

# Influencia del Tratamiento de Desechos Lignocelulósicos sobre las Propiedades de Aglomerados Basados en Residuos de Algodón

**Resumen:** En trabajos anteriores se ha comprobado la factibilidad de producir bloques y placas mediante la aglomeración de residuos del proceso de desmote del algodón con aglomerantes cálcicos. Estos residuos representan un serio inconveniente para las plantas desmotadoras, ya que anualmente se estima una generación de aproximadamente 300.000 t de desechos lignocelulósicos en el país que no tienen un destino final previsto.

No obstante, si bien se pueden producir estos aglomerados con los residuos en su estado natural, se verifica que las propiedades mecánicas, como la resistencia a compresión, mejoran cuando el residuo es sometido a determinados tratamientos previos, estando esto relacionado con la compatibilidad del cemento y los residuos lignocelulósicos.

Por este motivo, se analiza en el presente trabajo la influencia de tratamientos previos de inmersión del residuo en soluciones acuosas alcalinas. Los resultados obtenidos muestran que estos tratamientos, tienen una influencia significativa sobre la resistencia a compresión del aglomerado.

**Palabras Claves:** residuo de desmote de algodón; aglomerados; resistencia; inhibidores de fraguado.

**Abstract:** Previous work has shown the feasibility of producing blocks and boards by agglomerating wastes from the cotton ginning process with calcium binders. These residues represent a serious inconvenience for ginning plants, since about 300,000 t of lignocellulosic wastes are generated annually, without any final disposal destination.

However, although these agglomerates can be produced with the residues in their natural state, it is verified that the mechanical properties, such as compressive strength, are improved when the residue is subjected to certain previous treatments, this being related to the compatibility of the cement and lignocellulosic residues.

For this reason, in the present paper, the influence of previous treatments consisting in cotton gin waste immersion in aqueous alkaline solutions is analyzed. Obtained results show that these treatments have a significant influence on the compressive strength of composites.

**Keywords:** cotton gin waste; composites; strength; setting inhibitors.

**Romina Argento<sup>1</sup>, M. Michela Ciucio<sup>2</sup>, Joao Ferreyra<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda –CECOVI- Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional, Lavalse 610, (S3004EWB), Santa Fe, TEL/FAX: 342 4697728.

<sup>2</sup>Instituto de Tecnología Celulósica, Facultad de Ingeniería Química (UNL), Sgo. del Estero 2829, (S3000AOM), Santa Fe, TEL/FAX: 0342 4571164 Int. 2719. Mail: joaoferreyra7@gmail.com

# INTRODUCCIÓN

El algodón (producción, cosecha y desmote principalmente), ha sido la principal actividad que permitió la ocupación territorial del noreste de la Argentina, a principios del siglo XX. Posibilitó el asentamiento de población, a nivel rural como urbano, generando una actividad económica con valor agregado, una de las más elevadas dentro de la actividad agrícola, configurando un crecimiento sostenido en la zona mencionada y extendiéndose luego a parte del noroeste de nuestro país.

La producción de algodón actualmente se desarrolla con mayor importancia dentro de nuestro país en las provincias de Santa Fe, Chaco, Formosa, Santiago del Estero y Corrientes, con una fuerte concentración geográfica (Fig. 1) (ArgenBio, 2016).

