

[VOLVER AL ÍNDICE](#)

DESARROLLO DE MATERIALES COMPUESTOS EN BASE A TIERRA INCORPORANDO RESIDUOS DE EXPLOTACIONES AGRÍCOLAS.

Pablo Costamagna (pablocostamagna@gmail.com); Araí S. Rieppi Godoy (arairieppigodoy@outlook.es); Santiago Cabrera (spcabrera@outlook.com)

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Venado Tuerto (UTN-FRVT) - Arg.
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe (UTN-FRSF) - Arg.

Palabras clave: Marlo de maíz, tierra, material compuesto, resistencia a la compresión simple.

El objetivo de la investigación fue encontrar un material que contara en su composición con una importante proporción de tierra, reduciendo la concentración de aglomerantes comerciales. Implementando al compuesto un residuo agrícola regional como lo es el marlo de maíz.

La creación de nuevos materiales y morteros de bajo impacto ambiental es un campo muy activo en el área de arquitectura sostenible. A pesar de esto, son muy escasos los reportes bibliográficos relacionados con el desarrollo y uso de compuestos en base a tierra que incorporen a la mezcla residuos de marlo como agregado grueso.

En este trabajo se reportan las propiedades mecánicas de un material compuesto (tierra, cemento y residuos de explotaciones agrícolas) apto para múltiples aplicaciones en el campo de la construcción, en particular para la materialización de hormigón de pendiente en azoteas accesibles. En este caso se empleó el marlo de maíz como material liviano dentro del compuesto, variando la dosificación volumétrica de éste y del agua de amasado. Se estudió la trabajabilidad en función del contenido de agregado grueso (marlo) y la humedad. Se moldearon probetas cilíndricas las cuales se ensayaron a compresión simple y se obtuvieron los valores de resistencia a rotura de las mismas. Se realizó también, un análisis de costo teniendo en cuenta la composición de cada mezcla.

Para bajas densidades de material se alcanzaron resistencias de 2 kg/cm² en promedio, lo que se encuentra dentro del rango de resistencias establecido por la norma CIRSOC 101-2005 para el uso propuesto. El costo del compuesto obtenido fue un 66% más económico que el hormigón utilizado tradicionalmente en la construcción. (Hormigón H4).

1. INTRODUCCIÓN

En la historia y en los diferentes campos de la construcción, el hombre ha satisfecho la necesidad de una vivienda con tierra estabilizada. Este estabilizado se ha logrado principalmente de dos maneras, compactando o con la incorporación de otros materiales para otorgarle mayor resistencia, entre los que se encuentran las fibras vegetales, las cenizas, los productos orgánicos, la mezcla con otro tipo de suelos y también la incorporación de cal y el cemento. [Minke(2013)]

Las Facultades Regionales de Santa Fe y Rafaela de la Universidad Tecnológica Nacional, en Argentina, vienen trabajando en la temática de la tierra como material de construcción desde el año 1999. Dentro de la investigación realizan desarrollos relacionados con el mejoramiento de técnicas tradicionales y con propuestas innovadoras; en la extensión el intercambio de conocimientos con el medio social y productivo y en la docencia formando recursos humanos internamente con estudiantes y externamente con profesionales artesanos e interesados en general. Actualmente hay dos temas que se vienen encarando con más énfasis; el apoyo a la redacción, desarrollo y gestión de normativas técnicas y

jurídicas y un programa universitario de certificación de capacidades en el arte de construir con tierra. [Gonzalez&Costamagna&Venturini, (2016)]

Como antecedente más cercano, la UTN Regional Santa Fe está estudiando el comportamiento de un material compuesto realizado a partir de insumos locales como ser la tierra arcillosa y residuos agrícolas producidos en la región tal como la cascarilla proveniente del desmote del algodón y el rastrojo del cultivo del arroz para la fabricación de bloques de tierra alivianada. Si bien el trabajo está en desarrollo el OBJETIVOS del mismo es obtener un material liviano y con intersticios, los cuales le brinden propiedades termoaislantes y acústicas. También obtener resistencias y densidades para su uso como material autoportante. [Cabrera &Tosti, (2016)]

De nuestro conocimiento no existen trabajos reportados sobre el desarrollo y uso de compuestos en base a tierra que incorporen residuos de la explotación agrícola como el marlo como agregado liviano y menos aún para el uso propuesto en el presente trabajo, por lo que consideramos que se trata de una innovación en la materia.

