

## **RECUPERACIÓN DE RESIDUOS DE ENVASES TETRA BRIC® Y SU POSIBLE APROVECHAMIENTO EN LA PREPARACIÓN DE TABLEROS DE AGLOMERADOS EN VENEZUELA**

REBECA SÁNCHEZ, VÍCTOR OSECHAS, GABRIEL ESTRELLA, SONIA CAMERO, RONALD TORRES

Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería. e-mail: rebecaucv@gmail.com

Recibido: mayo de 2010

Recibido en forma final revisado: julio de 2010

### **RESUMEN**

En este trabajo se desarrolla un método simplificado para la elaboración de tableros a partir del Tetra Bric® recuperado de los residuos sólidos de origen doméstico. Una vez identificado el potencial de aprovechamiento del Tetra Bric® en un sector del Área Metropolitana de Caracas mediante la cuantificación de las tasas de generación de residuos y su composición en las diversos estratos sociales que lo conforman, se procedió a diseñar el esquema productivo, preparación del material que se va a procesar y a la elaboración del tablero. La caracterización del material a procesar se realizó usando técnicas de microscopía electrónica. Para la evaluación del tablero obtenido, además de las pruebas cualitativas: apariencia, consistencia y facilidad de corte con diversos medios, se determinó la densidad, contenido de humedad, absorción de agua y estabilidad dimensional del tablero por inmersión total a 2 y 24 horas, así como el esfuerzo paralelo a la superficie. Los resultados muestran que mediante el procedimiento desarrollado se obtiene un material con propiedades similares a los tableros compuestos comerciales, requiriéndose un acabado superficial para garantizar su estabilidad ante la humedad.

*Palabras clave:* Recuperación de Tetra Bric®, Residuos sólidos domésticos, Tableros aglomerados.

## **RECOVERY OF TETRA BRIC® PACKAGING WASTE AND ITS POSSIBLE USE IN THE MANUFACTURING OF AGGLOMERATE PANELS IN VENEZUELA**

### **ABSTRACT**

In this paper a simplified method for the manufacturing of boards from Tetra Bric® recovered from household solid waste was developed. Once the recovery potential of the Tetra Bric® was identified in a sector of the Caracas metropolitan area through the quantification of the rates of waste generation and its composition in the social strata (high, medium, and low), we were proceeded to design the production scheme, the preparation of materials for the process and the preparation of the board. The characterization of materials to process was performed using electron microscopy techniques. For the evaluation of the boards obtained, qualitative parameters were determined: appearance, consistency, and ease of cutting with various tools, and quantitative parameters: density, content of moisture, water absorption and dimensional stability of the panels after submersion in water for 2 and 24 h, as well as the tension parallel to the surface. The results show that through the developed procedure, it is feasible to obtain composite panels with properties similar to commercial panels requiring a surface finish to ensure its stability against moisture.

*Keywords:* Recovery of Tetra Bric®, Household solid waste, Agglomerated boards.

### **INTRODUCCIÓN**

En Venezuela, se generan en el orden de 25 ton/día de residuos sólidos, cuyo manejo y disposición representa un potencial de impacto ambiental considerable, concentrado en las ciudades más importantes del país, las cuales abarcan el 70% de la población total, estimada en 28,8 millones de habitante (Nava, 2008). Esta situación obliga a desarrollar y/o adaptar tecnologías orientadas al aprovechamiento de

los materiales presentes, especialmente aquellos que por su naturaleza no biodegradable, constituyen una mayor amenaza ambiental.

Uno de los materiales que está causando mayor preocupación ambiental es el Tetra Bric®, utilizado en el envasado de larga duración de alimentos y de otros productos de consumo masivo. La incorporación de este material a los desechos generados en el 2004, se estimó en 350 ton/año

con clara tendencia al alza (Zue, 2007). Para el año 2007, según cifras de Tetra Pak, se comercializaron en el orden de 40.000 t. Estos valores hacen suponer que significativas cantidades de estos materiales se convierten en residuos, razón por la cual se están realizando esfuerzos para lograr su aprovechamiento.

Una de las aplicaciones más desarrolladas en la industria del reciclaje de este material, es el repulpado del Tetra Bric<sup>®</sup>, para la recuperación de la fibra celulósica del material de envase y posterior fabricación del cartón gris, así como la elaboración de tableros de aglomerados con el residuo de este proceso, conformado por polietileno, aluminio y restos de fibra de cartón (Núñez, 2005; Inche *et al.* 2003). Estos tableros son utilizados en la manufactura de productos terminados para el sector de la construcción y mueblería, como sustituto de la madera sólida. Sin embargo para asegurar la viabilidad del proceso, las plantas existentes operan con cargas superiores a las 200 t/mes (Tetra Pak, s/f), utilizando tecnología especializada no disponible en el país.

