

CARACTERIZACIÓN DEL POLIVINILALCOHOL (PVOH) EN MEDIOS DE DISOLUCIÓN COMPLEJOS

CHARACTERIZATION OF POLYVINYL ALCOHOL (PVOH) IN COMPLEX DISOLUTION MEDIA

Jans Humberto Alzate M.^{1*}, Carlos Alberto Arbeláez C.^{1*},
Amanda Inés Mejía G.^{1*} y Betty Lucy López O.^{2*}

ABSTRACT

The polyvinyl alcohol is a polymer with many applications in cosmetic, pharmaceutical and food industries. The PVOH behavior in water and its characterization have been studied and it has been determined that the presence of other compounds in the aqueous solution of PVOH, such as organic substances and mineral salts, change its properties. Due to multiple applications of PVOH in complex dissolution media is important to have PVOH characterization method that it is not affected by the dissolution media. The enzymes produced by *Phanerochaete chrysosporium*'s dissolution medium cause changes in the concentration of the PVOH samples dissolved in it. The PVOH concentrations were determined using the method described in the Japanese standard JIS K6726 (1977) but the results do not show change with the time, that means that this method is inoperative in this case. In order to quantify the PVOH is necessary to separate it from the medium by freezing the solution and then quantify the PVOH using the same method. The concentration of PVOH decreased 50% less in 15 days. The changes in the chemical structure of PVOH with the degradation time were studied by FTIR, that confirm the polymer biodegradation.

Key words: *Poly(vinylalcohol)*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Polymer biodegradation*, *FTIR with zinc selenuric cell*.

RESUMEN

El polivinilalcohol es un polímero con muchas aplicaciones en la industria cosmética, farmacéutica y alimentaria generalmente en forma de gel. El comportamiento del PVOH en agua y su caracterización han sido estudiados y se ha determinado que la presencia de otros compuestos orgánicos e inorgánicos en el agua cambian sus propiedades así como su

1 Facultad de Química Farmacéutica, Universidad de Antioquia. Apartado Aéreo 1226, Medellín, Colombia. Correo electrónico: amejia@quimbaya.udea.edu.co

2 Instituto de Química, Facultad de Ciencias Exactas Y Naturales. Universidad de Antioquia.

* Grupo de Investigación: Ciencia de los Materiales.

método de cuantificación (1). Por sus múltiples aplicaciones en medios de disolución complejos, es importante disponer de un método rápido para su caracterización, que no sea afectado por la presencia de otros componentes en la solución acuosa. Las enzimas producidas por el hongo *Phanerochaete chrysosporium* en un medio de cultivo causan cambios en la concentración de muestras de PVOH disueltas en él. La concentración del PVOH en este medio se determinó usando el método descrito en la norma japonesa JIS K6726 (2), y los resultados no muestran cambios en la concentración del PVOH con el tiempo, lo cual indica la inoperancia de este método en estos casos. Para cuantificar el PVOH es necesario separarlo del medio congelando la solución y luego se analiza por el mismo método. La concentración del PVOH presentó una disminución del 50% en 15 días. Los cambios en la estructura del PVOH con el tiempo de degradación fueron estudiados por IRTF. Los resultados confirman la biodegradación del polímero.

Palabras claves: Polivinilalcohol, *Phanerochaete chrysosporium*, Biodegradación de polímeros, IRTF con celda de selenuro de zinc.

