

Thermal insulation produced from rice husk agglomerated using starch produced by *saccharomyces cerevisiae*

Aislamiento térmico producido a partir de cascarilla de arroz aglomerada utilizando almidón producido con *saccharomyces cerevisiae*

Jaime Gutiérrez M.D. ^a, Carolina Cadena ^b & Antonio Bula ^c

^a M.Sc CORE Biotechnology-Bioengineering Barranquilla, Colombia jgutierrez@bybcore.com

^b Ing. CORE Biotechnology-Bioengineering Barranquilla, Colombia

^c Ph.D., Departamento de Ingeniería Mecánica Universidad del Norte, Colombia. abula@uinorte.edu.co

Received: February 22th, 2013. Received in revised form: November 08th, 2013. Accepted: December 02th, 2013

Abstract

Rice husk was agglomerated using different starch in order to obtain a required physical stability, with no effect in the thermal insulation properties. A process was developed using *Saccharomyces Cerevisiae* to produce the interior cavities in the agglomerate. The material was subjected to heating, loading, and to the ASTM C 177 test to evaluate the thermal conductivity. The tests showed that the material supports direct fire without producing any flame, it has an ultimate strength of 80 – 120 kPa when tested at temperatures ranging between 150 – 200 °C. The thermal conductivity was found close to 0.09 W/m.K. At outdoor conditions (Dry bulb temperature: 30°C ± 5°C, Relative humidity: 80% ± 15%) the material was not attacked by natural fungus. The material can be recycled easily by nature, dissolving in the presence of water. These properties showed that the rice husk base agglomerated is an efficient thermal insulation, with an acceptable physical and chemical stability, suitable for engineering applications and environmental friendly.

Keywords: thermal insulation, natural resources, ecological materials, industrial bioprocesses, *S. Cerevisiae*.

Resumen

Se aglomeró cascarilla de arroz usando almidones con el fin de obtener un material con estabilidad física adecuada, sin afectar su capacidad aislante. Para esto, se desarrolló un proceso que integró *Saccharomyces Cerevisiae* (SC) como elemento productor de porosidades en el material. Posteriormente se sometieron las probetas a pruebas de resistencia al calor, flexión y finalmente a la norma ASTM C 177, para evaluar su conductividad térmica. De esta forma, se encontró que el aglomerado al ser sometido a fuego directo no produce llama (ignífugo), tiene una resistencia a la rotura entre 80 – 120 kPa al ser sometido a temperaturas entre 150 y 200 °C, la conductividad térmica del aglomerado se encuentra alrededor de 0,09 W/m.K. El aglomerado se dejó a la intemperie (Temperatura de bulbo seco: 30°C ± 5°C, Humedad relativa: 80% ± 15%), donde su estabilidad química se aprecia al no ser atacado por hongos, y su biodegradabilidad se manifiesta al ser disuelto por agua. Estos valores muestran que el aglomerado a base de cascarilla de arroz es un aislante térmico eficiente, con una estabilidad física y química adecuada para aplicaciones civiles.

Palabras Claves: aislamientos térmicos, recursos naturales, materiales ecológicos, bioprosesos industriales, *S. Cerevisiae*.

1.Introducción

Las propiedades termoaislantes de la cascarilla de arroz han venido siendo utilizadas de manera artesanal desde hace mucho tiempo [1-3]. Debido a ello, se han generado iniciativas encaminadas a aprovechar ésta propiedad natural en el desarrollo de nuevos materiales con aplicaciones industriales, que sin embargo han buscado aligerar el peso de los materiales de construcción antes de convertirse en materiales aislantes. Este trabajo presenta los resultados obtenidos al incorporar elementos biometabólicos al proceso de fabricación de un aglomerado a base de

cascarilla de arroz para ser usado como aislamiento térmico.

Por medio de pruebas de laboratorio, fue demostrado [4] que era factible aglomerar la cascarilla de arroz con elementos naturales y subproductos agrícolas obteniendo valores competitivos de conductividad térmica, y se determinaron tres puntos de trabajo principales: (1) mejorar el desempeño de estos materiales aumentando la porosidad en su estructura, ya que los aglomerados que presentan menor densidad (mayor presencia de porosidades) fueron los de mejor desempeño en su conductividad térmica, (2) mejorar la estabilidad física de los aglomerados, ya que a pesar de ser efectivos como aislantes, tenían una limitada

estabilidad física, desintegrándose con relativa facilidad, dejando escapar cascarilla en el proceso, (3) usar almidón como adherente, ya que es adecuado para la aglomeración de fibras naturales y es biodegradable.

