EFECTO DE LA FINEZA EN FIBRA EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE PLACAS OBTENIDAS POR PROCESO DE COMPRESION MOLDEO

Tomás Galicia García^{1*}., Jean Giroux²., Caroline Andreuccetti³., Rubén González Nuñez⁴., Fernando Martínez Bustos⁵., Grosso RFC⁶., Denis Rodrigue²., Mónica Mendoza Duarte ⁷, Iván Estrada Moreno⁷, Daniel Lardizaval⁷., Alejandro Vega Ríos ⁷., Armando Quintero Ramos¹., Rubén Márquez Meléndez¹.

1. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Chihuahua. Campus Universitario No 2, CP.31125.Chihuahua, Chihuahua, México. 2. Département de Génie Chimique. 1065 Ave. de la Médecine, Université Laval, Québec (Québec) Canada. G1V 0A6. 3. Department of Phytotecnology, Food Technology and Social Economy, UNESP, Campus II, 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brazil. 4. Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Guadalajara, Blvd. Marcelino García Barragán No. 1451, C.P. 44430 Guadalajara, Jalisco, México. 5. CINVESTAV Unidad Querétaro, Libramiento Norponiente 2000, Fracc. Real Juriquilla, Qro,76001 Querétaro, México. 6. Department of Foods and Nutrition, Faculty of Food Engineering, University of Campinas, UNICAMP, 13083-862 Campinas, SP, Brazil. 7.CIMAV. Ave. Miguel de Cervantes 120. Industrial Chihuahua. CP31109. Chihuahua, Chihuahua.

*tgalicia@uach.mx

RESUMEN

En la actualidad productos y coproductos agrícolas como el almidón y fibras naturales, representan una fuente de materiales altamente disponibles y de bajo costo, que pueden llegar a ser utilizados en equipos comúnmente utilizados en la industria de plástico, para la elaboración de materiales biodegradables. El objetivo de este trabajo es el evaluar el efecto de la incorporación de fibra modificada químicamente en las propiedades mecánicas de placas obtenidas por el proceso de compresión moldeo. Se utilizó como materia prima almidón de maíz (matriz) y fibras de lino y madera modificadas químicamente. Las mezclas fueron homogenizadas en un equipo (Haake Rheometer (D500, Haake, Alemania) y moldeadas en una prensa automática (Carver, EUA), las temperaturas y tiempos de calentamiento y enfriamiento fueron definidos en estudios preliminares. Se concluye que a una concentración del 25% de ácido durante la modificación en fibra se disminuyeron los valores del área transversal y por consiguiente se favorecieron los valores de fineza. La resistencia máxima a la tracción σmax, en la pieza moldeada presento un incremento del 20 al 49% (fibra de lino y madera, respectivamente) a diferencia de las muestras sin fibra, presentando esta misma tendencia los valores del módulo de elasticidad que se incrementaron al 90%. El proceso de compresión moldeo es una técnica viable para la obtención de parámetros de proceso que pueden ser base para estudios posteriores en el equipo de inyección moldeo.

PALABRAS CLAVE: Fineza en fibra, compresión moldeo, fibra de lino y fibra de madera

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente en el mundo existen graves problemas ambientales generados por la creciente cantidad de residuos sólidos no biodegradables, resultado de los altos costos de recuperación al finalizar la vida útil de un alto número de productos, así como los bajos costos de procesamiento para resinas comerciales que son generadas en grandes volúmenes. Por lo que es de interés el estudio de fuentes alternativas como aquellas que se producen de manera abundante, que son de fácil acceso en el mercado, renovables y que presentan una reintegración al medio ambiente en un tiempo más corto que las resinas sintéticas existentes, como es el caso de productos y coproductos agrícolas. Un buen ejemplo de estos es el almidón, fibras provenientes de fuentes vegetales y otros polímeros naturales como los sulfatados (proteínas), con las que se han reportado el estudio y desarrollo de materiales biodegradables que en un futuro puedan ser utilizadas de manera parcial o total mediante el procesamiento en equipos que comúnmente son utilizados en plásticos sintéticos.

La fuerza de compósitos reforzados con fibras tratadas (para reducir su tamaño) es altamente dependiente en el grado de adherencia. De aquí la importancia de buscar métodos alternativos para la reducción del tamaño de partícula sin que se presente una degradación de la estructura de la hemicelulosa, tal es el caso de procesos químicos controlados. Fernández (2000), reporta que a través de modificaciones físicas y químicas a la fibra, se presenta una mejor interacción de fibra con la matriz. La naturaleza hidrofílica de la fibra origina problemas de compatibilidad, adherencia y dispersión con la matrices hidrofóbicas del polímero (Guan y Hanna et al., 2004). De aquí la importancia de conocer los tiempos de aplicación con más efecto sobre la descompactación y disponibilidad de diferentes tamaños de partícula en la fibra para procesamientos posteriores. Entre la variedad de compuestos disponibles para la producción de materiales biodegradables, el almidón presenta beneficios potenciales, ya que es una materia prima abundante y de bajo costo. Películas a base de tales biopolímeros utilizados en la elaboración de materiales biodegradables, tienen la ventaja de disminuir la cantidad de recursos no renovables convencionales proporcionados por los polímeros sintéticos, además del aprovechamiento de productos derivados agrícolas (Soares et al., 2005), haciendo de estos materiales alternativas viables para la producción de envases biodegradables. El presente trabajo tiene como objetivo el evaluar el efecto de la incorporación de fibra modificada químicamente en las propiedades mecánicas de placas obtenidas por el proceso de compresión moldeo

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 Materias Primas y Acondicionamiento.