INTRODUCCIÓN

El polivinil alcohol (PVOH) es un polímero con amplias aplicaciones en la industria cosmética, farmacéutica y alimentaria. Se producen aproximadamente 500.000 toneladas a nivel mundial (3). Se usa en el envasado de alimentos por sus propiedades barrera a los gases, al oxígeno y su inercia a las grasas y esas mismas propiedades lo hacen útil en el envasado de productos como detergentes, desinfectantes, productos agrícolas, productos químicos industriales, productos de desecho y en los laboratorios para la conservación de especímenes (4,5). El PVOH es excipiente en muchas formas farmacéuticas, como en medicamentos de liberación controlada para ingestión oral de cimetidina, diclofenaco sódico y diprofilina (6); o en hidrogeles para uso rectal de *B*-bloqueadores, como el *dl*-propranolol clorhidrato. También se utiliza en la preparación de tabletas por microencapsulación en una suspensión que contiene PVOH y glutaraldehído. La rata de liberación del ingrediente activo depende principalmente de la concentración y del grado de unión del polímero. En cosméticos se utiliza como formador de películas en las mascarillas; para incorporar perfumes, colorantes; en desodorantes en gel, en soluciones oftálmicas, etc. (6). También ha sido empleado ampliamente para inmovilización de sustancias biológicamente

activas como las enzimas. Sus aplicaciones son tanto en forma sólida, como semisólida y líquida (7). El PVOH en agua es un sistema físico de gel y en ese solvente ha sido estudiado en detalle. Las reacciones del PVOH en agua son las reacciones típicas de los alcoholes polihídricos y son básicamente de entrecruzamiento entre los copolímeros vinilalcohol y vinilacetato. En el esquema siguiente se observan las unidades monoméricas constituyentes de la estructura química del PVOH.



El entrecruzamiento disminuye la sensibilidad del PVOH al agua, incrementa su estabilidad en solución y generalmente causa un gran aumento de viscosidad (8). Alternativamente, el entrecruzamiento puede ocurrir con compuestos inorgánicos en solución como con el ácido bórico y sus sales o con sales multivalentes como las de Al ó Zn (6).

Las características individuales de los geles dependen de los cambios químicos que le ocurren, los cuales parecen ser independientes de las condiciones de preparación del gel, pero dependen notablemente de la concentración inicial del polímero, del agente y grado de entrecruzamiento y del sistema solvente empleado

(6). Por lo tanto, la presencia de otros compuestos orgánicos e inorgánicos en la solución acuosa de PVOH, cambia sus propiedades así como su método de cuantificación. En la literatura no se reporta amplia información sobre el comportamiento de hidrogeles de PVOH en medios de disolución complejos como los utilizados para medicamentos, donde se emplean otros compuestos orgánicos y polielectrólitos que pueden cambiar las propiedades del mismo, ni sobre las propiedades básicas del PVOH usado en estas aplicaciones. Además se encuentran disponibles comercialmente diferentes PVOHs que exhiben diferencias considerables en sus propiedades. Debido a la gran cantidad de aplicaciones del PVOH se hace indispensable contar con un método rápido para su caracterización independiente de la naturaleza del medio de disolución y de los diferentes productos de los que forma parte.

Las propiedades del PVOH dependen del grado de hidrólisis (GH) y del contenido de acetato de sodio (1). Los principales grados de hidrólisis del PVOH producidos pueden ser clasificados como totalmente hidrolizados (97.5-99.5%) y parcialmente hidrolizados (80-97.5%)

Determinar estos parámetros del polímero es importante para predecir su solubilidad, su comportamiento en el proceso y en el producto final del cual van a formar parte (9,10).

El método para la cuantificación del PVOH descrito en la norma japonesa JIS K6726 (2), es aplicable para PVOH parcialmente hidrolizado. Fue utilizado por Larking *et al* (11), para determinar el porcentaje de PVOH -pretratado con el reactivo de Fenton- degradado con el tiempo por el hongo *Pycnoporus cinnabarinus*, en un medio acuoso conteniendo glucosa y diversas sales minerales. Estos investigadores no especificaron el GH del PVOH que emplearon. Además modificaron el método según lo propuesto por Bugada and Rudin (12), pero en esta última publicación no aparece ningún detalle de éste método.

Realizamos el estudio de éste método, variando la concentración de ácido bórico, para tratar de estandarizar el método de cuantificación yodométrica del PVOH disuelto en medios complejos. El método se aplicó a muestras de PVOH degradadas térmicamente y biológicamente por acción enzimática. Los cambios en la estructura del PVOH con el tiempo de biodegradación fueron estudiados por IRTF con celda de Selenuro de zinc, para confirmar la biodegradación del polímero.