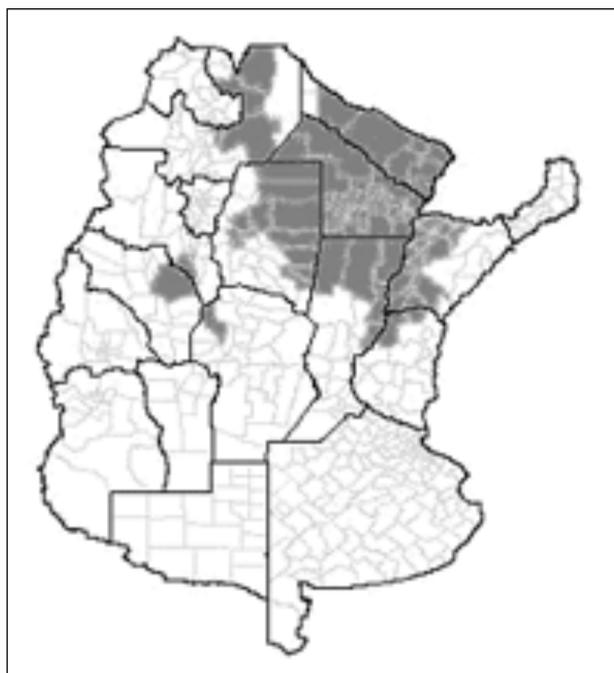


Fig. 1: Concentración geográfica de la producción algodonera.

Dado el importante déficit habitacional que afecta a nuestro país, las deficiencias en la aislación térmica de muchas viviendas existentes (Diario UNO, 2006; Censo 2001, 2001; Censo 2010, 2010), y a la disponibilidad

de un importante volumen de estos residuos, la posibilidad de desarrollar elementos constructivos innovadores mediante la utilización de residuos de desmote del algodón, aparece como una contribución parcial a la problemática ambiental de este sector agroindustrial, al déficit habitacional de la región algodonera y a la escasez de empleo para personas sin calificación especial (Piccioni et. al, 2013a; Piccioni et. al, 2013b).

Teniendo en cuenta la variabilidad de producción de algodón año a año (Tabla 1) (Delssin, 2012), es difícil pensar en empleos del residuo de alta complejidad. Es por esto que nuestro planteo se basa en obtener una disposición final para el residuo con utilización de tecnologías sencillas, fácilmente apropiables y transferibles, los aglomerados de cascarilla con cemento.

Las evaluaciones realizadas (Piccioni et. al, 2013a; Piccioni et. al, 2013b) indican que pueden producirse elementos constructivos tales como bloques y placas mediante la aglomeración de los residuos de desmote del algodón con cemento, con adecuadas propiedades mecánicas, bajo peso específico y reducida conductividad térmica.

No obstante, si bien se pueden producir estos aglomerados con los residuos en su estado natural, se verifica que las propiedades mecánicas (como la resistencia a compresión) mejoran cuando el residuo es sometido a determinados tratamientos previos, esto está relacionado con la compatibilidad del cemento y los residuos lignocelulósicos.

Año	Miles de toneladas en bruto	Año	Miles de toneladas en bruto
2000/2001	509,41	2006/2007	545,40
2001/2002	218,16	2007/2008	493,60
2002/2003	201,51	2008/2009	389,00
2003/2004	354,00	2009/2010	735,50
2004/2005	448,00	2010/2011	1155,80
2005/2006	315,00	2011/2012	708,87

Tabla 1: Variabilidad anual de producción de algodón.

Se sabe que los azúcares, lignosulfonatos, hemicelulosa, almidón, fenol, entre otros compuestos comunes en los materiales celulósicos, llamados “venenos para el fraguado de cemento” pueden catalizar como membranas impermeables alrededor de los granos de cemento, evitando las reacciones de hidratación y provocando la inhibición o retraso de fraguado del cemento (Neville and Brooks, 1998). Además se cree que estos retardadores pueden modificar el crecimiento de cristales o morfología en caso de ser absorbidos por la membrana formada en la hidratación del cemento y retrasar así el crecimiento de los núcleos de hidróxido de calcio, formando de esta manera una barrera más eficaz para la hidratación.

Las técnicas más utilizadas para optimizar la interacción entre residuos lignocelulósicos y el cemento fueron propuestas por Simatupang et al. (Simatupang et al., 1988): envejecimiento, extracción de los inhibidores en soluciones acuosas, utilización de aceleradores, secado de la biomasa vegetal, recubrimientos de partículas vegetales y mineralización de partículas vegetales.