Se utilizó almidón de maíz (Leeds Mill, Canadá) como matriz. Fibras de lino (*Linum usitatissimum*) y madera (*Pinus radiata*), nativa y modificada, fueron usadas. Cada una de las fibras fueron tamizadas y seleccionadas de los tamices 45 y 60 (355 y 250 µm, respectivamente), posteriormente fueron suspendidas en una solución alcalina (Ca(OH)2) al 10% por 24h, en base a la metodología reportada por Wyman, (2005). La pulpa obtenida se hidrolizó nuevamente en una

solución ácida (H₂SO₄, 5-25% v/v) a una temperatura de 45°C, por 45 min, posteriormente la pulpa fue dializada con agua destilada por 24h para remover el exceso de ácido. Finalmente la fibra se secó en estufa con circulación de aire (Blue electric Co, Blue Island Ilinois, EUA) a 45 °C por 12 h para disminuir la humedad. La homogenización de cada muestra de almidón y fibra (a concentraciones planteadas en el diseño experimental), se llevó acabo en una cámara de mezclado en equipo Haake rheometrics (D500, Haake, Alemania) a una velocidad de 50 rpm, por 40 min. La mezcla obtenida fue almacenada en bolsa hermética a temperatura ambiente hasta su posterior uso.

<u>Proceso de compresión moldeo</u>. Una vez la muestra homogenizada, cada tratamiento fue distribuido dentro del molde (80 X 80 X 2.25 mm, ancho, largo y espesor, respectivamente), para ser sometida a compresión en una prensa automática (Carver, EUA), a temperaturas y tiempos de calentamiento (60-140 °C y 20 min distribuidos en 5 etapas) y de enfriamiento (35°C por 4min). El material obtenido fue almacenado en contenedores herméticos a 75% HR. Para cuantificar la humedad relativa se utilizó un higrómetro digital (Modelo RSS-210 NGS, Canadá) por 72 h antes de proceder a su caracterización.

2.2 Caracterización

<u>Dimensión y fineza en fibra</u>. Se realizó en base a la metodología descrita por Kakroodi et al. (2012) en donde 0.5 g de fibra modificada fue distribuida en una caja petri (90 mm diámetro) y se estimó la morfología presente al determinar su longitud y diámetro, mediante el uso de un microscopio estereoscópico (Olympus SZ-PT) con cámara digital (Diagnostic Instrument Mod. 32) y mediante las imágenes a 1X se estimaron las dimensiones en software Imagen Pro v 4.0. La fineza de la fibra se realizó en base a la metodología reportada por Chiparus et al.(2003) en donde se determinó el área de sección transversal, longitud y fineza mediante la relación entre peso y longitud de cada tratamiento.

Aspecto visual en pieza moldeada. Se llevó a cabo en base a la metodología reportada por Canhadas (2003). Aspectos de continuidad (presencia de rupturas o zonas quebradizas), homogeneidad y relieve en material moldeado, fue supervisado con ayuda en microscopio óptico (Olympus, modelo CBA) a temperatura ambiente con aumento de 40X.

Ensayos de tensión uniaxial en pieza moldeada. De acuerdo a metodología reportada en norma ASTM D638 (ASTM, 2000). Las muestras fueron analizadas en equipo universal Instron mod 5565, en probetas tipo V previamente almacenadas por 72h a humedad relativa constante (75%HR). Los parámetros evaluados fueron: a) Resistencia máxima a la tracción (σmáx), b) Alargamiento a la ruptura (ε) y c) Módulo de elasticidad (Ε).

2.3 Análisis de datos.

Las dimensiones y fineza de fibra evaluadas se analizarón mediante un análisis de correlación múltiple para observar el efecto entre cada variable. Se utilizó el paquete estadístico JMP 4 (SAS

Institute, 2001). Para el material moldeado se realizó un diseño factorial 2³ con 2 factores numéricos (concentración de fibra, F y tamaño de la fibra TF), así como 1 factor categórico (fuente de fibra, ST). Los estimados de cada modelo obtenido en muestras a base de almidón fueron analizados mediante gráficos de superficie de respuesta para establecer la dependencia entre cada variable de proceso, con apoyo de paquete estadístico Design Expert v6.10 (State-Ease, 2003) utilizando como variable respuesta las propiedades mecánicas evaluadas (σmáx, ε y E).