Con estas recomendaciones, se exploraron maneras de generar una matriz para la aglomeración de la cascarilla, que brindara mayor estabilidad física, sin perder capacidad termoaislante, y adicionalmente, buscar un método para generar porosidades en este aglomerado, manteniendo el carácter ecológico, y de bajo costo del material y su proceso de producción. Se diseñó un proceso en el que se somete una mezcla de almidones naturales y cascarilla de arroz, a la acción de una cepa de la levadura, *Saccharomyces Cerevisiae*, para aprovechar su capacidad metabólica productora de gas, con el fin de generar múltiples y diminutas burbujas (porosidades) dentro del material, que luego se lleva a secado para lograr estabilidad física.

2. Componentes del proceso

Se utilizó almidón a base de harina de trigo, el cual es un polisacárido de origen vegetal, altamente polimérico, que usualmente está compuesto por unidades lineales (Amilosa) y otras ramificadas (Amilopectina), orientadas y asociadas en una estructura reticular cristalina, insoluble en agua fría y resistente a las enzimas hidrolíticas naturales.

La Figura 1 muestra la levadura industrial (*Saccharomyces Cerevisiae*), la cual es un hongo unicelular de la clase de los *Hemiascomycetes*, parte del grupo de los Mohos, el mayor y más importante para la biotecnología. Representantes de esta clase de organismos se encuentran corrientemente en el suelo, y en este medio, puede utilizar un gran número de compuestos orgánicos diferentes para sus procesos celulares. Las levaduras son células individuales estiradas que van de 3 a 5 μm de longitud. Los hongos descomponen materia orgánica para obtener energía, y en este proceso, las levaduras especialmente, producen gas.

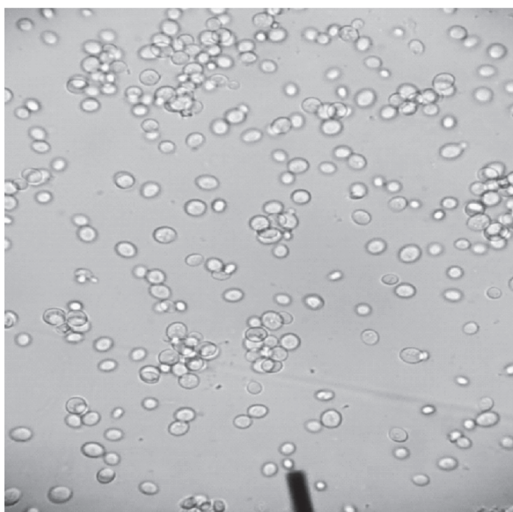


Figura 1. *Saccharomyces Cerevisiae*. Dilución 1:100 (Tomado de [5])

A pesar de que los mohos son agobios, las levaduras han desarrollado la habilidad de ser facultativas, y en ausencia

de oxígeno obtienen energía por fermentación, convirtiendo el azúcar en alcohol. Los hongos, y en especial las levaduras, pueden tolerar condiciones ambientales extremas, pudiendo vivir en climas relativamente secos, pues obtienen agua del aire. El pH óptimo para su crecimiento es generalmente 5.5, pero toleran un intervalo de 2 a 9. La temperatura óptima de crecimiento para la mayoría de los hongos es el intervalo mesofílico de 22 a 30 °C, pero existen cepas que resisten los 0 °C, y otras que crecen cómodamente a 60°C [6].

La cascarilla de arroz es el recubrimiento del grano de arroz, su tamaño oscila entre los 5 y 11 mm. Su apariencia superficial es irregular con un patrón de ranuras longitudinales (superficie 'dentada') que le confieren propiedades altamente abrasivas. La Figura 2 muestra cascarilla de arroz aglomerada para producción de bioaislantes térmicos. Esta se obtiene a través del proceso de procesamiento del grano para consumo humano, en la que es considerada un desecho. La composición química aparece en la Tabla 1.

