



PRUEBAS AL RECUBRIMIENTO CON FIBRA DE IXTLE SOBRE PROTOTIPO

Yolanda Aranda¹; Natacha Hugón²; Ariel Gonzalez³

¹Universidad Autónoma de Tamaulipas FADU, México. yaranda@docentes.uat.edu.mx

²Universidad Buenos Aires. FADU, Argentina. natachahugon@gmail.com

³Universidad Tecnológica Nacional. Facultad de Ingeniería, Argentina. arielgonzal@gmail.com

Palabras clave: sustentabilidad, fibras naturales, suelo

Resumen

La sustentabilidad ha dejado de ser una moda para convertirse en una herramienta que coadyuve a la preservación de los recursos para las generaciones futuras; dado que la industria de la construcción es una de las industrias que más contamina, es fundamental impulsar la investigación de materiales sustentables y naturales; es por ello que dentro del marco del proyecto de investigación Recubrimiento sustentable a base de fibras naturales para muros interiores, auspiciado por SEMARNAT-CONACYT, durante la primera etapa que consistió en la adaptación de la planta agave a un clima subtropical húmedo, así como la caracterización de la planta y de la misma fibra, se organiza un taller para los alumnos de obtención, procesado y manufacturado de la fibra con aplicación en la arquitectura; y en la segunda etapa se desarrollan las pruebas de este recubrimiento dentro de un prototipo construido expresamente para tal fin, por lo que la responsable técnica del proyecto invita a dos especialistas a colaborar con la mezcla desarrollada. El objetivo general de esta investigación es desarrollar un recubrimiento sustentable de bajo impacto ambiental y económico para su aplicación en muros interiores de vivienda a partir de la fibra natural de agave, reconocida como ixtle, que permita a los habitantes mejorar su vivienda y calidad de vida basándose en el análisis del ciclo de vida del producto. Los objetivos específicos son los de realizar pruebas para medir las características de desempeño. Se realizaron 30 muestras diferentes, para adherencia, largo de fibra, fisuración, pigmentación y espesor, así como un mural; cada una se identificó con su nomenclatura correspondiente. Los principales resultados obtenidos corresponden a definición ideal del largo óptimo de la fibra de 1 cm, espesor menor a 5 cm, estabilización con cal 6% sobre el peso de la tierra; con respecto a la pigmentación, se observó que, con el tiempo, las muestras estabilizadas con cal y no saturadas fue bajando la intensidad del color.

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente existe una verdadera preocupación por la utilización de materiales sustentables, de tal manera que la tierra y sus diversos sistemas constructivos son considerados como el material del futuro en aquellos países preocupados por el impacto al medio ambiente. Por otro lado, el plástico y las fibras sintéticas resultan en verdaderos problemas de contaminación (figura 1). Por eso, el uso de fibras naturales es hoy una valerosa alternativa especialmente como materiales de construcción.

Las fibras se pueden clasificar en naturales y hechas por el hombre, como las sintéticas y las recicladas; dentro de las fibras naturales están las que se extraen de plantas, animales y minerales (Kadole; Hulle, 2014). En el 2009 fue declarado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) el año de las fibras naturales, con la intención de regresar al uso de estos materiales que tiene importante aplicación en el campo de la arquitectura y construcción de edificaciones. A su vez las fibras se pueden clasificar según su función: proteger, aislar, filtrar, reforzar, para muros portantes (Vissac, 2014).

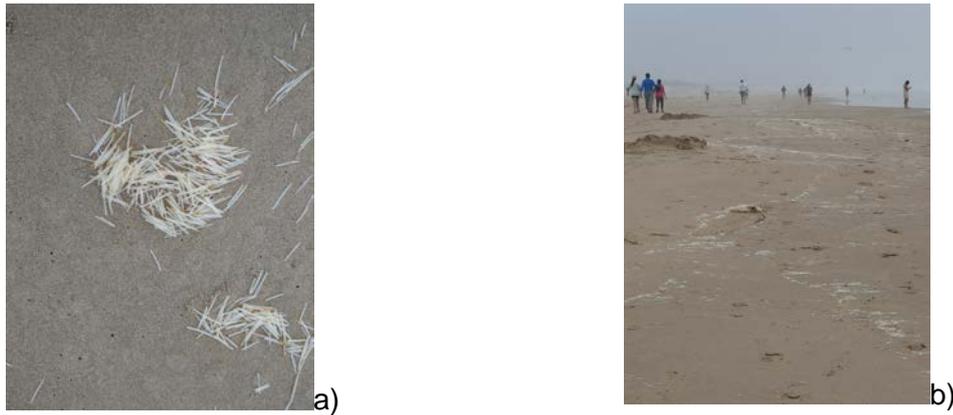


Figura 1. Fibra plástica: a) aspecto; b) contaminación en la playa Miramar, México

El género agave (*Agave lechuguilla* Torrey), de cual se extrae diferentes productos tales como fibras, tequila, y otros, es endémico de América y tiene alrededor de 275 especies; más del 75% se ellos encuentra en México, distribuidos asimétricamente, debido a la biodiversidad de climas (García Mendoza, 2007).