PARTE EXPERIMENTAL

Reactivos

Se utilizó PVOH distribuido en Colombia por Productos Químicos Genéricos S. A. (gmp), producido por BASF Química con las siguientes especificaciones: Peso molecular entre 120 a 180 Kg mol⁻¹ y alto grado de hidrólisis.

Se prepararon soluciones de : NaOH 0.1 N y 0.2 N; H₂SO₄ 0.1 N y 0.2 N; HCl 0.1 N; fenoltaleína; NaCO₃; azul de metileno al 0.1 % en etanol; verde de bromocresol y metanol.

Para cuantificar el PVOH se utilizaron Ba(OH)₂ 0.3 N; ZnSO₄ al 5 %; H₃BO₃ al 3.8 %, 6 %, 7 %, 8 % y 9 % y solución de I₂-KI (0.125 g I₂ + 2.5g KI en 100 ml).

Todos los reactivos utilizados son grado analítico.

Equipos

Se usaron los equipos citados en la Norma Industrial Japonesa JIS K6726 de 1977 (2).

Para el análisis cuantitativo se utilizó un espectrofotómetro UV-VISIBLE marca VARIAN modelo Cary 50 Bio.

Los espectros IRTF del PVOH se determinaron en un equipo Perkin Elmer modelo Spectrum RXI con celda de selenuro de zinc.

- *Caracterización fisicoquímica del PVOH.*

El contenido de volátiles, el grado de hidrólisis (GH), el contenido de acetato de sodio y el contenido de ceniza se realizaron según la norma JIS K6726-1977 (2). Los ensayos se hicieron por duplicado.

- *Determinación cuantitativa del PVOH.*

Para cuantificar el PVOH en las diferentes soluciones, se variaron algunas de las condiciones del método descrito en Finch, Properties and Applications (1), hasta obtener el siguiente procedimiento:

- ❖ Se toman 0.5 ml de la muestra de PVOH en un beaker.
- ❖ Se adicionan 5 ml de agua destilada.
- ❖ Se calienta a 82 °C por 8 minutos.
- ❖ Se adicionan 5 ml de solución de Ba(OH)₂ 0.3 N y 5 ml de solución de ZnSO₄ al 5% P/P.
- ❖ Se centrifuga a 2000 rpm por 2 minutos.
- ❖ Se toman 5 ml del sobrenadante y se llevan a un volumen de 25 ml con agua desionizada.
- ❖ Se toman alícuotas de 5 ml de la solución anterior en balones volumétricos de 25 ml y se adicionan 5 ml de agua desionizada a cada balón.
- ❖ Con el objetivo de determinar una concentración adecuada de H₃BO₃ se realizan ensayos con concentraciones 3.8%; 5 %, 6 %, 7 %, 8 % y 9% de H₃BO₃. Se adicionan 5 ml de las diferentes concentraciones de H₃BO₃ a cada balón.
- ❖ Se adicionan 2 ml de I₂-KI a cada balón. Se dejan en reposo por 10 minutos a temperatura ambiente.
- ❖ Se ajusta el volumen con agua.
- ❖ Se lee la absorbancia a 690 nm.
- ❖ Se prepara una curva de calibración con muestras de PVOH entre 0.1 % y 1.0 % en el medio de cultivo que se describe posteriormente y se determina su concentración por el método mencionado previamente.
- ❖ Se preparan soluciones de PVOH al 0,1 y 1%, a partir de PVOH -degradado primero térmicamente a 150 °C, a 180 °C, a 300 °C y a 350 °C-, en el medio de cultivo y se les determina la concentración por el método antes descrito.
- ❖ Se preparan soluciones de PVOH al 0.1% y 1% en el medio de cultivo descrito a continuación. Estas muestras se someten a biodegradación bajo las condiciones descritas antes por Mejía *et al* (13) y se toman muestras durante 15 días que se analizan por el método descrito anteriormente.
- ❖ El residuo de PVOH contenido en los medios de cultivo a diferentes tiempos de biodegradación, se obtiene congelando los medios a -20°C. Se separa una masa blanca que se seca a 70°C hasta peso constante. A partir del residuo seco se preparan soluciones al 0.1 % en el medio de cultivo y se les determina la concentración por el método descrito.