Desde 2015 el grupo Hormiterra de FRVT implementó el marlo de maíz como agregado grueso liviano en el compuesto tierra-cemento. En la primera etapa del estudio se realizaron y se analizaron diferentes proporciones y tipo de agregado grueso liviano (marlo, cascotes y poliestireno expandido). Esto con el fin de comparar sus propiedades mecánicas y su costo por metro cúbico con otros materiales tradicionales de relleno (tierra-cemento y hormigón pobre). Finalmente, basados en los resultados, se sugirieron algunas posibilidades de aplicación del material compuesto por tierra, cemento y marlo de maíz, como su uso para la construcción de contra-pisos y de rellenos de pendiente en azoteas [Rieppi et al. (2015)].

En este trabajo se reportan valores medidos de las propiedades mecánicas del material compuesto. Teniendo en cuenta el uso recomendado del mismo, se variaron las partes de agua y de agregado grueso para encontrar la dosificación óptima (trabajabilidad, baja densidad y resistencia necesaria). Se moldearon probetas cilíndricas con las diferentes dosificaciones, se determinó la densidad y la humedad de los compuestos estudiados y se realizaron ensayos tanto de trabajabilidad (cono de Abrams [Bascoy (1992)]) como de compresión simple para conocer las cargas de fisura y rotura, adaptando la norma IRAM 1546 para hormigón y la norma española UNE 103-400-93 para el ensayo de compresión simple en probetas de suelo.

Se realizó un control visual del crecimiento del moho superficial durante el periodo de curado y secado de las probetas.

2. OBJETIVOS

El OBJETIVOS principal de la investigación fue encontrar un material que tuviera una importante proporción de tierra en su composición junto a una reducida concentración de aglomerantes comerciales; y que además tuviera un bajo impacto sobre el medio ambiente.

Como OBJETIVOS específico, se pensó en la reutilización de algún residuo agrícola de manera de hacer un aporte al medio ambiente y que implicara un costo cero de utilización. Por esto último se buscó un material cuya forma de preparación en obra fuese similar al hormigón convencional, evitando así la necesidad de equipos o mano de obra especializada. En este sentido se adoptó como agregado grueso un residuo agrícola muy abundante a nivel regional como lo es el marlo de maíz.

3. METODOLOGÍA

3.1. Materia prima.

El suelo utilizado para realizar las muestras provino de una única cantera para limitar la variabilidad en el comportamiento del mismo. Se procedió a realizar una clasificación del suelo empleando para ello el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) [Juárez y Rodríguez (2005)]. Dicha clasificación arrojó como resultado un suelo del tipo limo de baja plasticidad (ML). La humedad inicial del suelo utilizado fue de 7,2 % Esta se obtuvo mediante el pesado y secado del mismo como lo estipula la norma IRAM 10519 (1970). Antes de su utilización en la mezcla se procedió a moler los grumos de suelo formados, de manera de lograr una granulometría uniforme para el correcto mezclado de las partes.

El marlo de maíz natural posee una geometría cilíndrica con un diámetro promedio de 25 mm y una longitud de 95mm. Los residuos de marlo de maíz utilizados en este trabajo poseen una longitud menor, ya que sufren un proceso de tritura por la organización que lo desecha. La Fig. 1 muestra una fotografía de este material junto a una escala para caracterizar la geometría del marlo como residuo agrícola.



Figura 1. Marlo de maíz como residuo agrícola.