3. RESULTADOS

Dimensión y fineza en fibra

Los resultados obtenidos para la determinación de la fineza en fibra (Tabla 1), muestran de manera general que el valor disminuyo conforme se incrementó la concentración de reactivo ácido, observándose una diferencia del 10 hasta el 30%, con respecto al tratamiento nativo, esta misma tendencia se observó en el área transversal con una tendencia más estable en la fibra de lino. La longitud de la fibra presentó valores dentro de un mismo rango y no se observa una tendencia establecida, este comportamiento guarda estrecha relación a los resultados presentados en la Tabla 2, en donde la concentración del reactivo acido no represento en gran medida un cambio en la longitud de la fibra.

Tabla 1. Parámetros obtenidos para la determinación de fineza en fibra.

Área transversal	Longitud	Fineza	
uestra (mm²)		(mm)	(mg/mm)
0.058	0.200	3.761	0.057
0.106	0.120	3.351	0.042
0.158	0.120	3.309	0.037
0.133	0.166	4.889	0.036
0.105	0.090	2.869	0.034
0.069	0.800	2.743	0.032
0.064	0.730	2.697	0.029
0.035	0.200	2.898	0.071
0.062	0.189	3.070	0.062
0.079	0.169	3.107	0.056
0.039	0.120	2.693	0.053
0.035	0.140	2.953	0.051
0.032	0.135	2.746	0.050
0.025	0.090	2.228	0.047
0.085	0.200	1.274	0.165
0.085	0.150	1.431	0.112
0.061	0.101	1.239	0.092
0.075	0.100	1.297	0.091
	0.058 0.106 0.158 0.133 0.105 0.069 0.064 0.035 0.062 0.079 0.039 0.035 0.032 0.025	(mm²) Peso (mg) 0.058 0.200 0.106 0.120 0.158 0.120 0.133 0.166 0.105 0.090 0.069 0.800 0.064 0.730 0.035 0.200 0.062 0.189 0.079 0.169 0.039 0.120 0.035 0.140 0.032 0.135 0.025 0.090 0.085 0.200 0.085 0.150 0.061 0.101	(mm²) Peso (mg) (mm) 0.058 0.200 3.761 0.106 0.120 3.351 0.158 0.120 3.309 0.133 0.166 4.889 0.105 0.090 2.869 0.069 0.800 2.743 0.064 0.730 2.697 0.035 0.200 2.898 0.062 0.189 3.070 0.079 0.169 3.107 0.039 0.120 2.693 0.035 0.140 2.953 0.032 0.135 2.746 0.025 0.090 2.228 0.085 0.200 1.274 0.085 0.150 1.431 0.061 0.101 1.239

15	0.104	0.190	0.223	0.908
20	0.076	0.130	1.784	0.076
25	0.124	0.100	1.484	0.071
60 Madera				
Nativa	0.097	0.270	1.851	0.150
Alcalina	0.113	0.150	1.349	0.115
5	0.108	0.145	1.839	0.085
10	0.086	0.090	1.155	0.084
15	0.052	0.125	1.659	0.084
20	0.035	0.105	1.529	0.074
25	0.082	0.148	1.564	0.099

Trindade et al. (2005) reporta que las fibras que presentan una alta longitud con relación al espesor, presentan la característica de impartir más fuerza cuando se encuentran inmersas en una matriz polimérica, por lo que este tipo de fibras mediante su procesamiento pueden ser extrudidas o mezcladas en las composiciones termoplásticas del almidón. La cantidad de fibras adicionadas a las composiciones variarán dependiendo de las características deseadas del artículo final, con fuerza extensible, dureza, flexibilidad, y costo siendo los principales criterios para determinar la cantidad de fibra que se agregará en cualquier diseño de la mezcla. Cuanto mayor es la fuerza extensible de la fibra, menos fibra será requerida para impartir una fuerza extensible dada en el producto resultante.

Para facilitar la interpretación de los datos se realizó una correlación múltiple (Tabla 2) en donde se observó que para la fibra de lino a 355 μ m se presentó una correlación alta ascendente en los parámetros Peso-Fineza (r = 0.9967), y muestra-fineza (r = 0.8064), lo que nos indica que conforme se incrementó la concentración de ácido la fibra presenta un menor peso y fineza. Se presentaron correlaciones regulares descendentes en Fineza-At (r = -0.6223) y Peso-Longitud (r = -0.5101), indicando que conforme se incrementó la fineza el área transversal decreció, así como cuando la fibra presento una mayor longitud su peso fue menor, estas tendencias guardan estrecha relación a los reportados por Chiparus (2003) en fibra de caña de azúcar. Para la fibra de lino a 250 μ m la correlación ascendente alta fue para la relación Peso-Fineza (r = 0.9005) y alta descendente para Peso-muestra (r = -0.899), indicando esta última que conforme se incrementa la concentración disminuye el peso de la fibra. La fibra de madera presento una correlación positiva para Fineza-Peso (r = 0.6034, r = 0.9302) a tamaños de partícula de 355 y 250 μ m respectivamente.

Tabla 2. Correlación múltiple del análisis de fineza en fibra.