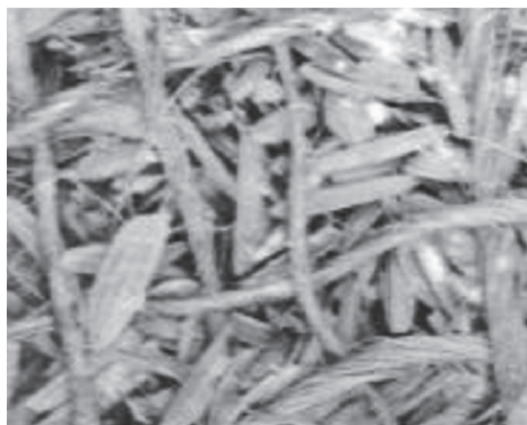


Figura 2. Cascarilla de arroz. (Tomado de [4])

Tabla 1. Composición química de la cascarilla de arroz [7]

Elemento	% en peso
Carbono	39 - 42
Oxígeno	32 - 34
Minerales	14 - 24
Hidrógeno	4 - 5
Nitrógeno	0.3 - 2

Tiene gran cantidad de poros en su interior, los cuales representan un 54% de su volumen, lo que le confiere gran capacidad termoaislante. Su coeficiente de conductividad térmica k es comparable a la del corcho granulado o lana mineral, convirtiéndola en candidata para usarla como componente de sistemas de aislamiento térmico [8]. La Tabla 2 presenta valores de conductividad térmica de aislamientos térmicos y el de la cascarilla de arroz para propósitos de comparación.

Tabla 2.
Conductividad térmica de diferentes aislantes comúnmente [9]

Material	Temperatura (°C)	K (W/m.K)
Corcho Corrugado	32	0.064
Corcho Aglomerado	32	0.045
Fibra de Vidrio	20	0.038
Poliestireno expandido – 20	30	0.033
Filtro semi rígido	147	0.063
Oxido de magnesio	147	0.061
Cascarilla de arroz (authors)	50	0.036
Lana mineral	50	0.030

Tabla 3.
Análisis químico de la ceniza de cascarilla de arroz [7]

Compuesto	% en peso
SiO ₂	90 - 97
K ₂ O	0.6 - 2.5
Na ₂ O	0.6 - 1.8
CaO	0.1 1.9
MgO	0.2 1.5
Fe ₂ O ₃	0.3
P ₂ O ₅	0.1 1.1
SO ₃	0.1 - 1.1
Cl	0.1 - 0.4

La cascarilla presenta un contenido de humedad del 9.08 %, con una densidad de 92 kg/m³, y un poder calorífico

Tabla 4.
Características de las probetas construidas.

Probetas	Agua, gr	Harina de trigo, gr	Saccharomyces Cerevisiae diluida en agua, ml	Cascarilla de arroz, gr	Fermentación, min	Temperatura del horno, °C	Tiempo, min	Azúcar, gr
1	196	250	10	60	120	200	45	0
2	196	250	10	60	120	200	45	5

4. Resultados y análisis

Las probetas fueron construidas de manera idéntica, sin embargo al ser sometidas a calentamiento sus dimensiones cambian y por ello es necesario medir el área efectiva al final de dicha prueba, de tal forma de poder obtener resultados confiables sobre el esfuerzo corte final.

4.1. Prueba de resistencia al calor

Consistió en someter cinco probetas a temperaturas de 150, 175 y 200 °C respectivamente, para observar si se producía pérdida de la estabilidad física, o si en algún momento se producía ignición del material. El calentamiento del material fue llevado a cabo en un horno de temperatura controlada y las probetas permanecieron 2

mínimo de 14.22 MJ/kg. Presenta propiedades ignífugas, es decir que no inicia la combustión fácilmente, hecho que responde a la composición química de la cascarilla de arroz en la que predomina el dióxido de Silicio (SiO₂) conformando el esqueleto de la cascarilla. Esto se puede verificar al analizar la ceniza de cascarilla. El análisis químico se presenta en la Tabla 3.

3. Preparación de aglomerados a base de cascarilla de arroz y almidones, procesados con *saccharomyces cerevisiae*

Se aglomera la cascarilla de arroz con la mezcla de almidones, a la cual se agrega el *Saccharomyces Cerevisiae* previamente hidratado y activado. El SC durante su proceso metabólico produce CO₂, el cual es atrapado en el aglomerado generándose con ello espacios vacíos que teóricamente deben mejorar las condiciones de asilamiento del material producido.

Para probar la mezcla, se fabricaron dos tipos probetas de sección transversal cuadrada de 200 mm x 200 mm, espesor de 10 mm, para realizar la prueba de conductividad térmica, según la norma ASTM C 177 – 97 (Standard Test Method for Steady – State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties By Means of the Guarded – Hot – Plate Apparatus).

