

**VISCOSIDAD INTRÍNSECA DEL POLIVINIL ALCOHOL (PVOH)
EN UN MEDIO DE CULTIVO Y EN AGUA
INTRINSIC VISCOSITY OF POLY (VINYLALCOHOL)
IN CULTURE MEDIUM AND WATER**

Amanda I. Mejía G. ¹ - Betty Lucy López O. ²

RESÚMEN

La propiedades hidrodinámicas del polivinil alcohol (PVOH) en un solvente determinado dependen específicamente del peso molecular (M_w) y la viscosidad, propiedades que pueden variar si el polímero se asocia con otros componentes del medio de disolución. Para determinar el M_w existen varios métodos, el mas preciso es por cromatografía de exclusión por tamaño - SEC- pero no existen polímeros estándar de PVOH disponibles para hacer la calibración. En su ausencia, se hace una aproximación por medio de la calibración universal, si las constantes de viscosidad de la ecuación de Mark-Houwink están disponibles, pero estos datos no se encontraron para el PVOH disuelto en un medio de cultivo.

Por tanto, se determinó la viscosidad intrínseca $[\eta]$ de dos PVOHs comerciales con grado de hidrólisis del 88%, de diferente peso molecular, disueltos

en el medio de cultivo y en agua, a 36°C. Los parámetros K y a de la ecuación de Mark-Houwink, determinadas para cada sistema experimental, no cambiaron significativamente, indicando que la conformación de la molécula es similar en ambos sistemas.

La relación entre $[\eta]$ y M_w es un método sencillo para estudiar las propiedades hidrodinámicas de un polímero. Como biopolímero, el PVOH tiene múltiples aplicaciones disuelto en medios complejos y es necesario caracterizarlo en cada uno de ellos. En nuestro caso, los parámetros a y K obtenidos de las soluciones del polímero en el medio de cultivo, a 36°C, fueron útiles para confirmar un comportamiento similar del polímero en el agua y utilizarlos en el estudio de la biodegradación del PVOH con los extractos enzimáticos del hongo *Phanerochaete chrysosporium*.

1. Profesora Departamento de Farmacia. Facultad de Química Farmacéutica.
email: amejia@quimbaya.udea.edu.co. Fax 2105457. Teléfono 2105472

2. Profesora Departamento de Química. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
email: blopez@quimbaya.udea.edu.co. Fax 2330120. Teléfono 2105667

ABSTRACT

Hydrodynamic properties of the polyvinil alcohol (PVOH) in a certain solvent depend specifically of the molecular weight (M_w) and the viscosity, properties that can vary if the polymer is associated with other components of the dissolution medium. M_w could be determined by several methods but the most precise is by size exclusion chromatography -SEC-, but to make the calibration, the PVOH standards are not available. There is an approach made instead, by means of the universal calibration, if the constants of viscosity of the equation of Mark-Houwink are available, but these data were not known for the PVOH dissolved in a culture medium.

Therefore, intrinsic viscosity was determined for two commercial PVOHs with hydrolysis degree of 88% and different molecular weight, dissolved in the culture medium and water, at 36°C. The parameters K' and a of the Mark-Houwink equation, for each experimental system, did not significative change, indicating that the conformation of the molecule is similar in both systems.

The relationship between $[\eta]$ and M_w is a simple method to study the hydrodynamic properties of a polymer. As a biopolymer, the PVOH has a lot of applications dissolved in a complex culture medium and it is necessary to characterize it in each one of them. In our case, the parameters a and K' were useful to confirm the similar behavior of the polymer in the water

and the culture medium and use them for the biodegradation study of PVOH with the enzymatic extracts of the fungus *Phanerochaete chrysosporium*.