Con el propósito de ofrecer opciones de aprovechamiento del Tetra Bric<sup>®</sup> que se puedan implantar fácilmente en el país, en este trabajo se propone desarrollar un método lo más simplificado posible, para la fabricación de tableros de aglomerados del material recuperado de los residuos sólidos de origen doméstico, así como una estrategia para su caracterización a fin de determinar su posible uso en la industria de la construcción. Ello con la perspectiva de que el aprovechamiento pueda llevarse a cabo a pequeña escala y con inversiones de bajo monto, accesibles a microempresarios de las diferentes localidades del país.

Este trabajo, enmarcado en la línea de investigación de aprovechamiento de residuos sólidos que adelanta la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, constituye uno de los resultados de la presente investigación desarrollada en el marco del proyecto “Desarrollo y caracterización del tableros aglomerado fabricado a partir del reciclado de los cartones de larga duración Tetra Bric<sup>®</sup>”, financiado por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela–CDCH.

## METODOLOGÍA

Para lograr los objetivos propuestos se desarrollaron las siguientes actividades:

Estimación del potencial de aprovechamiento del Tetra Bric<sup>®</sup> a partir de los residuos sólidos de origen doméstico: Para cubrir esta etapa se seleccionó un sector del Área Metropolitana de Caracas: San Bernardino – Parroquia San Bernardino. Los criterios de selección fueron: posibilidades

de acceso, seguridad para los investigadores y que abarcara los estratos sociales alto, medio y bajo, esto último a fin de asegurar que la información obtenida fuera extrapolable a otras regiones del país. El instrumento utilizado para el levantamiento de la información fue la aplicación de una encuesta, complementada con entrevistas no estructuradas y mediciones de campo. Los parámetros en los cuales se hizo mayor énfasis fueron: identificación y cuantificación de los residuos reciclables secos generados en la actividad residencial y comercial según estrato social, así como la identificación y análisis de los factores que condicionan la participación del generador en su recuperación y reciclaje: disposición y posibilidades para participar en estos programas y condiciones exigidas para ello.

Para las mediciones de campo se seleccionaron aleatoriamente un total de 90 residencias distribuidas en partes iguales entre los tres (3) estratos socioeconómicos señalados. En cada residencia se realizó una breve inducción para que participaran en el estudio y se entregaron bolsas para que realizaran la separación de los residuos. Se pesaron el total de residuos generados y sus constituyentes durante un periodo de siete días consecutivos. Este proceso se llevo a cabo en el marco del trabajo realizado por Funes & Rodríguez, 2008.

Preparación de los tableros a partir de residuos de Tetra Bric<sup>®</sup>: Este proceso desarrollado por Osechas, 2010, abarcó las fases: diseño del esquema productivo, preparación del material que procesar y elaboración del tablero propiamente dicho. Ante la carencia de una prensa termoeléctrica para la conformación del tablero, equipo utilizado en las experiencias existentes, se decidió probar un nuevo esquema que consistió en preparación de la materia prima, precalentamiento, calentamiento a temperatura sostenida e inmediato prensado en equipo convencional. La preparación del material consistió en lavado de recipientes recuperados, cortado en destructora de papel (Ofitech 2310 cc), en tiras de 50 x 5 mm. Para la elaboración del tablero se utilizó un molde especialmente construido en acero, conformado por piezas independientes: base, caja y tapa con adaptador universal al embolo de la prensa. Se realizaron una serie de pruebas previas a fin de establecer la cantidad de residuo a procesar, temperatura y tiempo de calentamiento, así como presión aplicada para el prensado. Fue así como se determinó que para preparar tableros cuyas dimensiones son: 40 cm x 40 cm de base y 1 cm de espesor, se utilizan 1,5 Kg de material cortado. El molde metálico cargado con el material se colocó en un horno eléctrico precalentado a 100°C, se ajustó la temperatura del horno eléctrico (Precision Sciencientific Co) a 180°C y una vez alcanzada esta temperatura se calentó durante 50 min. El molde se pasó inmediatamente a una prensa hidráulica (Baldwin, 200 ton), donde se aplicó

una carga de 15 toneladas (esfuerzo promedio de 9.4 kg/cm<sup>2</sup>) durante un lapso de 15 min. Posteriormente se retiró la carga y se procedió al desmolde obteniéndose el tablero deseado.