Las características de cada una de las probetas se presentan en la Tabla 4. Para activar la levadura, se disuelven 15 gramos de SC en 600 ml de agua. Para realizar la prueba de flexión bajo condiciones de alta temperatura, se fabricaron 15 probetas de sección transversal de 36 mm x 10 mm, y longitud de 250 mm, con la receta de la probeta 1

horas a la temperatura establecida contados a partir del momento en que se alcanzaba este valor en el horno.

4.1.1. Prueba a 150 °C

Se colocaron diez probetas en el horno hasta alcanzar 150°C de temperatura. Luego de este procedimiento, se midieron las probetas, observándose que no se presentaron cambios en su estabilidad física. El único cambio macroscópico perceptible fue la aparición de coloración amarillenta, probablemente generado por la degradación del almidón. El estado final de la probeta se observa en la Figura 3.



Figura 3. Probetas ensayadas a 150 °C.

4.1.2. Prueba a 175 °C

Se colocaron diez probetas en el horno hasta alcanzar 175°C de temperatura. Durante este procedimiento, se observó que las probetas se curvaron aproximadamente a los 30 minutos de iniciada la prueba. No se presentó otro cambio físico en las probetas. El estado final de la probeta se observa en la Figura 4.



Figura 4. Probetas ensayadas a 175 °C.

4.1.3. Prueba a 200 °C.

Se colocaron diez probetas en el horno hasta alcanzar 200°C de temperatura. Esta prueba fue necesaria suspenderla a los 60 minutos por la abundante producción de humo. Se verificó que no se presentó producción de llama, pero sí apareció carbonización sobre la superficie del material. El estado final de la probeta se observa en la Figura 5.



Figura 5. Probetas ensayadas a 200 °C.

4.2. Prueba de flexión

Se tomaron cinco probetas de cada ensayo de resistencia al calor, se ubicaron sobre dos soportes y se les sometió a un incremento progresivo de carga en su punto medio, midiendo el desplazamiento producido por cada incremento en la carga, hasta romperlas. En la tabla 5 se listan las características geométricas definitivas de las probetas procesadas una vez han sido sometidas al proceso de calentamiento.

Para el cálculo del momento de inercia se tuvo en cuenta que la sección transversal de las probetas es rectangular, con lo que se tiene:

$$I = \frac{bh^3}{12} \tag{1}$$

Tabla 5. Probetas sometidas a flexión

Temp. °C	Base (b) m	Altura (h) m	Área m ² (x10 ³)	Momento de inercia (I), m ⁴ (x10 ⁹)
200	3,66E-02	1,09E-02	0,39976	3,97
	3,81E-02	9,66E-03	0,36786	2,86
175	3,72E-02	9,60E-03	0,35727	2,74
	3,44E-02	1,04E-02	0,35819	3,24
150	3,82E-02	9,37E-03	0,35757	2,61
	3,58E-02	9,59E-03	0,34292	2,62

Para el cálculo del esfuerzo flector de rotura, $\sigma_{flexión}$ [10] se tiene en cuenta que la prueba de carga – desplazamiento se llevó a cabo para una viga simplemente apoyada, con lo que la ecuación que define el esfuerzo está dada por:

$$\sigma_{flexión} = \frac{PLh}{4I} \tag{2}$$

Donde P es la fuerza y L es la longitud entre apoyos. Con esto se obtuvieron los valores que se presentan en la Figura 6.

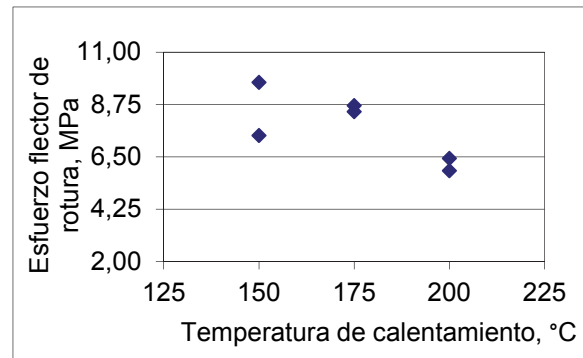


Figura 6. Variación del esfuerzo flector de rotura con la temperatura de calentamiento