1. INTRODUCCIÓN

El PVOH es un polímero ampliamente utilizado. Se produjo en el mundo en un orden de 500.000 toneladas, en 1995 (Moritani *et al*, 1997). Es usado en el envasado de alimentos por sus propiedades de barrera a los gases y al oxígeno y su inercia a las grasas (Gordon, 1993; Robertson, 1993; Fritz, 1994). El PVOH tiene aplicaciones en cosméticos, en el envase de productos de consumo como detergentes, desinfectantes, productos agrícolas, productos químicos industriales, productos de desecho y en los laboratorios para la conservación de especímenes (Fritz, 1994). Su propiedad de solubilidad en agua lo hace muy útil, porque posterior a su uso, se elimina lavándolo con agua. En los envases, la operación de desecho es sencilla, ya que se dispone en los vertederos y se solubiliza, evitando el peligro de reutilización de envases contaminados por ejemplo con pesticidas. Las propiedades de solubilidad en agua, así como sus propiedades físicas, lo hacen un material muy interesante para la preparación de moléculas cargadoras de derivados macromoleculares y/o agentes bioactivos, controlando la liberación de estas moléculas y manteniéndolas estables por mucho mas tiempo (Daniliuc y David, 1998; Sánchez *et al*, 1998; Breitenbach y

Kissel, 1998). Por esa razón se realizan hoy en día numerosas investigaciones para funcionalizar éste biopolímero, con el fin de mejorar su efectividad de enlace covalente con los agentes bioactivos (Yuki *et al*, 1996; Tomita *et al*, 1996; Paradossi *et al*, 1996; Ruckenstein y Liang, 1996; Lozinsky *et al*, 1996; Mori *et al*, 1997 entre muchos otros).

Las propiedades hidrodinámicas del PVOH en diferentes medios de disolución, dependen específicamente de su peso molecular y su viscosidad. Estas propiedades pueden variar dependiendo de las asociaciones que haga el polímero con otros componentes del medio. La viscosidad es influenciada por aditivos orgánicos e inorgánicos. Por ejemplo, la adición de acetona, metanol, etilenglicol y dimetilsulfóxido reducen la estabilidad de la viscosidad porque precipitan el PVOH. Las sales como NaCl, Na₂SO₄, ZnSO₄, KAl(SO₄)₂, CuSO₄, MgSO₄, entre otros, también actúan desfavorablemente en la estabilización de la viscosidad por la misma razón expuesta antes (Finch, 1973). Otros solventes como el isobutanol, n-butanol, piridina, ciclohexanona, ciclohexanol y fenol, tienen un marcado efecto estabilizante de la viscosidad. Algunos detergentes notablemente aniónicos, forman complejos con el PVOH en solución, el cuál puede actuar como polielectrólito. En cambio el PVOH no interactúa con surfactantes neutros como el Tween 80 (Moroi, 1970).

Para determinar el peso molecular existen varios métodos, siendo el mas

preciso la cromatografía de exclusión por tamaño -SEC-. Desafortunadamente no existen polímeros estándar de PVOH disponibles y por tanto no se cuenta con ellos para hacer la calibración.

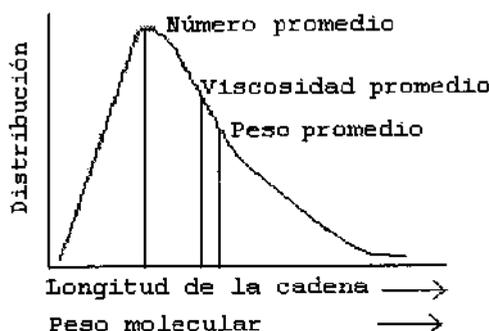
En ausencia de una calibración directa con estándares, una aproximación por medio de la calibración universal puede hacerse si las constantes de viscosidad de la ecuación de Mark-Houwink están disponibles (Zammit *et al*, 1998), pero rara vez lo están con precisión, ya que también se afectarán si la naturaleza química del polímero cambia, por ejemplo su grado de hidrólisis, su conformación (lineal o ramificado), etc. La reproducibilidad de los resultados en SEC también dependen de la viscosidad del polímero en un sistema de solvente y temperatura específicos.