Caracterización del material a ser utilizado en la preparación del tablero, así como evaluación preliminar del material obtenido: Teniendo en cuenta que uno de los factores determinantes para evaluar la viabilidad de cualquier propuesta de esta naturaleza es el conocimiento de las características y propiedades del material que se va a procesar, se propuso utilizar las técnicas de microanálisis asociadas a la microscopía electrónica de barrido, las cuales constituyen una valiosa herramienta para profundizar en el conocimiento de la caracterización microestructural, no sólo del material originario sino también de la diversidad de productos que se puedan elaborar a partir de ellos (Ollila *et al.* 2006; Khatwa *et al.* 2005).

En este caso, los envases usados, cortados en forma de tiras se compactaron en una embudadora convencional. Las muestras así procesadas fueron caracterizadas utilizando un Microscopio Electrónico de Barrido (M.E.B.) (20 kV) marca Hitachi, modelo S-2400 y un Espectrómetro de Rayos X por Dispersión en la Energía (E.D.S). Todas las muestras fueron previamente recubiertas con platino-paladio (Pt-Pd), utilizando un Metalizador Iónico marca Hitachi.

Para la evaluación del tablero obtenido, además de las pruebas cualitativas: apariencia, consistencia y facilidad de corte con diversos medios, se realizaron los ensayos señalados a continuación, según la Norma Venezolana COVENIN 847-91: Tableros de Partículas 1ª Revisión, basada a su vez en la Norma ANSI/ASTM D1037 -78 Métodos Estándar para la Evaluación de las Propiedades de la Madera - Base Fibra y Paneles de Materiales Particulados. Los procedimientos a los que se hace referencia son:

Densidad: determina la relación entre la masa de la probeta, expresada en gramos (g) y su volumen, en cm<sup>3</sup>, bajo las mismas condiciones de humedad y temperatura (COVENIN 847-91).

Contenido de Humedad: determina la cantidad de agua presente en el tablero, expresada en porcentaje (COVENIN 847-91).

Absorción de agua y estabilidad dimensional del tablero por inmersión total: determina el hinchamiento o incremento de las dimensiones del material cuando son sometidos a absorción de agua, entendida como la cantidad de agua tomada por las probetas cuando son sumergidas en agua. Los periodos de inmersión fueron 2 y 24 horas (COVENIN

847-91).

Esfuerzo paralelo a la superficie: permite determinar el esfuerzo máximo que soporta, aplicado en el sentido paralelo a la superficie (COVENIN 847-91).

## RESULTADOS

La distribución porcentual de constituyentes en los residuos sólidos domésticos se resume en la tabla 1. Destaca que las mayores tasas de generación de los materiales reciclables secos corresponden al sector medio, predominando el vidrio, plástico y papel (0,20; 0,13 y 0,20 kg/p.d, respectivamente). También es en este sector donde se obtuvo el mayor aporte de Tetra Bric<sup>®</sup>, (0,08 kg/p.d). Ello refleja los hábitos de quienes conforman este sector, como son: adquisición de insumos en envases resistentes y con buenas posibilidades para conservar los productos, especialmente los alimenticios y lectores asiduos a publicaciones impresas como fuente informativa del acontecer nacional.

Aun cuando estos resultados pudieran resultar atractivos, es imprescindible considerar otros factores donde destaca la disposición de los generadores a participar en programas de esta naturaleza. Los resultados de la consulta al respecto señalan que, aun cuando la totalidad de las personas consultadas manifestaron su acuerdo con la implantación de programas para la separación, a medida que mejora el nivel socioeconómico de los ciudadanos, tal disposición disminuye aunque en ningún caso es menor al 70%.

**Tabla 1.** Distribución porcentual de principales constituyentes en los desechos sólidos de origen doméstico.

Constituyente	Estrato social		
	Alto (%)	Medio (%)	Bajo (%)
<b>Tetra Bric®</b>	1.19	2.91	0,12
<b>Aluminio</b>	2.54	3.50	1.45
<b>Vidrio</b>	6.53	7.28	9.15
<b>Plástico</b>	2.05	4.75	5.42
<b>Papel</b>	1.32	7.53	0.26
<b>Cartón</b>	1.56	0.38	0.70
<b>Orgánicos putrescibles y otros</b>	84.74	73.62	82.90
<b>Tasa de generación (kg/persona.d)</b>	1.75	2.72	2.03

