo, así mismo se menciona que desde 1988 hasta el 2010 las cosechas de cereales en países en vía de desarrollo se verían incrementadas en un 1,4 por ciento, según la FAO [1], estas cifras se muestran en las tablas I y II.

TABLA I
PRODUCCIÓN DE CEREALES A NIVEL MUNDIAL

Tipo de cultivo	Producción (millones de toneladas métricas)			crecimiento (%)	crecimiento (%)
	1969-71	1988-90	2010		
Trigo	67	132	205	3,8	2,1
Arroz	177	303	459	3,0	2,0
Maíz	70	112	196	2,7	2,7
Otros cereales	67	84	135	1,3	2,3
Total	381	631	995	2,8	2,2

Fuente: [1]

TABLA II
RENDIMIENTO DE CEREALES A NIVEL MUNDIAL

Tipo de cultivo	Rendimiento (kilogramo por hectárea)			crecimiento (%)	crecimiento (%)
	1969-71	1988-90	2010		
Trigo	1.150	1.900	2.660	2,8	1,6
Arroz	1.855	2.775	3.810	2,3	1,5
Maíz	1.300	1.790	2.470	1,8	1,5

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.66>

ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

a la producción a gran escala de composiciones reforzadas con las fibras vegetales [3].

La utilización de fibras vegetales como aditivos y complementos, hace posible la innovación de materiales tradicionales, repotenciando y diversificando sus propiedades, permitiendo a su vez, que materiales tradicionales que ya habían bajado su oferta en el mercado, reaparezcan modificados.

Existe una diversidad de materiales tradicionales ampliamente comercializados, principalmente consisten en acero, vidrio y plástico. Sin embargo otro tipo de fibras estudiadas para su posible aplicación, son las fibras naturales de origen vegetal, cuya principal ventaja es la gran disponibilidad en países pobres y en desarrollo [4].

Las fibras naturales y sintéticas pueden ser una forma efectiva de mejorar el rendimiento de la mampostería [5]. Es común en la actualidad encontrar que materiales compuestos a partir de matrices cerámicos, plásticos y cemento incorporen fibras para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, tales como la resistencia a la tensión, a la compresión, al agrietamiento, al impacto, a la abrasión y a la tenacidad [6].

De esta manera, se emprende el trabajo de investigar y experimentar con la modificación de morteros y la adición de fibras vegetales, en este caso, se hará uso de fibras extraídas de las hojas del maíz, de las cuales presentaremos características a continuación.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Caracterización de los materiales

1) Fibras de maíz

Las hojas de maíz se obtuvieron a partir de vendedores en la plaza de mercado del municipio de Caldas (Antioquia). Y las características se establecieron a partir de un estudio realizado por el Departamento de Química, CUCEI-Universidad de Guadalajara. Blvd, México llamado “Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta” [7], en este estudio se presenta detalladamente las propiedades de las fibras de las hojas de maíz, en la Tabla III se muestra la composición química de este material.

TABLA III
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA HOJA DE MAÍZ

Compuesto	Hoja de Maíz – porcentaje (%) base seca
Holocelulosa	78,86
a-celulosa	43,14
Lignina	23,00
Ceniza	0,76

Fuente: [7]

De igual forma también es necesario una caracterización morfológica de la hoja. Las hojas de la planta de maíz, se caracterizan por ser alargadas, alternas y lanceoladas, nacen en cada nudo del tallo y consiste de vaina, lígula y lámina foliar.

La lámina foliar (hasta 150cm), ancha y plana posee nervaduras paralelas y centrales y su superficie es áspera y pubescente, forma regular de las hojas monocotiledóneas, como se muestra en la Figura 1.

En las hojas Monocotiledóneas las células externas o epidérmicas son generalmente alargadas en sentido paralelo al eje de la hoja y los estomas están ordenados en filas longitudinales en las zonas intercostales, es decir entre las venas. Las fibras de hojas monocotiledóneas están clasificadas como fibras extraxilares, con una concentración de lignina alto (Tabla III) lo que hace que su corteza sea mucho más gruesa y por tanto, la fibra más resistente, Figura 2.