Por los años 1990 más de 10.000 toneladas de fibra eran producidas por año en México, y esto daba empleo en la cosecha a más de 200.000 personas. Los cogollos se cosechan y a mano se obtiene la fibra tallándola. Se limpia, se pone a secar al sol y se blanquea. La fibra es llamada ixtle pero, para exportación, también se conoce como fibra de tula o fibra Tampico, esto por la cercanía que hay de Tula, Tamaulipas y el puerto (Warnoc, 2013).

Los revoques de tierra se pueden clasificar según su función - aislantes, decorativos, de protección y como parte de la estructura - y según su finura o acabado - revoques finos y gruesos (Cerro; Baruch, 2011).

Se pueden estabilizar los revoques de tierra y agregarles fibra, que ayuda a evitar la retracción del suelo arcilloso; su comportamiento sobre muros de tierra, monolíticos o de mampostería es excelente, en cuanto adherencia, durabilidad, etc.; sobre otros muros que no sean de tierra, como piedra, o mampostería, tienen buena adherencia, dependiendo de la rugosidad, va a ser necesario, aplicar una base de mortero (Cerro; Baruch, 2011).

Dependiendo del trabajo a desarrollar se eligen los materiales y su finura. En la selección del material, el tamizado, lo cual implica pasarlo por varias mallas finas, así como la preparación de la mezcla, se requiere un grado de capacitación mínimo.

El objetivo de este trabajo es desarrollar un recubrimiento sustentable de bajo impacto ambiental y económico para su aplicación en muros interiores de vivienda a partir de la fibra natural de ixtle, que permita a los habitantes mejorar su vivienda y calidad de vida.

Para esto se realizan pruebas de adherencia, optimización del largo de la fibra, verificación de la dosificación de los componentes, pruebas de pigmentación en la mezcla, optimización y verificación del espesor del mismo determinando y verificando la fisuración y microfisuración, así como trabajabilidad.

2 METODOLOGÍA

Para las investigaciones, se propuso a construcción de un prototipo en cuyos muros se aplican y evalúan las diferentes mezclas de revoques.

2.1. Construcción del prototipo

Se decide hacer el prototipo con la técnica de tierra vertida armada, comprobada la adherencia de la varilla a la mezcla de tierra estabilizada con 6% de cemento para que las paredes trabajen como muros de carga.

El prototipo sobre el que se realizan los ensayos tiene unas dimensiones en planta de 3,00 m x 5,00 m interiores y una altura de 2,40 m. El muro norte y sur tienen 5,00 m x 2,40 m; los muros oeste y este tienen 3,00 m x 2,40 m, conteniendo este último una puerta y una ventana.

Se preparó el terreno consolidándolo para recibir una losa de cimentación. A continuación se colaron los muros por partes con el suelo denominado Champayan, propio de la región, que está conformado con 52% de gravas, 23% de arena y 25% de finos; del material que pasa por la tamiz de malla 4 (apertura de 4,76 mm), su composición es aproximadamente 75% arena y 17% limo y 8% de arcilla (prueba de Boyucos). La techumbre se hizo con polines 2x4 pulgadas y tabla de madera y se metió un cargador al centro. El pretil se construyó con tres hiladas de bloque de tierra comprimida (BTC) y se aplicó un revoque de cal-arena. El firme se coló con el mismo material y el acabado final del piso es de loseta cerámica. En la fachada principal se hizo un porche con teja cerámica española (figura 2).



Figura 2. Prototipo de tierra vertida: a) construcción de los muros; b) colocación de tejas

2.2. Identificación de muestras

Las tareas previas a la aplicación de las muestras son el secado y el tamizado del suelo. Para el secado se utilizó un horno del laboratorio y recipientes metálicos, aunque parte de este material se secó al sol sobre piso limpio de cemento en el patio delantero del laboratorio. Después de secado, se pasa el suelo por dos mallas, siendo que la segunda corresponde a un tamiz con malla fina, tipo mosquetero.