Fuente: elaboración propia a partir de datos generados por Funes & Rodríguez, 2008

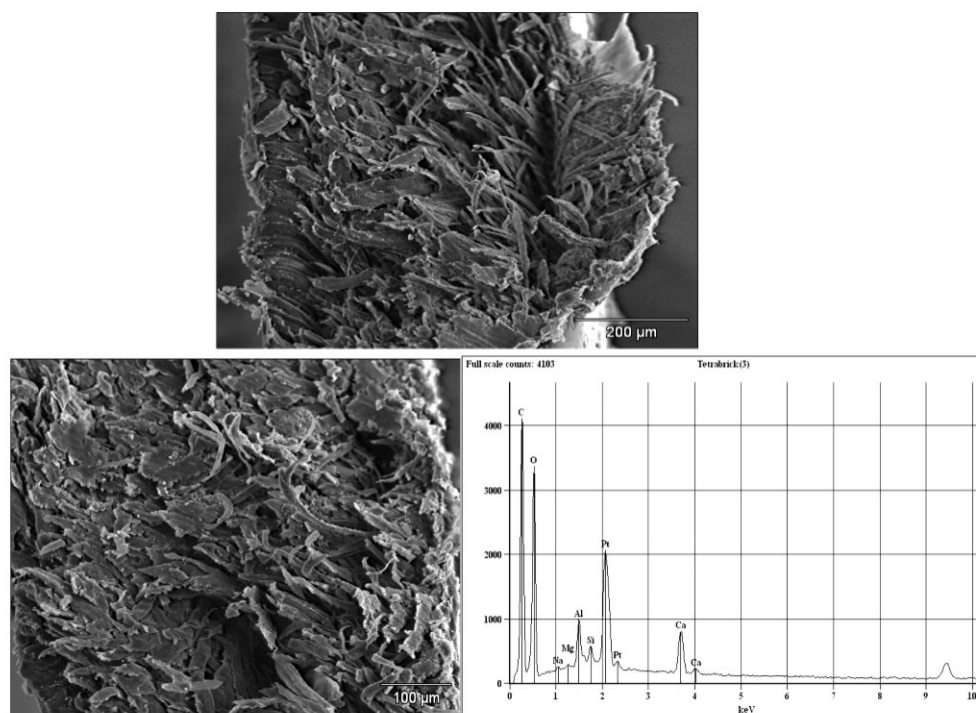
Al consultar sobre la modalidad de participación (individual, familiar, colectiva u otra) en los sectores de medianos y bajos recursos, más del 75% prefieren el colectivo, mientras que los de estrato social alto prefieren hacerlo a nivel familiar en su propia vivienda. Aun cuando se identificó buena disposición (>60%) a la preparación de los materiales una vez separados, a medida que aumenta el nivel socioeconómico, esa disposición también es menor. Cuando se les consulta sobre el tiempo durante el cual estarían dispuestos a almacenar los materiales separados, la respuesta fue similar en los tres estratos. Aproximadamente la mitad no están dispuestos a acumularlos por más de un día y el resto (entre 43% y 59%) no más de una semana, esgrimiendo la falta de espacio y posible deterioro de condiciones sanitarias como la razón para esta actitud. Al plantear las posibilidades de conformar o participar en algún tipo de organización dedicada a la actividad de recuperación, la disposición disminuyó drásticamente a medida que mejora el nivel socioeconómico (estrato bajo, 83%, medio, 56,7% y alto 26,7%). La disponibilidad de tiempo y necesidad de trabajo estable fueron las principales razones para ello.

En cuanto a su disposición a pago adicional por recolección de materiales separados, en términos generales fue afirmativa, sin embargo los estratos medios y bajos fueron donde se encontró mayor resistencia. En todos los casos hubo buena aceptación a la ubicación de contenedores para la colocación voluntaria de residuos separados (siempre mayor al 87%), sin embargo rechazaron absolutamente, la colocación de contenedores para los residuos mezclados.