Fig. 1. Características morfológicas de la hoja de maíz.

Fuente: [8]

La preparación de la fibra vegetal para su uso externo y comercial, se efectúa por medio de la síntesis de los siguientes pasos. El enriado: A la intemperie o en agua se dejan las hojas de 2 a 5 semanas hasta que se destruyan los tejidos blandos de la hoja. El agramado o espadillado: En esta fase las hojas son secadas al paso de un rodillo estriado, y por último, el batido o apaleo: Operación que hace que las partes fibrosas se fragmenten, definiéndose la fibra como tal, las cuales se alisan por medio de batido o sacudidas. Por último se clasifican y pasan por el proceso final de alistamiento como son la limpieza, el cepillado y peinado, junto al secado final, [8].

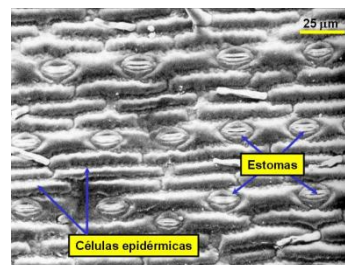


Figura 2. Estructura celular de la hoja monocotiledónea.

Fuente: [12]

Adicional al estudio morfológico, se establecieron las propiedades biométricas de la hoja de maíz, como se muestra en la Figura 3, en su aspecto perceptual y en la Tabla IV, se muestran sus valores.

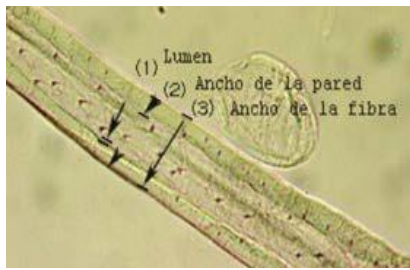


Fig. 3. Propiedades biométricas de las fibras.

Fuente: [7]

Los resultados de este estudio coinciden con lo explicado por Palacios (2003) [9], quien propuso una clasificación y medidas en lo que respecta a la longitud promedio de las fibras de las hojas de mazorca, colocando a éstas dentro del grupo de fibras moderadamente largas. Esa longitud es incluso similar a la que presentan algunas maderas coníferas.

TABLE IV
PROPIEDADES BIOMÉTRICAS DE LA HOJA DE MAÍZ

Especie	Longitud promedio (mm)	Lumen (µm) (1)	Espesor (µm) (2)	Ancho de la fibra (µm) (3)
Hoja de Maíz	1,86	32,1	7,5	47,4

Fuente: Autores

Con los resultados también se establecieron los índices de calidad del material, como se muestra en la tabla V que se calculan con respecto al largo, ancho, lumen y espesor de la pared celular.

TABLE V
ÍNDICES DE CALIDAD DE LAS FIBRAS DE HOJAS DE MAÍZ

Relación de Runkel	Coefficiente de rigidez	Coefficiente de flexibilidad	Clasificación de calidad según relación de Runkel
0,466	0,317	0,677	Muy buena

Fuente: Autores

La relación de Runkel, como lo expresa Cea (2011) [10], indica que cuanto menor sea este valor, mayor flexibilidad tendrá la fibra, y cuando este índice es menor que 0,25, se considera que la calidad es excelente. Si el valor se sitúa entre 0,25 y 0,50, la calidad será muy buena. Entre 0,50 y 1,00 se tendrá una calidad buena. Valores entre 1,00 y 2,00 indican una calidad regular y cuando el índice es mayor de 2,00, la calidad es mala [11].

Cuanto menor es la relación largo/ancho, mayor es la flexibilidad de las fibras. El índice de flexibilidad indica que las fibras de hoja de mazorca tienen la propiedad de colapsarse parcialmente. Además, presentan una sección transversal elíptica, una unión entre fibra y fibra buena, y la pared celular es delgada. Este coeficiente está relacionado directamente con la resistencia al doblaje, a mayor flexibilidad, mayor capacidad de doblarse [10].