Se obtuvo la humedad inicial del agregado mediante el método de la norma IRAM 10519 (1970), lo que arrojó una humedad inicial de 15,13%.

Se determinó la granulometría a través del proceso de tamizado, el cual consistió en utilizar una serie de tamices con mallas de diferentes anchos de entramado que fueron ensamblados en una columna. En la parte superior, donde se encontraba el tamiz de mayor entramado, se agregó el marlo de maíz y la columna de tamices fue colocada sobre un vibrador mecánico, el cual además de generar vibraciones realizaba movimientos rotatorios intensos. Luego de terminado el ensayo se pesó el material retenido en cada uno de los tamices. Los resultados obtenidos en este ensayo se detallan en la Tabla 1. El peso total de la muestra que se analizó fue aproximadamente 496.4 gr.

De acuerdo a la experiencia y a estudios realizados anteriormente, como así también la vasta bibliografía sobre el tema, se adoptó como material estabilizante al cemento en una proporción de 10%, para asegurar rigidez y resistencia a la erosión del compuesto final.

Tabla 1. Tamaño del agregado grueso.

Tamiz IRAM (pg)	Tamaño (mm)	Pasa (gr)	Retiene (gr)	Pasa (%)
1 "	25	496.40	0.00	100.00
3/4 "	19	363.70	132.70	73.27
5/8 "	16	228.10	135.60	45.95
1/2 "	12.5	71.90	156.20	14.48
7/16 "	11	58.40	13.50	11.76
1 "	25	496.40	0.00	100.00
3/4 "	19	363.70	132.70	73.27
5/8 "	16	228.10	135.60	45.95

3.2. Preparado del material compuesto.

En esta etapa se definieron las dosificaciones de los materiales en cada mezcla, se mantuvieron constantes las proporciones de tierra y cemento, variando la del agregado grueso (marlo) y el porcentaje de agua para lograr la “trabajabilidad” en la mezcla resultante (ver Tabla 2). La trabajabilidad de la mezcla se determinó según el ensayo del cono de Abrams (Fig. 2). Para realizar este procedimiento se llenó el molde en tres capas y se apisonó cada capa con 25 golpes de una varilla-pisón. Los que fueron distribuidos más o menos uniformemente. La capa inferior se llenó hasta aproximadamente 1/3 y la capa media hasta aproximadamente 2/3 del volumen total del cono. Posteriormente se retiró el cono y se determinó el asentamiento de la mezcla con la ayuda de una regla graduada midiendo la disminución de altura de la mezcla moldeado respecto del cono.

En base a lo trabajado años anteriores, las proporciones de tierra y cemento fueron constantes, nueve partes y una parte, respectivamente, variando las de agregado grueso y agua. Todas estas proporciones fueron medidas en volumen. [Rieppi et al. (2015)].

El procedimiento de obtención del compuesto se inicia mediante el mezclado del suelo y el cemento hasta lograr un color uniforme para luego agregar las diferentes proporciones de agregado grueso (10 y 15 partes de marlo) y conjuntamente la cantidad de agua necesaria. Una vez obtenida una mezcla homogénea, se determinó el asentamiento.

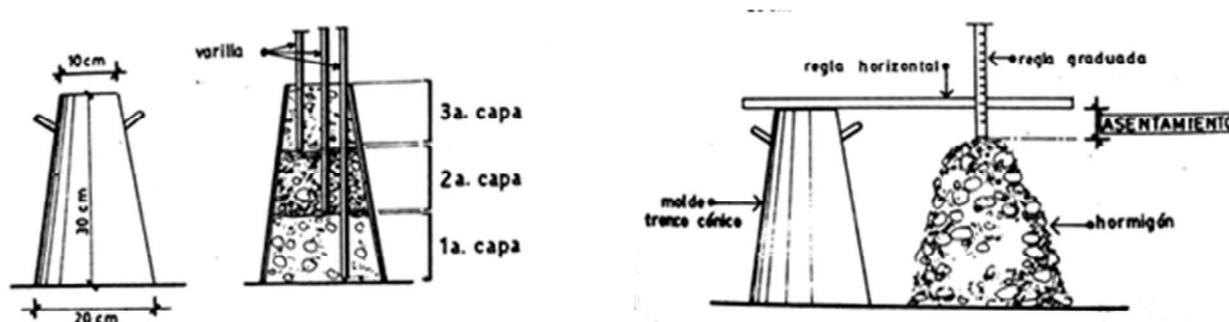


Figura 2. Medición del asentamiento con el cono de Abrams. [Castianera(1994)]