Medio de cultivo: glucosa 1 g%, tartrato de amonio 0.02 g%, MgSO₄·7H₂O 0.05 g%, CaCl₂·12H₂O 0.01 g%, tween 80 0.05 g%, tiamina clorhidrato 0.1 mg%, alcohol veratrilico 2.5 mM, KH₂PO₄ 0.2 g%, bitartrato de sodio 1.0 g% y solución de elementos traza 70 ml por litro. Un litro de la solución de elementos traza contiene: ácido nitriloacético 1.5 g, MgSO₄·5H₂O 3 g, NaCl 1 g, FeSO₄·7H₂O 0.1 g, CaCl₂·2H₂O 0.1 g, ZnSO₄·7H₂O 0.1 g, CuSO₄·5H₂O 0.01 g, AlK(SO₄)·12H₂O 0.01 g, H₃BO₃ 0.01 g, Na₂MoO₄·2H₂O 0.01 g.

El medio se lleva a pH 4.5 con solución reguladora de tartrato de sodio 20 mM. (14).

• *Espectros infrarrojo de las muestras de PVOH.*

Para determinar los cambios en la estructura del polímero residual causada por la biodegradación enzimática, una parte del PVOH obtenido por congelación de los medios de cultivo y secado a 70°C hasta peso constante, se redisuelve en agua. Un ml coloca en la placa de selenuro de zinc, se seca el agua y se le corre su espectro IR.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

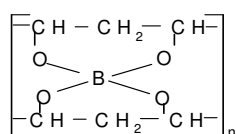
• *Caracterización fisicoquímica.*

El PVOH analizado presentó un alto grado de hidrólisis de 98.99 mol %, correspondiendo a lo indicado por el distribuidor. Este alto grado de hidrólisis indica que el polímero usado en el análisis se solubiliza en agua a temperatura mayor de 80°C.

El PVOH presentó un contenido de 0.0568% de ceniza en base seca y 0.0567% de acetato de sodio en base seca, valores muy similares, indicando que el acetato de sodio está presente en la ceniza, convertido a óxido de sodio durante el proceso de calcinación, sumando así la totalidad del contenido de ceniza del polímero.

• *Método de cuantificación del PVOH.*

El método de análisis espectrofotométrico del PVOH se basa en la formación de un complejo coloreado azul intenso cuando es tratado con una solución acuosa de I₂-KI. La intensidad del color puede ser mejorada por la adición de H₃BO₃, el cual introduce entrecruzamiento a las soluciones de PVOH en presencia de cationes (Zn⁺² y Ba⁺²) estabilizando el cromóforo. La reacción química ilustrativa de esta reacción es la siguiente:



El mecanismo exacto de la reacción de éste complejo, con las especies de yodo es aún desconocida (1).