El coeficiente de rigidez que presentan las fibras de hoja de mazorca es bajo, de acuerdo con la clasificación presentada por Larios (1979) [11] y cataloga a la pared de la fibra como delgada, por lo que la rigidez es baja. Este coeficiente influye de manera notoria en la resistencia al rasgado, presenta además una relación negativa en la porosidad de la hoja [12].

Las formulas correspondientes para el cálculo de los parámetros del espesor de pared (1), la flexibilidad (2) y la relación Runkel (3), son las siguientes:

$$\text{Espesor de pared} = \frac{\text{Ancho fibra} - \text{Lumen}}{\text{Lumen}} \quad (1)$$

$$\text{Flexibilidad} = \frac{\text{Lumen}}{\text{Ancho de fibra}} \quad (2)$$

$$\text{Relación Runkel} = \frac{2 * \text{Espesor de pared}}{\text{Lumen}} \quad (3)$$

2) Cemento Portland

El cemento empleado en la realización de los ensayos fue el comercialmente distribuido por la empresa ARGOS, es cemento tipo 1 o de uso general, y su ficha técnica se resume en la Tabla VI.

TABLE VI
PARÁMETROS QUÍMICOS Y FÍSICOS DEL CEMENTO

Parámetros químicos	Especificaciones ARGOS	NTC 321 Tipo I	ASTM C-1157 tipo GU.
Óxido de magnesio, Mgo, Max (%)	6.00	7.00	-
Trióxido de azufre, so ₃ , Max (%)	3.5	3.5	-
Parámetros físicos	Especificaciones ARGOS	NTC 121 Tipo I	ASTM C-1157 tipo GU.
Fraguado inicial ⁽¹⁾ , mínimo (minutos)	45	45	45
Fraguado inicial ⁽¹⁾ , mínimo (minutos)	420	480	420
Expansión autoclave, Max (%)	0.8	0.8	0.8
Expansión en agua ⁽²⁾ , Max (%)	0.02	-	0.02
Resistencia a 3 días ⁽³⁾ , Min (Mpa)	9.0	8.0	13.0
Resistencia a 7 días ⁽³⁾ , Min (Mpa)	16.0	15.0	20.0
Resistencia a 28 días ⁽³⁾ , Min (Mpa)	26.0	24.0	28.0
Blaine, Mínimo (cm ³ /gr)	2800	2800	-

Fuente: [13]

3) Arena

Se empleó arena propicia para este tipo de ensayos, con un porcentaje de arcillas y partículas deleznableles menores al 1% de la masa total. Así mismo el material que pasa el tamiz de 75 µm es menor al 5%. La cantidad de particular livianas es menor

al 0.5%, el contenido de sulfatos es menor al 1.2% y no hay presencia de material orgánico. Además la arena posee una capacidad de absorción de agua máxima del 4% y un índice de plasticidad igual a 0.

En la Tabla VII se muestra la granulometría empleada en las fibras tamizadas, para las distintas pruebas.

TABLE VII
ÍNDICES DE CALIDAD DE LAS FIBRAS DE HOJAS DE MAÍZ

TAMIZ		Porcentaje que pasa
Normal	Alterno	
9.5 mm	3/8"	100
4.75 mm	No. 4	95 - 100
2.36 mm	No. 8	80 - 100
1.18 mm	No. 16	50 - 85
600 µm	No. 30	25 - 60
300 µm	No. 50	10 - 30
150 µm	No. 100	2 - 10

Fuente: Autores

4. Mortero de cemento

Los morteros son una mezcla dosificada de un aglomerante (cemento), un agregado fino (arena) y agua. La variación en la dosificación de sus componentes, da como resultado morteros con diferente calidad para diversos usos.