Las pruebas realizadas muestran que el aislante a base de cascarilla de arroz presenta alta resistencia a la degradación por temperatura, soportando hasta 175°C presentándose solamente cambio de color. Y al ser sometido a temperaturas superiores a 175°C se carboniza sin presentar llama. Comparado con materiales aislantes como el poliestireno expandido - 20, es muy superior dado que el anterior sólo soporta hasta 80°C, y al ser sometido a temperaturas superiores puede incendiarse o fundirse totalmente. Referente a la resistencia a la flexión del material, vemos que presenta una falla frágil alcanzándose valores últimos que fluctúan entre 5.91 y 9.71 MPa, a 200°C y 150°C respectivamente. Comparado con el poliestireno expandido - 20 que presenta un valor de 0.21 MPa, este valor es mucho mayor, y es además capaz de soportar carga incluso a altas temperaturas. Vale la pena anotar, que el esfuerzo último se ve afectado por el aumento de temperatura, produciéndose un deterioro en la capacidad del material de soportar carga.

La Tabla 6 muestra valores de algunos materiales aislantes comúnmente utilizados en la industria como elemento de comparación con el material aglomerado de cascarilla de arroz.

Tabla 6.

Propiedades de algunos aislantes térmicos comunes.

Material	Temperatura de trabajo máxima (°C)	Esfuerzo último (MPa)	Bio degradación, años
Corcho	200	0.50 – 4.00	0.25
Corrugado	[14]	[10]	[12]
Corcho	200	0.50 – 4.00	0.25
Aglomerado	[11]	[10]	[12]
Poliestireno expandido - 20	80 [13]	0.21 – 0.80 [10]	3000 – 5000 [14]
Aglomerado de cascarilla de arroz	175	5.91 – 9.71	0.1

Otro punto importante al momento de evaluar los aislantes es la capacidad de poder ser absorbidos nuevamente por la naturaleza. Específicamente se muestra la biodegradabilidad, o el tiempo requerido para llevar el material a sus componentes básicos.

La Figura 7 muestra la deflexión que sufre el material al ser sometido a una prueba de flexión tras haber sido sometido a calentamiento.

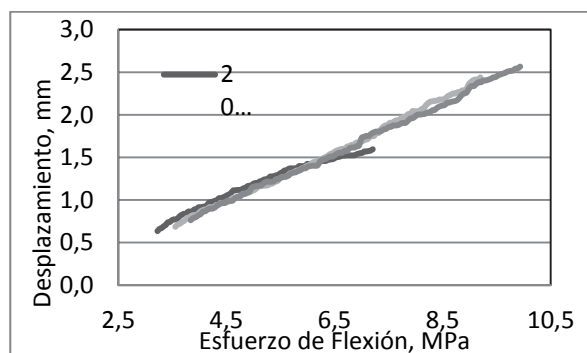


Figura 7. Deflexión contra esfuerzo de flexión para probetas sometidas a diferentes niveles de calentamiento.

Al analizar los datos obtenidos se observa que las probetas del grupo sometidas a calentamiento de 150 y 175 °C, tuvieron un desempeño similar, levemente mejor para las de 150 °C. En cambio las probetas del grupo sometido a calentamiento a 200 °C, mostraron un marcado deterioro de la capacidad portante del material. A pesar de reducirse la capacidad del material de deformarse con el aumento de la temperatura, se observa que las curvas son similares, produciéndose un desplazamiento casi paralelo de las tres curvas. Se observa que el nivel de temperatura afecta la resistencia a la flexión del material, produciéndose la rotura a menores niveles de esfuerzo.

Para determinar el módulo de Young a la flexión, $E_{flexión}$ [10] se utilizó la ecuación que define la deflexión para una viga simplemente apoyada, la cual se expresa como:

$$E_{flexión} = \frac{PL^3}{48\delta l} \quad (3)$$

Los valores obtenidos muestran que este valor casi no sufre variación con el calentamiento de las probetas, obteniéndose valores que fluctúan entre 1.97 y 2.23 MPa.

4.3. Prueba de conductividad térmica

Las dos probetas fueron sometidas a pruebas de acuerdo a la norma ASTM C 177 – 97, con un analizador automático ANACON TCA 88. Los resultados de caracterización térmica arrojan los resultados que se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7.

Valores de conductividad térmica y características de las probetas sometidas a la norma ASTM C - 177.

Probeta	Espesor (mm)	Densidad (kg/m ³)	Conductividad Térmica (W/(m.K))
1	21.59	439	0.0968
2	29.72	439	0.1510

El resultado demuestra que la probeta número 1 es un material con una capacidad aislante equivalente a la de los materiales disponibles en el mercado.