Tabla2. Composición volumétrica de las mezclas estudiadas.

Mezcla n°	Dosificación [partes]				Asentamiento [cm]
	Tierra	Cemento	Agregado	Agua	
1	9	1	15	5	1.0±0.1
2	9	1	15	4	0.5±0.1
3	9	1	10	5.5	11.7±0.1
4	9	1	10	5	9.5±0.1
5	9	1	10	4.5	2±0.1

3.3. Ensayo.

Obtenidos los datos de asentamiento de las diferentes mezclas estudiadas, se procedió al llenado de probetas cilíndricas de caño PVC (diámetro~ 100 mm; altura~ 150mm) con el mismo método que en el cono de Abrams. Se obtuvieron diez probetas de cada mezcla realizada. Se dejaron reposar en ambiente de laboratorio para su secado, es decir sin ninguna condición específica de humedad y temperatura (fig. 3). La mezcla sobrante fue llevada a un horno para conocer el porcentaje de humedad contenido, a través de la disminución de su masa.



Figura 3. Probeta húmeda, en proceso de secado.

Pasado los 28 días de secado según la norma española UNE 103400-1993, se ensayaron las probetas moldeadas determinando densidad y resistencia a compresión simple (los resultados se muestran en la Tabla 3). Para el ensayo se empleó una prensa mecánica a tornillo accionada por motor eléctrico de $\frac{3}{4}$ hp con una celda de carga adosada de cinco toneladas de capacidad (Fig. 4).



Figura 4. Ensayo a compresión simple.

Tabla 3. Comparación de datos estadísticos.

Mezcla	Densidad	Humedad	Carga de fisura	Carga de rotura	σ_{rot}
n°	[kg/m ³]	[%]	[kgf]	[kgf]	[kg/cm ²]
1	821±40	74	58±11	107±37	1.3±0.4
2	1011±43	61	118±18	191±43	2.3±0.6
3	1070±71	59	118±27	189±21	2.3±0.2

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Hongos.

Como observación podemos destacar que en el proceso de moldeado y tiempo de secado de las probetas, surgieron hongos superficiales que se mantuvieron mientras la mezcla estuvo húmeda (Fig. 5). Esto no presentó grandes limitaciones ya que a medida que la probeta se iba secando, los mismos desaparecían.



Figura 5. Probetas afectas con hongos.

5. COSTOS

En la tabla 4 se muestran los valores del costo por m³ de la mezcla con marlo para su comparación con hormigón pobre. Para obtener los valores mostrados se tuvieron en cuenta los pesos que utilizamos de cada material en las mezclas. Los cálculos se realizaron con precios actualizados a junio de 2017.

Tabla 4. Detalle del cálculo de costos aproximados.

Compuesto	Material	Densidad [kg/m ³]	Costo unitario [\$/kg]	Subtotal	Total [\$/m ³]
T-C-M	tierra	1100	0.28	307.74	608.92
	cemento	110	2.74	301.18	
	marlo	182	0	0	
Hormigón H4			-	-	1802.00

Obs.: la denominación comercial H4 hace referencia al compuesto formado por la molienda de escombros, arena y cemento de albañilería, utilizados tradicionalmente para la ejecución de contrapisos y cimientos.