Un método sencillo para la determinación de los parámetros de la ecuación de Mark-Houwink es determinando la viscosidad intrínseca y su correlación con el peso molecular del polímero (*M_w*). La dependencia entre la viscosidad y el *M_w* en polímeros lineales, se cumple bajo condiciones newtonianas (bajas concentraciones) y a temperatura constante (Ajroldi *et al*, 1999).

Cuando la calibración está hecha, se puede determinar el peso molecular de otra muestra desconocida de un polímero de la misma naturaleza, obteniendo su viscosidad intrínseca; pero no se puede aplicar la calibración a un polímero de naturaleza química diferente al polímero con que se efectuó la curva de calibración.

Relación entre viscosidad intrínseca y peso molecular M_w .

Un polímero es una cadena de varias unidades de diferentes longitudes que se repiten y tienen una distribución de pesos moleculares como la observada en la figura siguiente.



Amanda I. Mejía G. - Betty Lucy López O.

El peso molecular peso promedio (\bar{M}_w) se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$\bar{M}_w = \frac{\sum n_i M_i^2}{\sum n_i M_i} \quad (I)$$

Donde: M_i es el peso molecular y n_i es el número de moléculas con i unidades repetidas.

El peso molecular número promedio (\bar{M}_n) se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$\bar{M}_n = \frac{\sum n_i M_i}{\sum n_i} \quad (II)$$

El peso molecular viscosidad promedio (\bar{M}_v), se calcula usando la siguiente ecuación:

$$\bar{M}_v = \left(\frac{\sum m_i M_i^{(a+1)}}{\sum m_i} \right)^{\frac{1}{a+1}} \quad (III)$$

donde: a es un parámetro dependiente del polímero, el cual se relaciona con la viscosidad intrínseca $[\eta]$ y el peso molecular promedio viscoso del mismo \bar{M}_v , por medio de la ecuación de Mark-Houwink (Osswald and Menges, 1995), la cual está dada por:

$$[\eta] = K' \bar{M}_v^a \quad (IV)$$

donde: \bar{M}_v = Peso molecular viscosidad promedio.

Puesto que \bar{M}_v está más cerca de \bar{M}_w , que cualquier otra medida de peso molecular (Osswald and Menges, 1995), entonces es común usar los valores de M_w para calibrar el método de viscosidad.

$$[\eta] = K' \bar{M}_w^a, \quad (V)$$

donde: \bar{M}_w mas que el peso molecular promedio del polímero estudiado, es básicamente una estimación del tamaño de la molécula en ese solvente, a esa temperatura (ASTM. D-2857-87).

En éste trabajo, se determinó la viscosidad intrínseca $[\eta]$ y su correlación con el peso molecular (Billmeyer, 1984; Breitenbach y Kissel, 1998) previo al estudio de la biodegradación del polivinil alcohol (PVOH) causada por los extractos enzimáticos del hongo *Phanerochaete chrysosporium*, ya que en la literatura disponible, no se encontraron datos de la viscosidad del PVOH en un medio de cultivo como en el que se producen las enzimas del hongo *Phanerochaete chrysosporium*. Este estudio es necesario puesto que la viscosidad influye en los coeficientes de transferencia de materia y en las propiedades hidrodinámicas del polímero en solución (Kauffman and Falcetta, 1975; Daojie y Fricke, 1995).

Palabras Clave: Polivinil alcohol; Viscosidad Intrínseca; *Phanerochaete chrysosporium*.