FL 45	Muestra	At	Peso	Longitud	Fineza
Muestra	1	-0.3723	0.7912	-0.515	0.8064
AT	-0.3723	1	-0.6263	0.4088	-0.6223
Peso	0.7912	-0.6263	1	-0.5101	0.9967
Longitud	-0.515	0.4088	-0.5101	1	-0.5736
Fineza	0.8064	-0.6223	0.9967	-0.5736	1
FL 60	Muestra	At	Peso	Longitud	Fineza
Muestra	1	-0.642	-0.899	-0.7848	-0.8741
At	-0.642	1	0.5453	0.7302	0.2871
Peso	-0.899	0.5453	1	0.8249	0.9005
Longitud	-0.7848	0.7302	0.8249	1	0.5462
Fineza	-0.8741	0.2871	0.9005	0.5462	1
FB 45	Muestra	At	Peso	Longitud	Fineza
Muestra	1	0.6004	-0.3646	0.0787	0.1056
At	0.6004	1	0.1559	-0.2516	0.3383
Peso	-0.3646	0.1559	1	-0.5122	0.6034
Long	0.0787	-0.2516	-0.5122	1	-0.9397
Fineza	0.1056	0.3383	0.6034	-0.9397	1
FB 60	Muestra	At	Peso	Longitud	Fineza
Muestra	1	-0.7091	-0.5053	-0.1511	-0.5783
At	-0.7091	1	0.4231	0.0447	0.5426
Peso	-0.5053	0.4231	1	0.6399	0.9302
Longitud	-0.1511	0.0447	0.6399	1	0.3258
Fineza	-0.5783	0.5426	0.9302	0.3258	1

Aspecto visual en pieza moldeada

Las placas obtenidas por el proceso de compresión moldeo a base de almidón, presentaron una superficie homogénea, sin la presencia de rupturas ni orificios (Figura 1), sin textura quebradiza ni adhesiva. El color presente fue el mismo en toda la placa y para los tratamientos con fibra nativa y modifica se presentaron tonalidades más obscuras de acuerdo a la concentración de fibra. En la pieza moldeada se presentó la fibra inmersa dentro del espesor de la placa, con una adecuada distribución a lo largo de la superficie de la placa.









(a) (b)

Figura 1. Placas obtenidas por el proceso de compresión moldeo a base de (a) Fibra de madera (355 y 250 μm), (b) Fibra de lino (355 y 250 μm).

Propiedades Mecánicas

En la Tabla 1 se presenta el diseño estadístico utilizado así como los resultados obtenidos en las propiedades mecánicas en tratamientos a base de almidón y fibra.

Tabla 1. Diseño experimental y variables respuestas de placas a base de almidón nativo y fibra.

Tratamiento	F (%)	TF	SF	σ (MPa)	ε (%)	E (MPa)
1	25.00	45.00	FL	1.326	6.421	101.493
2	40.00	45.00	FL	1.958	4.823	190.517
3	40.00	60.00	FB	2.608	5.556	296.556
4	40.00	45.00	FB	2.937	4.171	345.625
5	25.00	60.00	FB	2.000	7.235	143.457
6	25.00	60.00	FL	1.319	8.698	51.008
7	40.00	60.00	FL	1.619	5.718	181.249
8	25.00	45.00	FB	1.536	7.471	108.305

<u>F</u>: Concentración de fibra, TF: tamaño de fibra 45 (355 μm), 60 (250 μm), SF: fuente de fibra, fibra de lino (FL), fibra de madera (FM).

Para la variable respuesta resistencia máxima a la tracción (σ) , los valores experimentales obtenidas en placas por el proceso de compresión moldeo se presentaron en un rango de 1.31 a 2.93 MPa. El análisis de regresión mostró que σ fue afectada por la concentración de fibra (F), fuente de fibra (F) y las interacciónes concentración de fibra-tamaño de fibra (F-TF) y concentración de fibra-fuente de fibra (F-TF) a p ≤ 0.05 . El modelo de predicción para σ utilizó las variables codificadas:

$$\underline{\sigma}$$
=1.91+0.37* X_1 -0.026* X_2 +0.36* X_3 -0.14* X_1 * X_2 +0.13* X_1 * X_3

El modelo de predicción utilizado para la variable respuesta σ explicó el 97.75% de la variación total (p≤0.05). En la Figura 2a se muestra el efecto de la interacción F-TF en donde el valor máximo se presentó a una concentración de fibra de lino (F) de 40% y un tamaño de fibra (TF) de 355 μm, por lo que al disminuir TF (250 μm), σ decrece 10% y conforme disminuye F (25%), σ decreció 35%. Los valores mínimos se ubicaron a baja concentración de F (25%) y TF (355 μm), por lo que al disminuir el tamaño de partícula a 250 μm se incrementó el valor de σ (15%). En fibra de madera se observó la misma tendencia presentándose un valor máximo con un incremento del 60 % a diferencia de la fibra de lino. Las placas elaboradas con fibra modificada a un tamaño de fibra de 355 μm y una concentración del 40% presentaron un valor de 0.074 y 0.913 MPa para fibra de lino y madera (FL, FM) respectivamente, siendo menor que los presentados en placas con fibra nativa. Las placas obtenidas sin fibra presentaron un valor de 1.520 MPa, siendo un 20 y 49% menor a los presentados en placas con fibra (FL, FM). Lo que representa que la fibra al presentarse inmersa en la matriz de almidón favorece el σ.