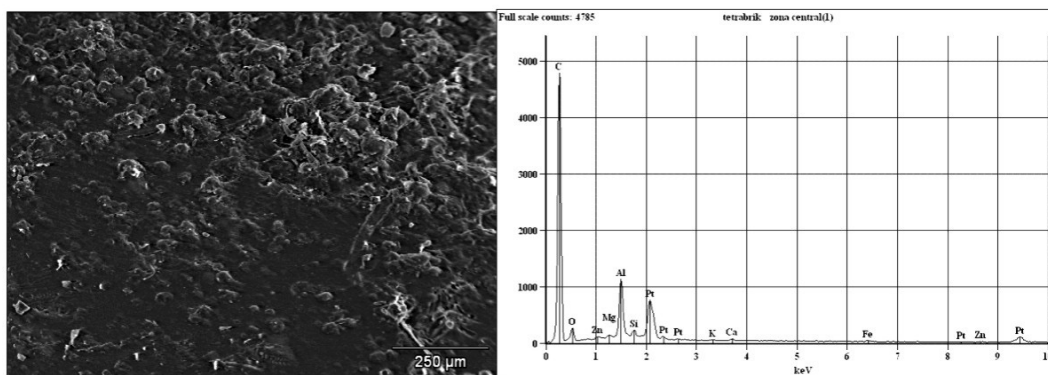
Estos datos sugiere que si se piensa en recuperación del Tetra Bric® a nivel doméstico, se promueva la separación en el origen abordando en primer lugar a los ciudadanos de los sectores medios, quienes por lo general conforman el grupo más numeroso y generan alta diversidad de materiales aprovechables en proporciones que pueden asegurar la

sustentabilidad de la propuesta.

Una vez identificado el potencial de generación del material de envase, se procedió a su análisis utilizando técnicas de M.E.B. a muestras cortadas en forma de tiras. Los resultados obtenidos corroboran la estructura típica de un material compuesto, constituido por una zona fibrosa rica en Carbono adosada a una capa muy fina de Aluminio, con la presencia de otros elementos tales como: Calcio, Silicio, Magnesio y Sodio, entre otros, asociados al líquido envasado, como lo indica el microanálisis químico por E.D.S. (figura 1). El material embutido (zona central) se presenta estructurado más compacto y homogéneo, con una combinación de los elementos químicos mencionados, como se ilustra en la figura 2.



**Figura 1.** Fotomicrografías por M.E.B. de una muestra de Tetra Bric® constituida por una zona fibrosa rica en C adosada a una capa fina de Al y otros elementos como: Ca, Si, Mg y Na, como lo indica el microanálisis químico por E.D.S.



**Figura 2.** Fotomicrografía por M.E.B. de una muestra de Tetra Bric® embutida, constituida por fibras compactadas y homogéneas, ricas en C y otros elementos como: Al, Si, Mg, Ca, como lo indica el microanálisis químico por E.D.S.

Esto sugiere que las condiciones de procesamiento (carga y temperatura) son suficientes para lograr que el material plástico, calificado como termoplástico con temperaturas de fusión relativamente bajas, menores a 300°C, pueda fluir con facilidad y actuar como adherente entre las partículas que conforman el tablero.

Estos resultados que pueden considerarse preliminares, confirman la factibilidad de aprovechar el Tetra Bric® en la fabricación de tableros compactados térmicamente. La homogeneidad observada aportada por el contenido de material polimérico presente, sugieren impermeabilidad del producto que unidas a su facilidad para corte, permite infe-

rir que el tablero obtenido mediante corte prensado y calentado en fases separadas puede ser una opción viable para el aprovechamiento de estos residuos.

Apoyados en los resultados anteriores se planteó y desarrolló el proceso descrito en la sección anterior, obteniéndose tableros de dimensiones 40cm x 40cm de base x 1cm de espesor con buena apariencia, consistencia y acabado superficial aceptable, así como fácil de cortar con herramientas convencionales (caladoras, sierra manual y serrucho).

Los resultados obtenidos en la caracterización preliminar del tablero elaborado se muestran en la tabla 2.



**Tabla 2.** Algunas características del tablero elaborado.

Característica	Resultado ( 5 réplicas)	Promedio
Densidad	0,58 – 0,67 g/cm <sup>3</sup>	0,63 g/cm <sup>3</sup>
Contenido de humedad	7,32 – 7,51%	7,50%
Absorción de agua a 24 horas	37,52 – 49,03%	46,26%
Estabilidad dimensional a 24 horas	Largo : 0,64 – 2,04% Ancho: 0,00 – 1,32% Espesor: 24,24 – 26,49%	1,2% 0,52% 24,98%
Esfuerzo paralelo a la superficie	51,28 – 63,91 kg/cm <sup>2</sup>	59,19 kg/cm <sup>2</sup>

El material es sensible a la absorción de agua, sin embargo, en los resultados se observa que es afectado en el espesor. Este comportamiento refleja estabilidad longitudinal y transversal por la forma de colocación de la fibra.