En cuanto a los tratamientos en soluciones acuosas, que son los utilizados en nuestro estudio, se sabe que en su mayor parte las sustancias contenidas en la biomasa son extraíbles en soluciones y que la eficiencia del proceso depende de la naturaleza de los residuos. Algunos parámetros que deben ser considerados son el pH de la solución, la temperatura y duración de la inmersión (Beraldo and Ballerini, 2007).

En lo referente al pH de la solución, los resultados obtenidos por diversos investigadores son controvertidos, pero la biomasa vegetal tiene una naturaleza ácida, mientras que el cemento se interesa en un ambiente básico para realizar su fraguado. Por lo tanto las soluciones alcalinas son más adecuadas para este proceso y entre ellas las más utilizables son los

hidróxidos de calcio y de sodio. También se debe tener en cuenta la necesidad de eliminar un posible exceso de sustancias adheridas a las partículas (Beraldo and Ballerini, 2007).

Así, para un contenido de cemento dado, la variación en la resistencia a la compresión debido a la extracción de los inhibidores en soluciones acuosas, se debe principalmente a una mejor hidratación del cemento causada por la minimización de los efectos inhibidores de la materia orgánica y la mejora en la interfase entre la pasta de cemento y los residuos (Piccioni et. al, 2013a). La evaluación del comportamiento de estos residuos en presencia de cemento puede ser efectuada de dos maneras distintas, una alternativa es cuantificar los parámetros de la curva de hidratación de la mezcla y otra es analizar el comportamiento mecánico del compuesto (Beraldo and Ballerini, 2007).

En este trabajo se analizan las modificaciones que producen los tratamientos en soluciones alcalinas en el residuo y la implicancia de estas modificaciones en el comportamiento mecánico de los aglomerados obtenidos.

Asimismo, dado que al variar los equipos desmotadores se obtienen residuos con características diferentes, se analiza también la influencia de estas tipologías sobre el comportamiento de los aglomerados.

El presente trabajo muestra los resultados, de un trabajo de investigación, obtenidos hasta la fecha, en el marco de un programa de mayor alcance que está aún en ejecución.

## METODOLOGÍA

### Materiales

Para el desarrollo del estudio se utilizó residuo de desmote del algodón proveniente de dos desmotadoras,

en su estado natural y bajo tratamiento (Tabla 2), cemento portland (CPC, IRAM 50000) con categoría resistente CP40 y CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O de calidad industrial en hojuelas con un contenido de CaCl<sub>2</sub> de 77 % (aditivo acelerante).

## MÉTODOS

### Caracterización granulométrica

Para la realización de la caracterización granulométrica, se procedió a realizar la homogeneización manual de las muestras en estado natural, para luego efectuar una reducción del tamaño de las mismas por cuarteo. Las muestras se tamizaron a continuación a través de tamices N° 4 (4,75 mm), N° 20 (850 µm) y N° 80 (180 µm), sucesivamente, determinando el peso del material retenido en cada uno de ellos.

Tratamientos/Nomenclatura		Desmotadora 1	Desmotadora 2
Cascarilla sin tratar	Estado Natural	N	NC
Inmersión en solución de Ca(OH) <sub>2</sub> durante 72 hs.	Relación agua/cascarilla 40g/g. Cal/agua= 0,0066 g/g	T	TC

Desmotadora 1: Equipo Murray 121 sierras. – Provincia de Santa Fe  
 Desmotadora 2: Equipo Continental 141 sierras. – Provincia de Chaco

Tabla 2: Materiales utilizados.

### Análisis químico

Sobre las muestras N y NC, se realizaron análisis químicos completos.

Para la totalidad de las muestras (N, NC, T, TC) se efectúa la determinación de contenido de cenizas a a 575 +/- 25°C de acuerdo a ASTM E 1755-01 “Standard Test method for Ash in Biomass” y posteriormente a 900 +/- 25°C de acuerdo a TAPPI T413 om-02 y la determinación de solubilidad en NaOH, agua fría y caliente, de acuerdo a norma TAPPI T 212 -om93 y la norma ASTM D 1110. Para los análisis las muestras fueron preparadas de acuerdo lo establecido en la norma ASTM E 1757-01 “Preparación de biomasa para análisis composicional, Método A.