El mortero de cemento, comúnmente llamado simplemente mortero, es el más usado en Colombia. Su variabilidad en la calidad y resistencia, está soportada en la dosificación y calidad granulométrica de la arena y el cementante. Sin embargo, dichas mezclas dan como resultado diversos tipos de mortero que serán usados según mayor o menor resistencia [13], como se muestra en la Tabla VIII.

TABLA VIII
USOS DE LOS MORTEROS DE CEMENTO

Mortero	Usos	Calidad
1:1	Mortero muy rico para impermeabilizaciones. Rellenos	Morteros de gran resistencia y se elaboran con arena limpia
1:2	Para impermeabilizaciones y pañetes de tanques subterráneos. Rellenos	
1:3	Impermeabilizaciones menores. Pisos	
1:4	Pega para ladrillos en muros y baldosines. Pañetes finos	Morteros de buena resistencia, se hacen con arena limpia o semilavada.
1:5	Pañetes exteriores. Pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos.	
1:6	Pañetes interiores: pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos	
1:7		

1:8 y 1:9	Pegas para construcciones que se van a demoler pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones.	Morteros de poca resistencia se elaboran con arena sucia
-----------	--	--

Fuente: [9]

5. Mortero reforzado con fibras vegetales

Para aportar mayor resistencia a un mortero, se combinan con diversos materiales que han demostrado en la práctica, ser convenientes, para ampliar el uso de los morteros. Estos morteros con aditivos de fibras artificiales, naturales (orgánicos o minerales), se les denomina morteros reforzados [14]. Los parámetros que definen las propiedades y resistencia de los morteros reforzados, son: Tipo y calidad del cemento y la granulometría del agregado; el diseño de la mezcla o dosificación; relación agua/cemento; porosidad del compuesto; características del refuerzo (tipo, calidad y cantidad); condiciones de humedad de refuerzo higroscópico; espesor de cubrimiento del refuerzo; y la supervisión y calidad del producto final, [14].

La Norma American Society of Testing Materials, ASTM C1116-89, quien determina la especificación estándar para concreto y concreto lanzado, reforzado con fibras, define las fibras como "Filamentos finos y elongados en forma de haz, malla o trenza, de algún material natural o manufacturado que pueda ser distribuido a través de una mezcla de hormigón fresco." [15].

B. Diseño experimental

La metodología de trabajo se estableció a partir de experiencias realizadas en otras investigaciones, principalmente el trabajo desarrollado por el docente Harveth Hernán Gil Sánchez, quien plantea las siguientes fases:

- Fase 1: Caracterización de los materiales: Búsqueda de antecedentes e investigaciones previas.
- Fase 2: Extracción y tratamiento de las fibras.
- Fase 3: Mortero de cemento para probetas de pruebas y el objeto.
- Fase 4: Tiempo de fraguado (24 horas)
- Fase 5: Curado de 7 días
- Fase 6: Ensayo de ultrasonido
- Fase 7: Ensayo de compresión simple
- Fase 8: Análisis de resultados

La extracción y tratamiento de las fibras se llevó a cabo de la siguiente manera. Inicialmente se procedió a la separación manual de las fibras longitudinales de la hoja de maíz en su estado de humedad natural, como se muestra en la figura 3. Para efectos de estandarizar las cualidades y propiedades de la fibra para el desarrollo de los ensayos; la fibra se dispuso en unidades de longitud promedio de 2 cm de largo aproximadamente; en estado seco (se secó al aire libre) a temperatura ambiente. Antes del proceso de secado, se procedió a determinar el contenido de humedad natural de la fibra, indicado en un 10,4%.



Fig. 3. Extracción manual de las fibras.
Fuente: Autores

Posteriormente se realizó la dosificación y diseño de mezclas, de la siguiente manera: Cemento: Arena: Pigmento de 1:1.5:0.125. Con una relación Agua/Cemento de 0.5 y 1%b en peso de fibra con relación a la cantidad de cemento. Figura 4. La Tabla VIII muestra las cantidades totales de material.