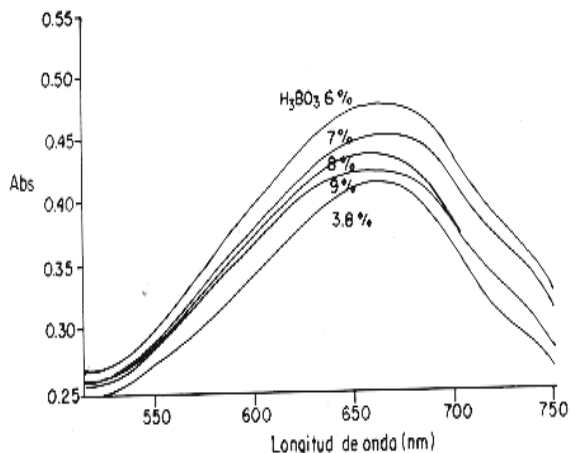
En el método descrito en la norma JIS (2) se emplea una concentración de H₃BO₃ al 3.8% P/V. Nosotros variamos la concentración entre 3.8% y 9% P/V de H₃BO₃, con el objeto de predecir su posible efecto estabilizante de las fracciones de diferente peso molecular de PVOH degradado, presentes en el medio de cultivo. En la figura 1a) se observan los espectros de absorción del PVOH al 1% -en el medio de cultivo, utilizando diferentes concentraciones de H₃BO₃. La absorbancia obtenida en las muestras analizadas con concentraciones de H₃BO₃ al 6% y 7%, fueron mayores que la obtenida con la concentración al 3.8%. Para concentraciones de 8 % y 9 % de H₃BO₃, las absorbancias disminuyeron. Esta variabilidad corrobora que en presencia de cationes como los presentes en el medio de cultivo descrito, existe una concentración crítica de borato hasta la cual ocurre la reacción de entrecruzamiento, que también se afecta con la concentración del polímero, debido a un efecto estérico (6).

Los resultados de absorbancia variables con la concentración de H₃BO₃ obtenidos en este trabajo, solo confirmaron los muchos factores que pueden afectar la cuantificación del PVOH dependiendo -además de su grado de hidrólisis- de lo complejo del sistema solvente en el que se encuentre disuelto. Por tal razón continuamos empleando la concentración de 3.8 % propuesta en la norma japonesa. El estudio del efecto de estas variables continúa en investigación.

Los espectros de absorción de muestras de PVOH al 1% -en medio de cultivo- preparadas a partir de PVOH degradado térmicamente a temperaturas de 150, 180, 300 y 350 °C, utilizando la concentración de 3.8% de H₃BO₃ y un tiempo de 10 minutos de estabilización del cromóforo se observan en la figura 1 b). Las concentraciones obtenidas fueron 1.0, 0.7, 0.2 y 0.1% respectivamente

Figura 1.

- a) Espectros de absorción del complejo PVOH-I₂ a diferentes concentraciones de H₃BO₃ (muestras de PVOH al 1 % en medio de cultivo).



- b) Espectros de absorción del complejo PVOH-I₂ de muestras preparadas al 1% a partir de PVOHs degradados previamente a diferentes temperaturas.

Los resultados de concentración de las muestras de PVOH al 0,1% y al 1% biodegradadas por acción enzimática, no presentaron cambios apreciables durante 15 días. En cambio en el análisis efectuado a muestras de PVOH preparadas al 0,1%, -partiendo del PVOH separado por congelación de esos medios a diferente tiempo de biodegradación-, dio una disminución en la concentración del 50 % del PVOH a los 15 días.

• Espectros Infrarrojo de las muestras de PVOH

Los espectros infrarrojo entre 3500 y 1400 cm⁻¹ de las muestras de PVOH al 0,1 % separado por congelación de los medios a diferente tiempo de biodegradación, se observan en la figura 2.

Figura 2. Espectros IRTF de PVOH separado por congelación de los medios de cultivos a los 8 y 15 días de la biodegradación y del PVOH control a los 15 días (sin esporas del *Phanerochaete chrysosporium*).

La banda a 3314 cm⁻¹, característica de estiramientos O-H poliméricos en las muestras de PVOH a los 8 días y PVOH control a los 15 días (muestra de PVOH a los 15 días, sometida al mismo tratamiento pero sin las esporas del *Phanerochaete chrysosporium*), se separó en dos bandas de menor intensidad en la muestra de PVOH a los 15 días de biodegradación. Esto indica disminución de los grupos O-H en esta última muestra.

La banda a 2936 cm⁻¹ del PVOH tanto en la muestra a los 8 días de biodegradación como en la muestra control, corresponde a estiramientos del grupo C-H saturado. Esta banda cambia en la muestra de PVOH a los 15 días a 2974 cm⁻¹, indicando que los estiramientos provienen de C=C-H ó C-H de insaturados.