Primero se hicieron pruebas de adherencia sobre el muro para verificar si la mezcla se podía aplicar al muro monolítico de tierra vertida (tabla 1). Se elaboraron tres muestras, previas a la aplicación de las otras pruebas.

Tabla 1. Verificación de la adherencia en el muro

Variable	Identificación	Aplicación de la mezcla	Indicadores
Adherencia (muro este)	A1	Rayado de la superficie en forma de rombos con un elemento punzante	visual táctil golpeado bordes
	A2	Lechada de tierra arcillosa con agua (1:2) aplicada con brocha de pelo	
	A3	Polímero natural base agua, no corrosivo, aplicado con brocha como material de transición	

Para las pruebas de largo de fibra se elaboraron 12 muestras de diferentes largos, como lo indica la tabla 2.

Tabla 2. Pruebas para determinación del largo óptimo de la fibra

Variable	Identificación*	largo de fibra (cm)	Aplicación de la mezcla	Indicadores
Largo de fibra (muro sur)	L1, L2 y L3	0 (sin fibra)	espesor de 0,5 cm del revoque	trabajabilidad fisuración
	L4, L5 y L6	0,5		
	L7, L8 y L9	1		
	L10, L11 y L12	3		

* localización de las muestras informadas en la figura 7

Para las pruebas de pigmentación se elaboran 10 muestras. Los porcentajes de pigmentos integradas a la mezcla se tomaron respecto al peso total de la mezcla, adoptándose 0,5% y 2% para la mezcla sin saturar y saturada de pigmento respectivamente. Las muestras fueran aplicadas sobre el muro poniente (oeste) de 3,0 m x 2,4m, de las cuales las saturadas de pigmento están colocadas arriba y las no saturadas abajo, según se indica en las figuras 5 y 10. El espesor de estas muestras es de 5 cm. El pigmento utilizado es a base de ferrite, o colorante para concreto.

Tabla 3. Prueba de pigmentación

Variable	Identificación*	Saturación (%)	Aplicación de la mezcla	Indicadores
Pigmentación	P1,P3,P5,P7,P10	0,5	espesor de 0,5 cm del revoque	visual
	P2,P4,P6,P8,P9	2		

Para la optimización y verificación del espesor del revoque, se preparó tres muestras, todas con el mismo largo de fibra de 1 cm, y con espesor variado, informado en la tabla 4.

Tabla 4. Espesor del revoque

Variable	Identificación	Espesor (cm)	Evaluación
Optimización del espesor (muro oeste)	E1	0,5	trabajabilidad fisuración
	E2	1,0	
	E3	1,5	



Figura 5. Aplicación de las muestras

2.3 Mural decorativo

Para la colocación de detalle decorativo en el muro norte (figura 9), se tomó la determinación de dividir el paño mural en tres sectores: dos sectores (superior e inferior) de 0,50 m de altura y 5 metros de largo y un sector central de aproximadamente 1,5 metros por 5 metros que contiene el mural.

Se divide el muro norte en tres franjas (figuras 6 y 9) con el objetivo de someter a la mezcla al esgrafiado, pigmentación, raspado y observar su comportamiento. Por otra parte se hacen muestras rectangulares más grandes para observar la fisuración E3', E4, E5, E6.

Tabla 5 – Espesor en muestras rectangulares

Muro norte	Dimensión (m)	Espesor (cm)	Evaluación
1ª franja (E3')	0,50 x 2,50	1,5	trabajabilidad fisuración
1ª franja (E4)	0,50 x 2,50	1,5	
2ª franja mural artístico	1,40 x 5,0	0,5	
3ª franja (E5 y E6)	0,50 x 5,0	1,0	

El sector superior se revocó en dos muestras E3' y E4, ambas de 1,5 cm de espesor: E3' con la cantidad y largo de fibra tal la muestra E3 (1,0 cm de largo) y E4 duplicando la cantidad de fibra. Se busca con esta prueba observar como varía el indicador fisuración en función del porcentaje de fibras en un recubrimiento de espesor de 1,5 cm.

El sector inferior (E5 y E6) se revocó con una dosificación sin cal.



Figura 6. Elaboración del mural

2.4 Proporciones sugeridas para la mezcla del proyecto de acuerdo a ensayos previos

Durante el proceso se tuvieron que hacer ajustes a la mezcla, especialmente en las proporciones relativas de cal y fibra; para una medida de tierra se duplica la cantidad de arena, se agrega cal a la mezcla, en una proporción del 6% en relación al peso de la tierra. Con respecto a la fibra de ixtle, se agrega un 5% en relación al peso de dicho suelo. Se incorpora como agua de amasado un preparado de acíbar de sábila en cantidad necesaria para la trabajabilidad de la mezcla, a partir de 700 ml.