De los resultados se concluye que debe incorporarse a la mezcla, un material de sellado tendiente a mejorar la estabilidad del tableros.

En las condiciones actuales es un material con propiedades similares a los tableros compuestos comerciales, requiriéndose un acabado superficial para garantizar su estabilidad ante la humedad. Entre las aplicaciones que se podrían vislumbrar se encuentran, entre otros: tabiques divisorios de oficina, muebles de uso general de oficina, muebles del hogar, láminas livianas para techos falsos y tableros de uso general.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El sector poblacional que ofrece mejores oportunidades para la posible implantación de proyectos orientados a la recuperación y aprovechamiento del Tetra Bric® es el medio, por presentar la mayor proporción de este constituyente (2,91%) asociada a una tasa de generación de residuos de 2,72 kg/persona por día.
- El método desarrollado para la preparación de los tableros, así como para la caracterización morfológica y composición química elemental del material recuperado, permitió mediante un proceso sencillo, obtener un producto que, con la aplicación de un agente impermeabilizante en su superficie, tiene amplias posibilidades de aplicación como tabiques divisorios de oficina, muebles del hogar, láminas livianas para techos falsos y tableros de uso general.
- Se recomienda mejorar la mezcla a fin de lograr la impermeabilidad de la superficie del producto, continuar con la

evaluación de otras propiedades mecánicas que permitan evaluar con más detalle las posibles aplicaciones del material preparado, así como evaluar la viabilidad técnica, económica, ambiental y social de esta propuesta.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiese sido posible sin el apoyo financiero del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela, CDCH-UCV para el Proyecto de Grupo PG08-00-6621-2006, así como el apoyo técnico del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales –IMME de la Facultad de Ingeniería– UCV.

## REFERENCIAS

- AMERICAN NATIONAL STANDARD ANSI/ASTM D 1037-78. Standard methods of Evaluating the Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials. pp 299-341.
- FUNES, V., RODRÍGUEZ, R., SÁNCHEZ, R. (2008). Potencial de recuperación del Tetra Bric® presente en residuos sólidos municipales de un Sector de San Bernardino – Parroquia San Bernardino, Caracas, Venezuela. Libro de Memorias de las Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería – JIFI 2008.
- INCHE, J., CHUNG, A., DEL CARPIO, J., YENGUE, J., RÁEZ, L., MAVILA, D. (2003). Diseño y Desarrollo de un prototipo a partir de Envases reciclados. Diseño y Tecnología Industrial. Vol 6, N°2 pp 7-11.
- KHATWA, M., ABOU, HG., SALEM AND S.M. HAGGAR. (2005). Building Material from Waste, Canadian Metallurgical Quarterly 44, N°3 pp 339-349.
- NAVA, M.F. (2008). Implicaciones ambientales derivadas del manejo de los desechos sólidos en Venezuela,

- Facultad de Humanidades y Educación, Universidad Central de Venezuela. Caracas. 168 pp.
- NORMA VENEZOLANA COVENIN 847-91 (1991). Tableros de Partículas (1ª Revisión). 32 pp.
- NÚÑEZ, M. (2005). El envase de cartón laminado tipo Tetra Brik®: un problema ambiental y sus posibilidades de aprovechamiento. Trabajo de Grado de Maestría, especialidad Medio Ambiente y Desarrollo Integrado. Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo - CIIEMAD, México D.F. 116 pp.
- OLLILA, H.J., MOILANEN, A, TIAINEM, M.S., LAITINEN, R.S. (2006). SEM-EDS Characterization of inorganic material in refuse-derived fuels, Fuel 85(2006) pp. 2586-2592.
- OSECHAS, V. (2010). Elaboración y caracterización de tableros de aglomerados a partir de residuos de envases Tetra Bric®. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela – En desarrollo.
- TETRA PK (S/F). Caso de sostenibilidad en el manejo de residuos de Tetra Pak, Colombia. Reciclaje envases de Tetra Pak. Documento en línea [www.wbcsd.org/web/.../caso\\_sostenibilidad\\_ambiental\\_t.pdf](http://www.wbcsd.org/web/.../caso_sostenibilidad_ambiental_t.pdf). Consultado 23 de marzo de 2010.
- ZUE, R. (2007). Estudio de factibilidad técnico-económica para la instalación de una planta de reciclaje de envases Tetra Pak. Facultad de Ingeniería Universidad Técnica del Valle del Mombayo Venezuela, 43 pp.