### Moldeo de probetas

El moldeo de las probetas se realiza de manera manual y se desarrolla el mismo procedimiento para mezclas realizadas con muestras naturales o tratadas. En primer lugar, se disuelve en agua, en un recipiente de tamaño apropiado, el CaCl<sub>2</sub> 2H<sub>2</sub>O, luego se incorpora el cemento y se mezcla procurando que no queden partículas sin hidratar, finalmente se agrega el residuo del desmote de algodón mezclando hasta obtener homogeneidad. La dosificación de los materiales utilizados para cada probeta se detalla en la Tabla 3.

Una vez obtenida la mezcla se procede a colocarla en capas que se apisonan manualmente en un molde de 10 cm de diámetro y aproximadamente 30 cm de alto. Luego se sitúa el molde lleno en la prensa y se aplica carga a velocidad constante hasta alcanzar los 103 kg (1,30 kg/cm<sup>2</sup>) (Fig. 2). La probeta comprimida se deja en el molde hasta cumplir como mínimo 8 horas y posteriormente se desmolda (Fig. 3) y se registra el peso, el diámetro y la altura promedio. Finalmente, la probeta se extrae y se deja secar a temperatura y humedad ambiente sin ningún tipo específico de curado hasta el momento del ensayo a compresión simple.

### Determinación de densidad

Transcurridos 28 días desde el desmolde de la probeta se determina nuevamente el peso (P), el diámetro (D) y la altura promedio (h) y se calcula la densidad (d) mediante el empleo de la fórmula (1).

$$d = \frac{4P}{\pi \cdot D^2 \cdot h} \tag{1}$$

### Determinación de resistencia

El ensayo de resistencia a compresión simple se realiza luego de cumplidos los 28 días desde el desmolde de la probeta. Una vez registradas las dimensiones necesarias para el cálculo de la densidad (P, D y h), se coloca la probeta en la prensa y se comprime a velocidad constante y en la dirección de moldeo hasta alcanzar una deformación igual al 10 % de la altura promedio determinada anteriormente (h). Se registra la carga (Pc) correspondiente y se calcula la resistencia (Rc) utilizando la fórmula (2).

$$Rc = \frac{4Pc}{\pi \cdot D^2} \tag{2}$$

Material	Peso (g)
Cascarilla	300,0
Cemento	565,5
Agua	390,0
CaCl <sub>2</sub> 2H <sub>2</sub> O	22,5

Tabla 3: Dosificación de mezcla para moldeo de probetas.



Fig. 2: Compresión en prensa.

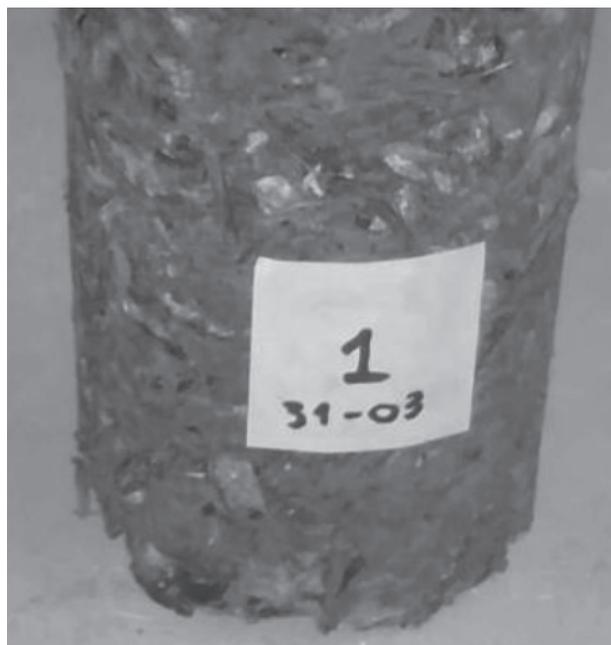


Fig. 3: Probeta desmoldada.