El tipo de cal que se utilizó para la realización de las mezclas es cal hidratada industrializada en sacos.

Para la preparación de acíbar de sábila, se quitan las espinas de cada hoja y la corteza superior para poder extraer el gel o acíbar, se pesa, y se licua. Por cada kilogramo de acíbar

se agregan 9 L de agua, hasta obtener una solución al 10%. Finalmente se agregan 100 g de benzoato de sodio para su conservación.

2.5 Aplicación de las muestras

Las muestras son aplicadas de acuerdo a las figuras 7, 8, 9 y 10)

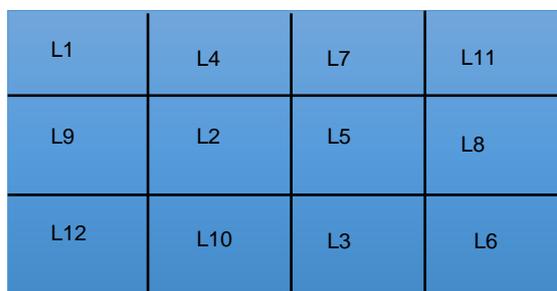


Figura 7. Muro sur – Pruebas de largo de fibra - 12 paños de medidas promedio 1,20 m x 0,75 m

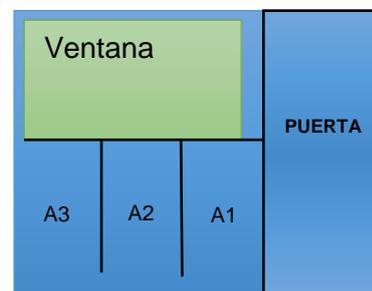


Figura 8. Muro este – adherencia - 3 paños de 0,59 m x 1,02 m

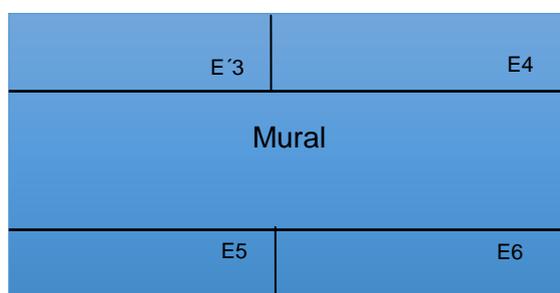


Figura 9. Muro norte – técnicas decorativas – franja superior de 0,5 m x 5m; franja intermedia de 1,40m x 5m; franja inferior de 0,50m x 5m

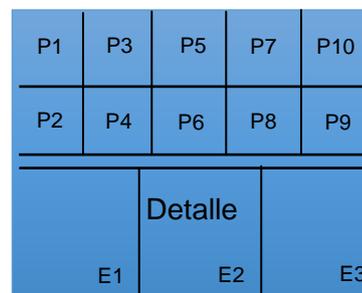


Figura 10. Muro oeste – color y espesor – 10 paños de 0,45 m x 0,55 m; 3 paños de 0,90 m x 1,00 m espesor

2.6 Otras pruebas al recubrimiento

Algunas de las pruebas recomendadas por Minke (2013) son: resistencia a la abrasión, resistencia a la erosión y monitoreo térmico. Además de éstas, el equipo realizó las siguientes pruebas: a los aglutinantes, concentraciones y pruebas de mezclado, pruebas de filtrado y evaluación del mismo, así como pruebas microscópicas de agrietamiento y dimensión fractal.

La prueba de revenimiento se realiza de acuerdo a la norma empleada para mortero NMX-C-486-ONNCCE (2014), así como las pruebas de resistencia a la compresión. Además se consultan varias recomendaciones para elaborar normas para morteros.

2.7 Aplicación de la mezcla sobre construcción convencional de muro de block de concreto

Se selecciona un espacio de 5,2 m x 1,2 m y de 2 m a 1,2 m de altura para aplicación del aplanado (figura 11). Se aplica previamente con una lechada de tierra para mejor adherencia sobre el muro de block de concreto, creando así un plano de transición ya que es un material muy diferente. El muro se encontraba ligeramente desplomado siendo necesario prepararlo, quitando los excesos de mezcla de la junta.