Para la variable respuesta alargamiento a la ruptura (ε) , los valores obtenidos se presentaron en un rango de 7.47 a 4.17 %. El análisis de regresión mostró que ε fue afectada por las variables concentración de fibra (F), y la interacción tamaño de fibra-fuente de fibra (TF-SF) a p \leq 0.05. El modelo de predicción para ε utilizó las variables codificadas:

$$\varepsilon = 6.26 - 1.19 \times X_1 + 0.54 \times X_2 - 0.15 \times X_3 - 0.25 \times X_2 \times X_3$$

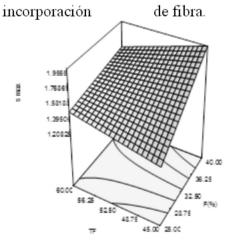
El modelo de predicción utilizado para la variable respuesta ε explicó el 92.60% de la variación total (p≤0.05). En la figura 2b se muestra el efecto de la interacción F-TF, en donde el valor máximo se presentó a una concentración de fibra de lino de 25% y un tamaño de fibra de 250 µm, por lo que al incrementar la concentración de F (40%) el valor de ε decreció un 12%, mientras que al incrementarse el tamaño de la fibra (355 µm) disminuyo el valor de ε un 24%. El valor mínimo se encontró a una concentración de fibra de 40% y un tamaño de fibra de 355 µm, por lo que al disminuir TF a 250 µm se incrementó ε (40%), y al disminuir F a 25% el valor de ε se incrementó

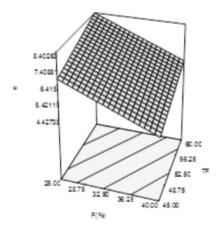
un 37%. Para la fibra de madera se presentó una tendencia similar, en donde decreció ε (10 %) en comparación con las placas elaboradas con fibra de lino. Las placas elaboradas con fibra modificada a una concentración de 40% y un tamaño de partícula de 355 μm presentaron un valor de 9.795 y 5.553 % para fibra de lino y madera respectivamente, en comparación con las placas obtenidas con fibra nativa los valores de ε se incrementaron un 51 y 25.3% en fibra de lino y madera. Para el tratamiento sin fibra se presentó un valor de 40.65% siendo un 80% mayor a los obtenidos en FL y FM. Este efecto es debido principalmente a que mediante la inclusión de fibra se restringe el desplazamiento de las cadenas poliméricas.

Para la variable respuesta módulo de elasticidad (E) los valores obtenidos se presentaron en un rango de 51 a 345 MPa. El análisis de regresión mostró que E fue afectada por las variables concentración de fibra F, fuente de fibra SF, y la interacción tamaño de fibra-fuente de fibra a p ≤0.05. El modelo de predicción para ε utilizó las variables codificadas:

$$E=177.28 + 76.21*X_{1} - 9.21*X_{2} + 46.21*X_{3} + 5.73*X_{2}*X_{3}$$

El modelo de predicción utilizado para la variable respuesta E explicó el 91.67% de la variación total (p≤0.05). En la figura 2c se muestra el efecto de la interacción F-TF, en donde el valor máximo se presentó a una concentración de fibra de lino de 40%, por lo que al disminuir F (25%) E decreció drásticamente (80%). Las placas elaboradas con fibra modificada a un tamaño de fibra de 355 μm y una concentración del 40%, presentaron un valor de 87.158 y 82.772 MPa para fibra de lino y madera respectivamente, siendo menor que los presentados en placas con fibra nativa. El tratamiento sin fibra presento un valor de 37.63 MPa, incrementándose hasta un 90 % mediante la





114

(a) (b)

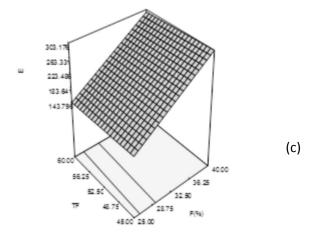


Figura 3. Propiedades mecánicas de placas a base de almidón nativo. a) Resistencia máxima a la tracción (σ) , b) alargamiento a la ruptura (ε) , c) Modulo de elasticidad (E).