La intensidad de la banda a 1710 cm⁻¹ que es débil en la muestra a los 8 días y en el control – la cual es debida a los grupos carbonilo residuales que posee el PVOH- (6), cambia a una banda de intensidad mediana en la muestra de PVOH a los 15 días, indicando un aumento en los grupos carbonilo de esa muestra.

La intensidad de la banda a 1710 cm^{-1} que es débil en la muestra a los 8 días y en el control – la cual es debida a los grupos carbonilo residuales que posee el PVOH- (6), cambia a una banda de intensidad mediana en la muestra de PVOH a los 15 días, indicando un aumento en los grupos carbonilo de esa muestra.

La banda a 1600 cm^{-1} en la muestras a los 8 días es mas fuerte que en la muestra control. Esa banda corresponde a dobles enlaces conjugados e indica que en el PVOH control es menor la proporción de $\text{C}=\text{C}$ conjugados que en la muestra de PVOH a los 8 días. En la muestra de PVOH a los 15 días esa banda se desplaza a 1580 cm^{-1} , indicando un aumento de grupos cetona o aldehído, insaturados no conjugados.

Estos cambios se relacionan con los cambios observados por Holland and Hay (15) en muestras de PVOH degradado térmicamente. La eliminación de agua es el primer mecanismo de la degradación del PVOH, que da lugar a un aumento de dobles enlaces y que confirmamos con lo observado en la banda a 1600 cm^{-1} , fuerte a los 8 días de biodegradación. A los 15 días baja su frecuencia a 1580 cm^{-1} . La disminución se explica debido a que los grupos $\text{C}=\text{C}$ migran al grupo hidroxilo próximo a lo largo de la cadena del polímero, dando lugar a la tautomerización ceto-enol produciendo cetona. El grupo $\text{C}=\text{O}$ puede luego formar un anillo de transición con 6 miembros permitiendo la escisión de la cadena y por consiguiente la disminución del número de grupos $\text{C}=\text{C}$ y aumento de grupos carbonilo no conjugados.

El espectro IR de las muestras a los 8 días de biodegradación y de las muestras control comparados con el espectro de la muestra a los 15 días de biodegradación, permite deducir que la estructura química del PVOH de las primeras muestras no ha sufrido rupturas importantes en su cadena de C-C. En cambio en el PVOH a los 15 días de biodegradación –que presentó una disminución en la concentración del 50 %-, los cambios corresponden a la estructura química

de un polímero biodegradado. Estos cambios corroboraron además el estudio realizado previamente por Mejía *et al.*, (13), quienes demostraron cambios por IRTF en la estructura del polímero con la disminución de su peso molecular por cromatografía de permeación de geles.

CONCLUSIONES

El método espectrofotométrico de cuantificación del PVOH, no discriminó entre el polímero de alto peso molecular y los segmentos de menor peso molecular que se van formando a medida que transcurre la biodegradación enzimática. Cada segmento de menor peso molecular eliminado por la biodegradación, forma compuestos como el acetaldehído, aldehídos, cetonas, benceno, derivados bencénicos, etc, susceptibles de reaccionar con el reactivo $\text{I}_2\text{-KI}$ y no se detectan por tanto diferencias entre compuestos de menor o mayor peso molecular. Por consiguiente no se observen cambios en la concentración del PVOH residual durante el tiempo en que se hizo el seguimiento.

En los polímeros degradados primero térmicamente, esos compuestos de menor peso molecular se han quemado hasta CO_2 y en la muestra no degradada que queda, están presentes solo las fracciones de mayor peso molecular, y por tanto resulta una disminución en la concentración del PVOH. Seguramente este mismo efecto fue obtenido por Larking *et al.* (11), quienes biodegradaron muestras de PVOH, las cuales oxidaron primero con el reactivo de Fenton, - que lleva las fracciones de menor peso molecular hasta CO_2 antes de su cuantificación.