5. Conclusiones

Del análisis de los anteriores resultados se puede concluir que el material compuesto desarrollado a partir de cascarilla de arroz presenta valores de conductividad térmica que se encuentran en el mismo orden de magnitud de materiales históricamente utilizados para tal fin como son el poliestireno expandido y el corcho. Se encontró también, que el material compuesto tiene una resistencia a la flexión mucho mayor que el poliestireno expandido y el corcho, superando al primero por un orden de magnitud y teniendo valores similares al segundo.

Desde el punto de vista de biodegradabilidad, se encontró que este material supera a cualquier otro material aislante, siendo esta tal vez su principal característica, pues

es llevado nuevamente a sus componentes principales (que son naturales) en cuestión de días, y en presencia de agua se disuelve inmediatamente.

Para terminar, se encontró que este material presenta una alta resistencia a la temperatura, soportando calentamiento hasta 175°C por dos horas sin sufrir mayores variaciones en sus propiedades mecánicas. En presencia de llama directa no se incendia, lo cual lo hace un material altamente seguro. Es necesario realizar ensayos adicionales sobre la capacidad del aglomerado como protector contra la propagación de llama, debido a la capacidad ignífuga observada.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dirección de Investigaciones, Desarrollo e innovación de la Universidad del Norte, por su apoyo logístico y financiero, a COLCIENCIAS y su programa Joven Investigador, con cuyos recursos se financió este estudio.

Referencias

- [1] Serrano, T., Borrachero, M., Monzo, J. y Paya, J. Lightweight mortars with rice husk: mix design and properties evaluation, *Dyna-Colombia*, 79(175), pp.128-136, 2012.
- [2] Sisman, B., Gezer, E., and Kocaman, I. Effects of organic waste (rice husk) on the concrete properties for farm buildings, *Bulgarian Journal Of Agricultural Science*, 17(1), pp.40-48, 2011
- [3] Moshtaghion, B., and Monshi, A. Hot corrosion mechanism of tundish plaster with steel slags in continuous casting. *Journal Of Materials Science*, 42(16), pp.6720-6728, DOI: 10.1007/s10853-006-1482-9, 2007.
- [4] Cadena, C. y Bula, A. Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales. *Ingeniería y Desarrollo*, 12, pp. 1 – 9, 2002.
- [5] Díaz, A. Modelamiento y escalamiento piloto de un fermentador para producción de etanol a partir de glicerina. Tesis de Maestría, Barranquilla, Universidad del Norte, 2012.
- [6] Donalies, U., Nguyen, H., Stahl, U. and Nevoigt, E. Improvement of *Saccharomyces Yeast Strains Used in Brewing, Wine Making and Baking*. *Food Biotechnology*, 111, pp. 67 – 98, 2008.
- [7] Vassilev, S. Baxter, D., Andersen, L. and Vassileva, C. An overview of the composition and application of biomass ash. Part 2. Potential utilisation, technological and ecological advantages and challenges. *Fuel*, 105, pp. 19–39, 2013.
- [8] Johnson, A. *Biological Process Engineering*. John Wiley & Sons, New York, NY, USA, 1999.
- [9] Özisik, N. *Heat Conduction*, Second edition, John Wiley & Sons, New York, NY, USA, 1993.
- [10] Askeland, D., Pradeep, F., and Wendelin, W. *The Science and Engineering of Materials*. Sixth edition, Cengage, Stamford, CT, USA, 2011.
- [11] Silva, S., Sabino, M., Fernandes, E., Correlo, V., Boesel, L., and Reis, R. Cork: properties, capabilities and applications. *Internacional Metrics Review*, 50(6), pp. 345 – 365, 2005.
- [12] Mendoza, E., Pereira, P., Martins. A., and Anselmo, A. Fungal biodegradation of cork boiling waste waters. *Eng. Life Sci.*, 4(2), pp. 1-6, 2004.
- [13] Grassi, V., Forte, M. and Dal pizzol, M. Aspectos Morfológicos e Relação Estrutura-Propriedades de Poliestireno de Alto Impacto. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 11(3) pp. 158-168, 2001.
- [14] Alonso, M., Vilte, E., Madregal S., Saravia, J., Apaza, A. Y Lozano, A. Biodegradación de polietileno de alta y de baja densidad a diferentes condiciones operativas. XXIV Congreso de ASADES, Mendoza, Argentina, 23 al 26 de octubre, 2001.