4. CONCLUSIONES

Mediante la modificación química de la fibra de lino y madera el incremento de la concentración de ácido al 25% presento una mayor decremento del área transversal. A través del análisis de fineza se observó una alta correlación entre Fineza-Peso, indicando que conforme se disminuye el peso de la muestra se obtiene una fibra más fina. A través del proceso de compresión moldeo fue posible la integración de los ingredientes y la formación placas sin la presencia de ruptura o aglomeramientos de fibra, indicando una adecuada homogenización de la muestra. Las placas obtenidas sin fibra presentaron un valor de 1.520 MPa, siendo un 20 y 49% menor a los presentados en placas con fibra (Fiba de lino y fibra de madera, respectivamente), indicando que la incorporación de fibra favoreció el σmax. Para ε se presentó un incremento de 51 y 20% para fibras modificadas de lino y madera en comparación con las fibras nativas, presentándose un efecto de anclaje de la fibra en la matriz. En E los valores se incrementaron hasta en un 90% mediante la incorporación de fibra. El proceso de compresión moldeo es una técnica viable para la obtención de parámetros de proceso que pueden ser base para estudios posteriores en el equipo de inyección moldeo.

5. REFERENCIAS

- 1.- American Society for Testing and Materials-ASTM (2000). Standar Test Methods for Tensile Properties Plastics. ASTM. D638-00.
- 2.- Canhadas Bertan Larissa. (2003). Desenvolvimento e Caracterização de Filmes Simples e Compostos a base de Gelatina, Ácidos Graxos e Breu Branco. Dissertação de Mestre em Alimentos e Nutrição. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Departamento de Alimentos e Nutrição. Campinas, Brasil.
- 3.-Chiparus, O., Chem Y. (2003) An image method to evaluate bagasse fiber dimensions. *Bioresource Technology* 90 305–309.
- 4.-Fernández R, N. (2000). El bagazo y las fibras anuales: presente y futuro para su industrialización. Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel. La Habana, Cuba.
- 5.-Guan, JJ., y Hanna, MA. (2004). Extruding foams from corn starch acetate and native corn starch. *Biomacromolecules*, 5:2329-2339.
- 6.-Kakroodi, R. A., Bainer, J., Rodrigue D. (2012). Mechanical and Morphological Properties of Flax Fiber Reinforced High Density Polyethylene/Recycled Rubber Composites. *International Polymer Processing*. Manuscript: IP2473R2.
- 7.-Soares, R. M. D., Lima, A. M. F., Oliveira, R. V. B., Pires, A. T. N., Soldi, V. (2005). Thermal degradation of biodegradables edible films based on xanthan and starches from different sources. *Polymer Degradation and Stability*, 90, 449-454.
- 8.-Stat-Ease. (2003). Design-expert version 6.1.0. Stat-Ease, Inc. East 2021 Hennepin Ave., Suite 1991. Minneapolis, MN 55413.
- 9.-Trindade, G.W., Hoareau, W., Megiatto D.J., Razera, I.A.T., Castellan, A., and Frollini, E. (2005). Thermoset Phenolic Matrices reinforces with Unmodified and Surface Grafted Furfuryl Alcohol Sugar Cane Bagasse and Curaua Fibers: Properties of Fibers and Composites. *Biomacromolecules*, 6, 2485-2496.





Obtención de un Material Ecológico a base de Cascarilla de Trigo Remanente

Claudia Hernández^{a*}, Krizthall Martínez^b, Tamara Peinado^c, Velia Osuna^a, Armando Zaragoza^a, Alejandro Vega^a, Sergio Flores^a

^a Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C., Miguel de Cervantes 120, C.P. 31136,
^b Universidad Autónoma de Chihuahua, ^c Universidad Politécnica de Chihuahua Centro
E-mail: <u>claudia.hernandez@cimav.edu.mx</u>

En este momento en la sociedad moderna se utilizan muchos materiales de construcción en especial el mortero por el crecimiento de la industrialización y urbanización por lo tanto la demanda de este material está aumentando día a día. Por lo tanto, se requiere en grandes cantidades materias primas y los recursos naturales para la producción de mortero en todo el mundo. Al mismo tiempo, una cantidad enorme de residuos agroindustriales y otros tipos de disposición de material sólido todo esto está provocando dificultades ambientales graves. Para restar y comprimir el impacto negativo de la industria del cemento o mortero a través del uso de explosivos de materias primas, el manejo de residuos agrícolas como materiales cementicios adicionales, son una fuente fiable y adecuada para soluciones preventivas y alternativas que pueden promover la sostenibilidad ambiental de la industria. En el presente trabajo de investigación se enfoca en encontrar soluciones óptimas y competentes adecuadas para el viable manejo de residuos agrícolas chihuahuenses tales como la cascarilla de trigo como también las cenizas de cáscara de trigo, para elaborar un material cementante aplicado a la fabricación de morteros aligerados para aplicarlos en el giro de la construcción utilizando métodos tradicionales en proceso de diseño que son sostenibles y ecológicos.

Palabras clave: cascarilla trigo, residuos agrícolas, morteros aligerados.