Con respecto al rendimiento del material, y como el muro estaba desplomado y bastante irregular, exigió, para una cubeta de 1 m²: 3 kg de tierra, 6 kg de arena, ¿? fibra y 0,18 kg de cal y acíbar sábila para su trabajabilidad.



Figura 11. Aplicación la mezcla sobre muro convencional de block de concreto

3 RESULTADOS, DISCUSIÓN Y CONSIDERACIONES FINALES

En cuanto a adherencia, en el espacio de pruebas, existe buena adherencia, sin utilizar ningún material de transición para aplicar el recubrimiento.

En cuanto a largo de fibra, se encuentra que el mejor comportamiento está en las muestras con fibras de 1 cm de largo. En el mural, la trabajabilidad se optimiza con la fibra finamente picada, esto es menor a 0,5 cm porque el tipo de trabajo a realizar.

En cuanto a pigmentación, la mezcla, estabilizada con cal, tiende a bajar el grado de saturación de color en la mezcla, y esto se observó en todo el tiempo de monitoreo, por lo que las mezclas que se comportaron mejor en cuanto a pigmentación fueron las saturadas con 2% de pigmento.

En cuanto a espesor, las muestras de espesor de mejor comportamiento, en cuanto a fisuración, fueron aquellas que su espesor fue de 5 cm; la muestra L2, que no tenía fibra, también se fisuró y aquellas que tenían espesor de 1,5 cm. Salvo la E4 que aunque teniendo el espesor mayor se duplicó la cantidad de fibra.

El mural artístico, utilizando la misma mezcla sin cal, ha conservando todas sus características y propiedades en este monitoreo en cuanto a adherencia, grado de color, resistiendo el esgrafiado al que fue sometido, y las partes de mayor área, no han presentado fisuración.

En cuanto a trabajabilidad, las muestras que tienen la fibra de 1,0 cm y menor son más trabajables

En cuanto a fisuración, parece existir una relación proporcional entre el espesor y la cantidad de fibra, es decir, a mayor espesor hay que duplicar la cantidad de fibra; esto se observó en la muestra E4.

Y, se considera que:

- 1) Si se requiere trabajar espesores mayores de aplanado hay que duplicar la cantidad de fibra. Se observa una relación proporcional entre el espesor y la cantidad de fibra.
- 2) Las muestras de mezclas más trabajables son aquellas que poseen la fibra menor a 1 cm.
- 3) Se abren como futuras líneas de investigación estudiar el comportamiento de la mezcla al exterior y ver el papel de la cal dentro de la misma.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cerro, M.; Baruch, T. (2011). *Enduits terre & leur décor, mode d'emploi*. France: Eyrolles
- García Mendoza, A. J. (2007). Los agaves de México. *Ciencias* 87, julio-septiembre, 14-23. Disponible en <http://www.revistaciencias.unam.mx/es/48-revistas/revista-ciencias-87/285-los-agaves-de-mexico.html>
- Kadole, P.; Hulle, A. (2014). *Agave americana fibres: extraction, characterization and applications*. Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing
- Minke, G. (2013). *Revoques de barro. Mezclas, aplicaciones y tratamientos*. Bioarquitectura, 1. España: Icaria,
- NMX-C-486-ONNCCE (2004). *Industria de la construcción- Mampostería – Mortero para uso estructural – Especificaciones y métodos de ensayo*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación
- Vissac, A. (2014). *Matiere en fibres*. Francia: Amaco.
- Warnoc, T. M. (2013). *Remarkable plants of Texas, uncommon accounts of our common natives*. U.S.A.: University of Texas press

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a SEMARNAT Y CONACYT por su apoyo, así como al Laboratorio de materiales de la FADU/UAT.

AUTORES

Yolanda Aranda, doctorado en Arquitectura con énfasis en vivienda (UAT 2010), línea de investigación en construcción con tierra. Miembro del SNI I. Miembro de Proterra desde 2005. Representante de la Catedra UNESCO para tierra en la FADU/UAT. Cuenta con varios artículos indexados y participación en congresos internacionales.

Natacha Hugón. Constructora. Docente en FADU/UBA Buenos Aires. Miembro del programa de investigación ARCONTI, del Instituto de Arte Americano e Investigaciones Estéticas FADU/UBA. Miembro de la Red PROTIERRA de Argentina. Directora del Centro CIDART.

Ariel González, Magister Scientiae en Metodología de la investigación; ingeniero en construcciones. Docente investigador de la Universidad Tecnológica Nacional, Santa Fe. Miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA y de la Red PROTIERRA de Argentina.