TABLE VIII
CANTIDADES DE MATERIAL PARA EL MORTERO

Material	Cantidad (gr)
Fibra	22.6
Cemento	2260
Arena	3390
Pigmento	282.5
Agua	1130
Total	7085.1

Fuente propia



Fig. 4. Materiales utilizados para la elaboración del mortero:
(a) Cemento, (b) Arena, (c) Fibra, (d) Pigmento.
Fuente propia

Las probetas se realizaron como lo establece la norma NTC 112, en moldes tipo cubo de lado 2 pulgadas como se muestra en la figura 5. Y el mezclado del material se realizó inicialmente mezclando la arena, el cemento y el pigmento, posteriormente

se incorpora la fibra y finalmente el agua. En total se fabricaron tres series, de tres probetas cada una.



Fig. 5. Vaciado de probetas.
Fuente Propia

Se logró observar un fenómeno de retardo de fraguado en la mezcla; este hecho ha sido reportado por otros autores para el caso de fibras naturales. Y aunque el mecanismo de acción no es totalmente conocido, se supone que el aditivo que retarda el fraguado es absorbido por los granos de cemento, produciéndose una capa relativamente impermeable que retarda el proceso normal de hidratación de la pasta. Finalmente esta capa es penetrada por el agua iniciándose el fraguado, siguiendo el mecanismo habitual. En el caso de las fibras, el componente que actúa como retardante del fraguado es la glucosa, que forma parte de la celulosa y hemicelulosa presentes en las paredes celulares de las fibras de hoja de maíz.

Finalmente se determinó un día en el molde a condiciones ambientales normales de humedad y temperatura, luego 7 días desmoldados y conservados en inmersión completa en agua para que las probetas tuvieran la consistencia suficiente para continuar a fallar las probetas mediante el ensayo de compresión.

Luego del periodo de curado de 7 días, se procedió a determinar el módulo de elasticidad dinámico y la resistencia a la compresión, mediante los ensayos de ultrasonido y compresión simple respectivamente, como se aprecia en las imágenes de las figuras 6 y 7.

Una vez retiradas las probetas del tanque de agua se observó un gran contenido de humedad de las fibras que se veían expuestas en las caras por lo que se procedió a un periodo de secado rápido en el horno a 110 °C de la siguiente manera: Para la serie 1 se falló en las condiciones de humedad una vez sacadas del tanque, para la serie 2 un tiempo de 5 minutos en el horno y para la serie 3, un tiempo de 10 minutos; teniendo como tal unos datos directamente afectados en la resistencia por el contenido de humedad de cada probeta.



Fig. 6. Ensayo de ultrasonido
Fuente propia



Fig. 7. Ensayo de compresión simple
Fuente propia

Realizando un análisis de la muestra fallada se observa que el fallo se debe principalmente a la falta de adherencia entre la fibra y la matriz ya que en ningún caso falló el material por rotura de fibra, sino por falta de adherencia entre estos.

III. RESULTADOS

A. Análisis de la densidad

Se calculó la densidad promedio de tres de los cubos realizados con las mismas dosificaciones y en las mismas condiciones de curado. La tabla IX muestra los resultados obtenidos.

TABLE IX
CANTIDADES DE MATERIAL PARA EL MORTERO

Densidad de las Probetas			
Probeta	Volumen (cm ³)	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)
Muestra 1	125	287.9	2.3032
Muestra 2		285.3	2.2824
Muestra 3		283.8	2.2704
Promedio	125	285.7	2.285

Fuente propia

Los valores obtenidos resultan ser consistentes, y muestran la uniformidad obtenida a partir de un buen mezclado e incorporación de los diferentes materiales, principalmente la fibra vegetal de las hojas de maíz.