6. DISCUSIÓN

Analizando los resultados arrojados por las muestras ensayadas realizamos una serie de determinaciones. Principalmente podemos mencionar que la resistencia a compresión simple es apta para el uso propuesto, ya que sus valores en promedio superan los 2 kg/cm² de rotura a los 28 días de su elaboración. Particularmente en los compuestos 4 y 5 donde se redujo el porcentaje de agregado grueso y de agua, logrando resistencias mecánicas superiores a los 3 kg/cm². Este valor cumple con lo requerido como sobrecarga mínima uniformemente distribuida para azoteas accesibles privadamente y para azoteas inaccesibles, reglamentada en CIRSOC 101-2005. Este reglamento expresa en el capítulo 4.1 que la sobrecarga mínima a tener en cuenta para dichos usos es de entre 1 y 3 Kn/m²(entre 1 y 3 kg/cm²)

En cuanto a la densidad varía al cambiar las proporciones de marlo y agua, dando menor densidad cuando aumentamos ambas. La trabajabilidad disminuye incrementando las partes de marlo y mejora al aumentar el contenido de agua.

Analizando los costos de la mezcla tierra-cemento-marlo y hormigón pobre, el primero resulta aproximadamente un 66% más económico.

7. CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo indican que los materiales compuestos a base de tierra con la incorporación de residuos de explotaciones agrícolas se encuentran dentro del rango de

resistencias establecido por el CIRSOC para el uso propuesto; además fueron un 66% más económico que los materiales utilizados tradicionalmente en la construcción. Por estas dos características, se considera este compuesto apto para la construcción de contra-pisos y de rellenos de pendiente en azoteas accesibles e inaccesibles. Se aclara que solo se tuvieron en cuenta para la evaluación de este compuesto la resistencia mecánica a compresión simple, como así también la densidad obtenida y el costo para su utilización en obra. No se analizaron otras cuestiones como la degradación del marlo y su influencia en la durabilidad del compuesto en obra.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bascoy D.A. (1992). *Tecnología del hormigón fresco*. Buenos Aires: Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón.
- Cabrera, S. Tosti, S. (2016) *Tierra y residuos agrícolas. Su utilización como materiales de construcción*. XII Congreso mundial de las arquitecturas con tierra, trabajo n° 132, Lyon
- Castiarena A. N. (1994). *Curso de tecnología del hormigón*. Buenos Aires: Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón.
- CIRSOC 101.E1:2005. (2005). *Reglamento Argentino de cargas permanente y sobrecargas mínimas de diseño para edificios y otras estructuras*. Buenos Aires, Argentina: INTI.
- González, A.; Costamagna P.; Venturini, G. (2016). *La Universidad intercambiando con el medio social*. En: *Congrés mundial sur les architectures de terre*, 12, Lyon. Terra Lyon: France. Poster n°335.
- Juarez Badillo E., Rodríguez Rico A. (2005). *Mecánica de suelos. Tomo I*. México: Lumisa.
- MinkeG.(2013). *Manual de construcción con tierra. La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*. 4ª ed. Bariloche: BRC Ediciones.
- Norma IRAM 10519 (1970). *Mecánica de suelos. Método de laboratorio para la determinación de la humedad*. Buenos Aires, Argentina: IRAM.
- Norma IRAM 1546 (1972). *Ensayos mecánicos de hormigón. Determinación de la resistencia a la compresión de probetas de hormigón endurecido*. Buenos Aires, Argentina: IRAM.
- Norma UNE 103400-93 (1993). *Ensayo de rotura a compresión simple en probetas de suelo*. España: AENOR.
- Rieppi A., Medina F., Bejarano R. (2016). *Desarrollo de materiales compuestos en base a tierra cruda incorporando residuos de explotaciones agrícolas*. *Tecnología y ciencia vol. 29*. (2015), 253-257.

9. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración brindada por el Departamento de Ingeniería Civil y por la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado de la Facultad Regional Venado Tuerto. Agradecemos la colaboración del Laboratorio de Suelos de la Facultad Regional Venado Tuerto, Dr. Leandro Prevosto, Ing. Oscar Braun.