Pasante	NC	N
Pasante T. N°4 (%)	73,33	4,15
Pasante T. N°20 (%)	47,60	2,22
Pasante T. N°80 (%)	12,16	1,18

Tabla 4: Material pasante en tamices.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Tamizados

En la Tabla 4, se presentan los resultados del tamizado de las muestras NC y N, a partir de los cuales se puede observar que las primeras presentan más del 70 % de las partículas con tamaños menores a 4,75 mm (tamiz N° 4). En cuanto a las muestras N, estas tienen preponderancia de partículas mayores a 4,75 mm, respecto del resto de los tamaños analizados, siendo el retenido en dicho tamiz superior al 90 %.

Con respecto al contenido de finos (pasante tamiz Nro. 80) se observa que la presencia de estos compo-

nentes es más significativa en las muestras NC, alcanzando el 12,16 % (en promedio), frente al 1,18 % en promedio de las muestras N.

Finalmente, en la Figura 4, se puede notar que la distribución de tamaños de partículas de las muestras NC es relativamente homogénea, en contraposición a la de N, que presenta un amplio porcentaje de partículas gruesas (mayores a 4,75 mm).

Estas granulometrías están condicionadas principalmente por el tipo de equipamiento de desmote con que se cuente.

### Análisis químicos

Los porcentajes de los componentes químicos del residuo algodonero “cascarilla” varían no sólo según la desmotadora de procedencia sino también con la zona de cultivo y tipo de tratamiento durante el crecimiento de la planta. La variación de las muestras originales procedentes de dos desmotadoras distintas, denominadas NC y N, muestran diferencias en los porcentajes de las fracciones 20/80 y pasa 80, que se producen luego de una molienda, lo cual se detalla en la Tabla 5.

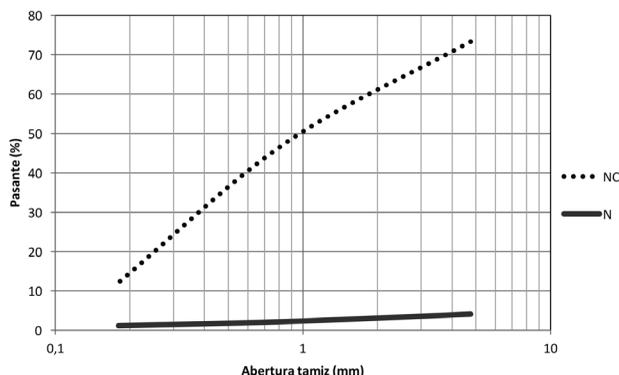


Fig. 4: Granulometría de muestras NC y N.

De acuerdo a la Norma ASTM E 1757-01 el análisis sumativo se realiza considerando el resultado de la

determinación de cenizas (fracción pasa 80) y de las determinaciones de extractivos, lignina total y holocelulosa (fracción 20/80). Análisis sumativo es la suma de los resultados de las determinaciones realizadas. El resultado debe ser cercano a 100 %, a menos que se produzcan, por ejemplo, algunos solapamientos en los análisis.

Como se observa en la Tabla 6, el resultado del análisis sumativo para la muestra NC es 115,88 %, superando el 100 ± 5 %, posiblemente debido a que en esta muestra la fracción pasa 80 es el 46,21 % del total y contiene alto porcentaje de cenizas, en tanto que la fracción 20/80 del 53,79 % resulta con un alto valor de lignina total.

Analizando los resultados de las determinaciones de solubles se concluye que tanto para los solubles en agua fría como para los solubles en agua caliente, los valores de las cascarillas originales (N y NC) son los más elevados. A continuación se presenta la Tabla 7 con dichos resultados.

Fracción	Muestra NC (%)	Muestra N (%)
20/80	53,79	62,35
Pasa 80	46,21	37,65

Tabla 5: Variación de las muestras originales.

	NC (%)	N (%)
Cenizas a 575°C *	28,50	10,70
Extractivos	6,28	5,68
Lignina Total	32,13	25,53
Holocelulosa	48,97	54,53
SUMATIVO	115,88	96,24

\* Determinada sobre fracción pasa 80

Tabla 6: Composición química de las muestras naturales.