Se confirma que el método de cuantificación del PVOH según el método descrito en la norma japonesa JIS K6726 (2), no es aplicable para determinar directamente cambios en la concentración del polímero con el tiempo de la biodegradación. Este debe separarse físicamente del medio que lo contenga para proceder a su determinación analítica, haciendo de este un

procedimiento costoso y extenso, ya que además implica preparación de curvas de calibración.

Un método sencillo como el IRTF, proporciona información de la estructura química del PVOH como materia prima, como producto en proceso y en el producto terminado y constituye una herramienta para caracterizar el PVOH en medios de disolución en donde éste puede irse degradando con el tiempo –separándolo previamente de éstos por congelación–, por

efecto por ejemplo, de las temperaturas a que son sometidos durante su procesamiento o por efecto químico o enzimático.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al CODI y a la Universidad de Antioquia por la financiación de éste trabajo de investigación y al Grupo de Investigación de Sustancias Bioactivas por su colaboración con el equipo IRTF, con celda de Selenuro de Zinc.

BIBLIOGRAFÍA

1. Finch C.A. Ed. Polyvinyl alcohol. Properties and applications. Chapter 1 and appendix 3. J. Wiley & Sons, London, England. 1973
2. Japan Industrial Standard. JIS K 6726. Testing Methods for polyvinylalcohol. 1977.
3. Moritani T. and Kajitani K. Functional modification of poly(vinyl alcohol) by copolymerization: I. Modification with a carboxylate groups, *Polymer* 38 (12), 2933-2945. 1997
4. Gordon, L.R. Food Packaging. Principles and Practice. New York. pág. 36-40. 1993
5. Fritz H.G. A study on production of thermoplastics and fibers based mainly on biological materials. Institut fur Kunst. Stuttgart. 184-187. 1994
6. Finch C.A. Ed. Polyvinyl alcohol. Developments. Chapter 1, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 19. J. Wiley & Sons, London, England. 1992
7. Yuki K., Sato T. and Okaya T. Effect of modification of poly (vinylalcohol) on ability of protective colloid in emulsion polymerization, *J. of Polymer Science and Technolog*, 53 (11), 761-763. 1996
8. Mejía A.I. y López B.L. Viscosidad intrínseca del polivinilalcohol (PVOH) en un medio de cultivo y en agua". *Revista VITAE* 16 (2), 49-62. 1999.
9. Mejía A.I. Determinación de la biodegradabilidad del polivinilalcohol (PVOH) y del polietilvinilalcohol (EVOH) con las enzimas extracelulares del hongo *Phanerochaete chrysosporium*". Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Tecnología de Alimentos. Valencia, España. 1999.
10. López B.L., Mejía A.I. and Sierra L. Study of the Biodegradability of poly (vinyl alcohol). *Polymer Engineering and Science*, 39 (8), 1346-1352. 1999.
11. Larking D.M., Crawford R.J., Chistie G.B. and Lonergan G.T. Enhanced degradation of polyvinyl alcohol by *Pycnoporus cinnabarinus* after pretreatment with Fenton´s reagent. *Applied and Environ. Microb.*, 65 (4), 1798-1800. 1999
12. Bugada D.C. and Rudin A. Characterization of poly (vinylalcohol). *J. Appl. Polym.*, 30, 4137-4147. 1985.
13. Mejía A. I., López B.L. and Mulet P.A. Biodegradation of poly(vinylalcohol) with enzymatic extracts of *phanerochaete chrysosporium*. *Macromolecula Chem. Phys. Symposia*. 148, 131-147. 1999.
14. Penninckx M., Jimenez G.A. Transformación Microbiológica de la Biomasa, Curso teórico-práctico. Universidad Libre de Bruselas y Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia. 1996.
15. Holland B.J. and Hay J. N. The thermal degradation of poly (vinylalcohol). *Polymer* 42, 6775-6783. 2001.

Recibido: 04 - 09 - 01

Aceptado: 11 - 10 - 01