1. Introducción

A nivel mundial se generan anualmente grandes cantidades de residuos agrícolas de origen vegetal. El residuo más importante cuantitativamente procede del cultivo de cereales como el trigo, la cebada, el centeno, la avena, el maíz, así como también arroz, soya, y algodón (Kim y Dale, 2004). El trigo es una de las especies más plantadas en el mundo ya que su producción anual estimada es cerca de 650 millones de toneladas en el país de México la producción de trigo suma más de 37 millones de toneladas los cuales generan más del 30% en peso de residuos los cuales no tienen ninguna aplicación ni cabida en el mercado mexicano por lo que todos estos desechos son quemados a cielo abierto lo que genera grandes problemas de contaminación por el aumento de gases dañinos y tóxicos provocando así el cambio climático y el efecto invernadero, debido a esto las industrias están tratando de mitigar su impacto en el ambiente y al mismo tiempo crear conciencia en sus consumidores de cómo mejorar las condiciones ambientales para todos los

organismos vivos; seres humanos, animales, vegetación, aire, agua y suelo (Backlund K,2011)(Saval, 2012). A lo largo de los años biotecnologos en el mundo comenzaron a enfocarse en la utilización y aprovechamiento de los residuos agroindustriales en la producción de construcciones verdes referida a estructuras o procesos de construcción que sean responsables con el ambiente y ocupan recursos de manera eficiente durante todo el tiempo de vida de una construcción. Este tipo de construcción busca evitar y, en algunos casos, deshacerse de la contaminación del medio ambiente. Dentro de la construcción ecológica encontramos el desarrollo de materiales ecológicos teniendo beneficios en su costo/producción, un ejemplo importante son materiales de concreto a base de trigo ya que cuenta con una fuente de SiO₂ (material puzolánico) que es manejada como carga teniendo como mejora un incremento en la resistencia mecánica la edificación bioclimática optimización del uso de la energía a través de la adaptación de los edificios a las condiciones climáticas de su entorno (Saval, 2012). El objetivo de esta investigación es tener en cuenta Reducir- Reciclar- Reutilizar para fabricar un material para la construcción menos dañinos para el medio ambiente a partir de la sustitución de cemento comercial por ceniza de cascarilla de trigo y que sea una alternativa para disminuir el uso de recursos naturales y aprovechar los residuos producidos por el ser humano(Calleja,1968) (Neville,1990).

2. Sección Experimental

2.1 Materiales

Trigo (Tre agro), Cascarilla de Trigo (Tre agro), Hipoclorito de Sodio (J.T. Baker), Solución Alcalina Activante (Sigma-Aldrich) de Cemento Portland, agua destilada, agua potable.

2.3 Tratamiento de obtención de las cenizas volantes de la cascara de trigo

Se recolecto la materia prima propuesta vaina de trigo posteriormente se llevo a cabo el tratamiento de blanqueamiento para poder lograr limpiar, suavizar y remover impurezas. En este proceso se manejo una solución de Hipoclorito de Sodio al 5% con agua en una relación 1:1 fue muy importante dejar reposar el material en la solución por un tiempo de 30 minutos seguido se efectuaron lavados continuos con agua de grifo para neutralizar la solución del tratamiento, se quito el exceso de agua en un desecador y se paso a una estufa por convección de aire a una temperatura de 60°C por 72H transcurrido el tiempo se pasa al proceso de calcinación en una mufla a Temperatura de 800°C por 15h. Se retiro el material de la mufla se deja enfriar a temperatura ambiente para lograr las cenizas volantes ricas estas son reconocidas por su composición química rica en aluminosilicatos. Después se efectúa la alcalinización para transformar las cenizas en material puzolánico se manejo soluciones de Hidróxido de Sodio en Diferentes concentraciones 0.5M, 1M, 2M y 5M para evaluar a que concentración se tienen mejores resultados. Finalmente de formularon mezclas para obtener al concreto ecológico en diferentes concentraciones de cenizas volantes para parcialmente remplazar al cemento comercia congregando NaOH y Silicato de sodio para crear un material homogéneo.

3. Caracterización

La morfología de evaluó por Microscopía electrónica de barrido en modo transmisión (S TEM) en un microscopio de campo de emisión de electrones (JSM-7401F; JEOL) a 25.0 kV.La estabilidad térmica e caracterizó utilizando un analizador termogravimétrico (TA Instrument TGA Modelo Q600). Las valoraciones se llevaron a cabo bajo en atmósfera de aire a una velocidad de calentamiento de 10°C min-1. Para determinar las fases en las que se puede encontrar el material inorgánico se manejo Difracción de Rayos X en un equipo Panalytical Modelo X'Pert PRO MPD para determinar las propiedades mecánicas se manejo la maquina universal de ensayo Instron.

4. Resultados y Discusión

En la evaluación de microscopia se observo una morfología en las micrografias característica de la vaina de trigo sin tratamiento químico ya que se caracteriza por su forma longitud diámetro con base a lo reportado y que lo comparan con cristales de plátano bambú donde comúnmente se presentan aglomeraciones de partículas semiesféricas y alargada con dimensiones variables como se muestra en la Figura1 (ay b). Para el caso de las cenizas volantes se lograron tamaños de partícula en el rango de los 100 a 168 nm mostrados en la Figura 1 (c y d) lo que sugiere que el proceso de calcinación manejado para lograr las cenizas a los 800°C favorece a la obtención de cenizas volantes con alto contenido de sílice de tamaño nanométricos.