Muestras	NC (%)	TC (%)	N (%)	T (%)
Solubles en NaOH 1%	48,09	38,26	45,96	37,46
Solubles Agua Fría corregida	12,72	8,33	11,94	7,40
Solubles Agua Caliente corregida	14,47	4,86	16,10	4,99

Tabla 7: Porcentajes de Solubles en Aserrín 20/80.

Las soluciones alcalinas extraen carbohidratos de bajo peso molecular principalmente hemicelulosas y celulosas degradadas. En las cascarillas tratadas con cal (T y TC) se comprueba que la alcalinidad del tratamiento ha disuelto carbohidratos de bajo peso molecular.

En los residuos sólidos de los solubles en agua fría y caliente se cuantifica el porcentaje de cenizas, los valores de las mismas aumentan considerablemente en las muestras tratadas con cal (T y TC).

Los resultados de los solubles se corrigen por sus respectivas cenizas residuales, llegando a la conclusión de que, tanto para solubles en agua fría como para solubles en agua caliente, los valores de la cascarilla original (N y NC) son los más elevados. Esto demuestra que los tratamientos aplicados al residuo algodónero solubilizan algunos compuestos. Dicha solubilización favorece el fraguado del cemento y mejoraría la resistencia de los elementos moldeados.

### Densidad y resistencia

Los resultados obtenidos luego del moldeo y ensayo a compresión simple de probetas, empleando las diferentes muestras (naturales y tratadas), se resumen en la Tabla 8.

Luego del análisis de datos se puede concluir que las probetas correspondientes a las muestras tratadas con cal (TC y T) presentan una densidad promedio mayor debido a que el volumen de la mezcla resulta ligeramente menor, lo cual puede atribuirse a la diso-

lución de diferentes compuestos durante el tratamiento y un cambio en la rigidez de las partículas.

A su vez, las probetas realizadas con las muestras de cascarilla N y T (correspondientes a la misma desmotadora) alcanzan densidades promedio menores a las restantes (NC y TC), ya que dichas muestras poseen un porcentaje elevado de partículas gruesas, lo cual incrementa el volumen de la mezcla final del aglomerado.

En la Figura 5 se puede observar el resumen de resultados.

Los valores promedio superiores de resistencia a compresión simple, que se observan en la tabla precedente, se obtienen para las probetas realizadas con las muestras tratadas (TC y T), confirmando que la solubilización de ciertos compuestos favorece el fraguado del cemento y mejora la resistencia de los elementos moldeados, validando así los resultados obtenidos en el análisis químico.

No obstante, es apreciable la diferencia en los valores de resistencia promedio para probetas realizadas con muestras provenientes de la misma

Muestra	Densidad promedio (g/cm <sup>3</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
NC	0,798	10,58
N	0,770	12,79
TC	0,872	13,33
T	0,842	20,92

Tabla 8: Densidad y resistencia de mezcla.

desmotadora, en el caso de las muestras NC y TC los resultados difieren en 2,75 (kg/cm<sup>2</sup>) y con respecto a las muestras N y T la diferencia es superior, alcanzando los 8,13 (kg/cm<sup>2</sup>). Esto último puede relacionarse al hecho de que el cambio de contenido de solubles en las muestras N y T resulta mayor que dicho cambio entre las muestras NC y TC.

En la Figura 6 se pueden observar el resumen de resultados de resistencia a compresión.

### CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en la investigación, se puede concluir que los tratamientos aplicados al residuo de desmote de algodón solubilizan algunos compuestos y dicho proceso favorece el fraguado del cemento y mejora la resistencia a compresión de los elementos moldeados.