B. Módulo de elasticidad dinámico

Este parámetro se calculó a partir del ensayo de ultrasonido, el cual consiste en un método de inspección no destructivo, que se basa en el fenómeno de la reflexión, es decir, a partir de ondas acústicas en un objeto, se miden las diferentes reflexiones que se producen cuando dichas ondas encuentran discontinuidades en su propagación. Posteriormente con el uso de correlaciones con otros parámetros como la densidad y el módulo de Poisson se calcula el módulo de elasticidad dinámico, como se expresa en la ecuación 4.

$$Edem = \frac{\rho C^2 (1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu) \cdot 10^9} \quad (4)$$

ρ = Densidad en kg/m³

C = Velocidad en m/s

ν = Modulo de Poisson, Constante de 0.22

$Edem$ = Modulo de elasticidad dinámico en Gpa

Los resultados obtenidos mediante el ensayo de ultrasonido se muestran en la tabla X

TABLE X
RESULTADOS DEL ENSAYO DE ULTRASONIDO

Densidad de las Probetas			
Probeta	Velocidad (m/s)	Densidad (g/cm ³)	Edem (Gpa)
Serie 1	3311.3	2303.2	22.1
Serie 2	3225.8	2282.4	20.8
Serie 3	3225.8	2270.4	20.7
Promedio	3254.3	2285.3	21.2

Fuente propia

Los valores promedios de las tres series da un valor de 21,2 Gpa., con una desviación máxima de 4,25%. Estos son valores consistentes para los ensayos realizados, así mismo se determinó que a mayor densidad se obtienen mejores valores del módulo. Los índices de comportamiento del material indican que se podrían implementar como un mortero, mostrando mejoras significativas con respecto a morteros tradicionales que son más duros, densos y pesados, sin embargo aún no es recomendable el uso de este mortero con fibras naturales con fines estructurales, pero estos datos permiten abrir un nuevo campo de investigación que mejore ciertas características del mortero mejorado con fibras para que su uso se pueda extender a diferentes aplicaciones.

C. Resistencia a la compresión

Los ensayos se llevaron a cabo con una máquina universal de compresión simple, y los resultados obtenidos para las tres series de probetas, se muestran en la Tabla XI

TABLE XI
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN

Ensayos de resistencia última a compresión		
Probeta	Resistencia última (kN)	Resistencia última (Mpa)
Serie 1	13.92	5.54
Serie 2	17.83	7.10
Serie 3	21.45	8.55
Promedio	17.73	7.06

Fuente propia

A partir del análisis de los resultados se nota un incremento de los valores, que está relacionado con el tiempo de secado en el horno de las diferentes series de probetas, es decir que la resistencia del mortero con fibras de maíz, se ve afectado por las condiciones de humedad, por lo cual su uso debe estar restringido a estructuras que no estén expuestas a altos contenidos de humedad.

III. CONCLUSIONES

Realizando un análisis de la muestra fallada se concluye que el fallo del compostaje se debe a la falta de adherencia entre la fibra y la matriz, ya que en ninguna de las probetas ensayadas se evidenció una rotura de fibra, sino por falta de adherencia entre estos.

Se determinó un contenido de humedad natural de la fibra del 10,4 % y el comportamiento mecánico y de resistencia del compostaje depende en gran magnitud del estado de humedad al que esté sometida. Se observa que la mezcla con fibras vegetales adquiere una menor resistencia que con un agregado pétreo o un refuerzo tradicional. Se observa que el contenido de humedad altera directamente los resultados en la resistencia última del compostaje.

Las partículas de maíz presentan una elevada porosidad, que determina su baja densidad, esta característica se debe a su naturaleza vegetal. Esta elevada porosidad de las partículas confiere al compostaje resultante propiedades absorbentes que aumentan su capacidad de aislamiento acústico y térmico.

La implementación o inclusión de las fibras naturales busca disponer estrategias de aprovechamiento de residuos agrícolas, sin embargo las mejoras de sus propiedades mecánicas dependen del contenido de humedad y tratamiento que se les dé a las fibras antes de incluirlas dentro de una matriz.