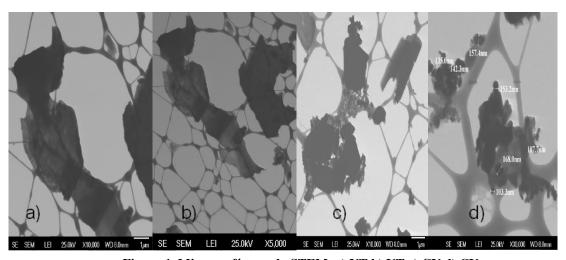


Figura 1. Micrografías modo STEM. a) VT b) VT c) CV d) CV

El análisis termogravimétrico fue útil para ver la estabilidad térmica de la descomposición de la celulosa de la vaina trigo que lo atribuyen a dos comportamientos uno a bajas temperaturas a 100°C donde se atribuye al contenido de humedad y la otra en altas 500°C donde se forman residuos carbonosos debido al material inorgánico de la vaina de trigo tal como se muestra en la Figura 2.

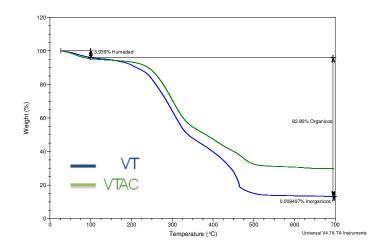
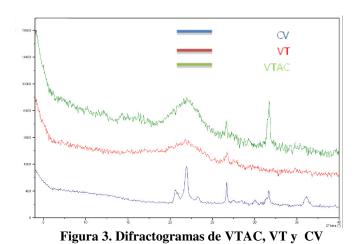


Figura 2. Análisis Termogravimétrico

En la figura 3 se muestra la evaluación de los resultados de difracción de Rayos-X que nos indicaron una cristalinidad alta por el efecto del tratamiento con hipoclorito relacionado con las regiones amorfas de lignina y hemicelulosa de la vaina de trigo.



En la evaluación del comportamiento de la resistencia mecánica eco-material cementante desarrollado a escala laboratorio como se muestran los valores en la Tabla 1, los resultados del material alternativo estuvo por arriba de los materiales convencionales manejados comúnmente en el giro de la construcción además de tener un ahorro económico ya que al sacar los costos por m³

sale 25% más bajo que construir con materiales comerciales pero teniendo como ventaja y un valor agregado ya que es un material elaborado a base totalmente de residuos agroindustriales.

Muestra	Resistencia (kgf/mm²)
Concreto	0.823
Trigo	0.583
CV (800) 3%	0.887
CV (800) 6%	0.894

Tabla 1. Valores de Resistencia Mecánica.

5. Conclusiones.

La reciente investigación se centró en el desarrollo de un material ecológico que sea importante para el medio ambiente y la sociedad, ya que materiales convencionales altamente utilizados como el cemento ordinario siendo este el responsable de las emisiones de CO2 nivel mundial. Los materiales ecológicos son una alternativa además son durables y ambientalmente sostenibles, no obstante hacen falta estudios sobre su formación, composición química exacta y condiciones de reacción para que puedan reemplazar al Cemento Ordinario Portland en incomparables aplicaciones. Por lo tanto la mejora de seguir fomentando esta área del conocimiento e iinvestigación y darle otra utilidad a los residuos agrícolas que en el futuro se manejará como material cementante suplementario en mezclas de concreto para una contribución valiosa y viable. Cabe resaltar que en este trabajo se logro obtener un eco-material a base de residuos de vaina de trigo, con una mejora en la resistencia a la compresión cotejada con materiales convencionales manejados comúnmente en la construcción, así como una metodología para el blanqueamiento de la vaina de trigo para extraer las cenizas volantes ricas en sílice.

6. Bibliografía

- 1. Kim,S.,& Dale, B. E. (2004). Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues. Biomass and Bioenergy, 26(4), 361–375. 2003.08.002
- 2. Backlund, K. (2011). Bamboo and Wheat Straw as a Green Building Composite Material Bamboo and Wheat Straw as a Green Building Composite. CHALMERS.
- 3. Saval, S. (2012). Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro. BioTecnologia, 16(2), 14–46.
- 4. Biricik, H. (1999). Study of pozzolanic properties of wheat straw ash. Cement and Concrete Research, 637–643.

- 5. Calleja, J. (1968), ION Rev. 30.
- 6. Neville (1990), Properties of Concrete, Pitman Publishing, Great Britain, 77–81
- 7. Bolio-López, G.I.; Valadez-González, A.; Veleva, L.; Andreeva, A. (2011). Whiskkers de celulosa a partir de residuos agroindustriales banano: obtención y caracterización. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 10, 291–299. Retrieved from

7. Agradecimientos

Los autores agradecen a Jorge Olmedo, Rosario Segundo, Antonio Catalino, Erika López, Mónica Mendoza, Enrique Torres, Luis de la Torre, Wilber Antúnez, Daniel Lardizábal, Bárbara Farías y Arturo Hernández.