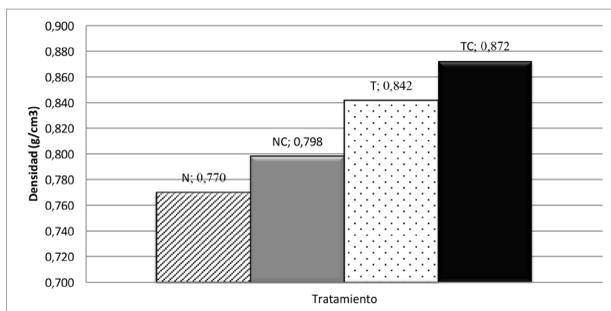


Fig. 5: Densidad de mezclas con muestras naturales y tratadas.

También se puede concluir que las probetas correspondientes a las muestras tratadas con cal presentan una densidad promedio mayor, lo cual puede atribuirse a la disolución de diferentes compuestos durante el tratamiento y un cambio en la rigidez de las partículas.

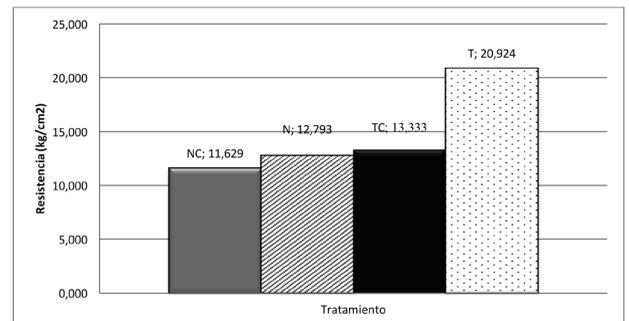


Fig. 6: Resistencia de probetas con muestras naturales y tratadas.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias a la colaboración de la desmotadora de algodón ACRIBA S.A. de Villa Minetti (Santa Fe – Argentina), al financiamiento de la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado de la Universidad Tecnológica Nacional y al trabajo conjunto realizado con el Instituto de Tecnología Celulósica de la Universidad Nacional del Litoral y a la Estación Experimental Agropecuaria Roque Saenz Peña del INTA.

## REFERENCIAS

ArgenBio. Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología, "Cuaderno N° 44. Los cultivos transgénicos en Argentina y sus derivados" - <http://porquebiotecnologia.com.ar/> (2016).

Diario UNO\_Santa Fe- Argentina. Edición 26 de abril 2006

"Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda 2001". <http://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/view/full/22838> (2001).

"Cuadro V3. Total de país. Viviendas particulares por material predominante de los pisos, según material predominante de la cubierta exterior del techo y presencia de cielorraso. Año 2010" disponible Online en: [http://www.censo2010.indec.gov.ar/resultadosdefinitivos\\_totalpais.asp](http://www.censo2010.indec.gov.ar/resultadosdefinitivos_totalpais.asp) (acceso: 01-05-14).

Piccioni J., Muñoz H. J., Sanchez M. A., Defagot C. A., Grether R. M., Carrasco M.F., "Masonry blocks produced from cotton gin trash", 13er Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Metalurgia y Materiales (SAM CONAMET 2013) y Simposio Internacional sobre mate-

riales lignocelulósicos, Puerto Iguazú, Argentina, (2013)  
Piccioni J., Muñoz H.J., Sánchez M.A., Gordo J.P., Gonzalez A.A., Carrasco M.F., "Composites based on cotton gin waste and cement for housing construction", 14th International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies (14thNOCMAT 2013), João Pessoa, Paraíba (Brasil), (2013).

E. Delssin, "Tendencias algodonerías en Argentina", INTA Centro Reg. Chaco", Formosa (Argentina), (2012).

Neville, A.M., J.J. Brooks. "Tecnología del concreto"; Trillas, México, (1998).

Simatupang, M. H.; Lange, H.; Kasim, A.; Seddig, N., "Influence of wood species on the setting of cement and gypsum", International Conference of fiber and particleboard bonded with inorganic binder, Spokane, USA, v. 1, p. 33-42 (1988).

Beraldo, L., Ballerini, A. "Compuesto de residuos de pinus radiata y cemento portland", Revista Madeira Arquitectura & Engenharia, Año 8 (21), (2007)