La mayor o menor cantidad de humedad en las fibras de la hoja de maíz, se debe a desajustes en la cantidad de Potasio (K), Nitrógeno (N) o Fósforo (P) existente en las membranas de la hoja. Lo anterior no solo tiene que ver con la nutrición del suelo y riego con agua a la planta, si no que interfieren agentes atmosféricos que afectan la biomasa y el porcentaje de humedad retenido, así como se afecta el área foliar, es decir, el crecimiento normal de la hoja, que al faltarle nutrientes y agua, merma su crecimiento y desarrollo, lo cual atrofia o genera defectos visibles en la superficie de las hojas, como el amarilleo de bodes y puntas secas o quemadas. De igual manera, se puede presentar clorosis interfibril y marchitamiento de hojas jóvenes, [16].

REFERENCIAS

[1] Reyes C. Estudio del comportamiento de morteros reforzados con fibra de maíz, para componentes de vivienda de bajo coste. Tesis de disertación doctoral, Universidad politécnica de Catalunya. Barcelona. 2009.

[2] Silva, F., Mobasher, B. & Filho, R. "Recent Advances on High Performance Natural (Sisal) Fiber Cement Composite." 2008.

[3] Agopyan, Vahan en "Natural fibre reinforced cement and concrete". 1988. Pp.240

[4] ACI Committe 544, "State-of-the-Art on Fiber Reinforced Concrete", ACI Manual of Concrete Practice, Part 5, 1998, pp. 544.1R-1 - 544.1R-66.

[5] Amezugbe, F. A. The performance of natural and synthetic fibers in low strength mortar: a pilot study of six selected fibers (Doctoral dissertation, University of Florida). 2013

[6] ACI Committe 544, "Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete", ACI Manual of Concrete Practice, Part 5, 1996, pp. 544.2R-1 - 544.2R-11.

[7] Prado-Martínez, M. et al. Caracterización de las hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta. Scielo. CECEI Universidad de Guadalajara, Jalisco, México. 2012.

[8] Botánica morfológica. Morfología de plantas vasculares. Facultad de ciencias agrarias. Universidad Nacional del Nordeste. Corrientes, Argentina. 2016. Consultado en la dirección web: <http://www.biologia.edu.ar/botanica/index.html>

[9] Palacios, J.H. Monografía de apoyo didáctico para el curso de estructuras anatómicas de materiales fibrosos para la maestría de productos forestales. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guadalajara, Guadalajara. 2003. 175 p.

[10] Cea P.C.E. Evaluación de fibras celulósicas producidas en planta de celulosa Nueva Aldea. Tesis de maestría. Universidad Federal de Vicosa. Brasil. 2011. 156 p.

[11] Larios, S.P. Índice de calidad de las pulpas de dos coníferas. Tesis profesional. Departamento de Bosques. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 1979. 68 p.

[12] Petroff, G y D. Normand. The correlation between the physical and mechanical properties of paper, and dimensional characteristics of papers, from tropical hardwoods. Pulp and paper development in Africa and the ear East. FAO I. 1968. p. 269-287

[13] Bdigital. Morteros. Capítulo 3. Repositorio Universidad Nacional de Colombia. Consultado en la dirección web: http://bdigital.unal.edu.co/6167/17/9589322824_Parte5.pdf

[14] Arbeláez, A. Morteros reforzados con fibra de bambú. Rev. Fac. Nal Agr. Medellín. Vol. 50. No. 2. P131- 151. 1997. Consultado en la dirección web: <http://bdigital.unal.edu.co/30049/1/28797-103428-1-PB.pdf>

[15] One Touch. Construcción. Fibras en hormigones y morteros de cemento. Grupo editorial EMB. Santiago. Chile. 2006. Consultado en la dirección web: <http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=1535&edi=68&xit=fibras-en-hormigones-y-morteros-de-cemento>.

[16] Gaviria, B. Análisis cualitativo y cuantitativo de características en plantas de maíz (Zea Mays l), con deficiencias de elementos mayores (NPK) en los primeros 40 días de sus etapa fenológica. Universidad del Tolima. 2016.