Keywords: Poly (vinylalcohol); Intrinsic Viscosity; *Phanerochaete chrysosporium*.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Para evaluar este comportamiento del PVOH en el medio de expresión y

comparar los resultados de la viscosidad intrínseca obtenida en agua, a 36°C, se realizó la determinación de la viscosidad relativa de PVOHs comerciales de diferente peso molecular, con grado de hidrólisis del 88%, adquiridos a diferentes distribuidores. Cada PVOH se preparó a concentraciones diferentes, tanto en el medio de cultivo microbiano utilizado para la expresión enzimática, como en agua (Breitenbach y Kissel, 1998). La viscosidad relativa es la relación entre el tiempo que tarde en fluir cada solución sobre el que tarde en fluir el solvente respectivo, en el viscosímetro Ostwald, a las misma temperatura.

Equipo empleado.

- Baño de María circulante con control de temperatura de 0,01 - 0,02 °C. (Prufgerate^R, adaptado a un frasco de vidrio transparente de 1 Litro).
- Un cronómetro, entre 0 y 500 segundos, con precisión de 1/100 de segundo.
- Viscosímetro Ostwald para pequeños volúmenes. (Se usaron 2 mL en todas las determinaciones).
- Membranas filtrantes Millipore^R de 0.45 μ m.

Muestras de PVOH utilizadas.

Se utilizaron PVOHs comerciales de pesos moleculares nominales (M_w) de 84 y 180 kilodalton (kD) y grado de hidrólisis del 88%.

El peso molecular (M_w) experimental de estos polímeros disueltos en agua al 0.1 % g/mL, fue determinado por Cromatografía de permeación de geles (GPC), utilizando una columna Ultrahidrogel Lineal[®] Waters. La fase móvil usada fue una solución reguladora de acetato de sodio-fosfato de sodio, pH 7.4 (Nielson, 1997), a 36°C, flujo de 0.6 mL/min. Se emplearon estándares de Polioxietileno para calibrar la columna. Los M_w experimentales obtenidos fueron 98.970 y 178.642 dalton, respectivamente.

Determinación de la viscosidad intrínseca.

Los experimentos se realizaron siguiendo la norma ASTM 2857-87.

- Se prepararon dos grupos de soluciones de cada polímero a concentraciones entre 0.004 y 0.009 mg/mL en agua ó en el medio de expresión preparado así:

El medio de cultivo para producir las enzimas usado, fue el descrito por Penninckx y Jiménez (1996), el cual contiene por litro: glucosa 1 g%; tartrato de amonio 0.02 g%; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.05 g%; $CaCl_2 \cdot 12H_2O$ 0.01 g %; Tween 80 0.05 g%; tiamina HCl 0.1 mg%; alcohol veratrílico 2,5 mM y solución de elementos traza 70 mL/L. Un litro de la solución de elementos traza contiene: ácido nitriloacético 1,5 g; $MgSO_4 \cdot 5H_2O$ 3 g;

NaCl 1g; $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0,1g; $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ 0,1 g; $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 0,1 g; $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0,01 g; $AlK(SO_4)_3 \cdot 12H_2O$ 0,01 g; HBO_3 0,01 g; $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ 0,01 g.) El medio se llevó a pH 4.5 con solución reguladora de tartrato de sodio 20 mM.

- Los polímeros se pesan en balones volumétricos de 25 mL tarados y se adiciona medio de expresión o agua hasta 20 mL.

- Se colocan en una estufa a temperatura de 36°C por 30 minutos.

- Se completan a volumen con el respectivo solvente que se mantiene en la estufa a 36°C.

- Inmediatamente se determina la viscosidad de cada solución, relativa a su respectivo solvente midiendo el tiempo en segundos con el cronómetro. Cada dato es el promedio de tres determinaciones consecutivas, los cuales no pueden variar mas del 0.1% de su valor promedio.

3. RESULTADOS.

Los datos de viscosidad relativa de cada concentración de polímero, de diferente peso molecular, en agua o en el medio de expresión se muestran en las tablas 1y 2.

En la figura 1 se observan los gráficos de viscosidad relativa vs concentración, para las muestras preparadas en el medio de expresión y/ó en agua a 36°C.

A partir de ellos se obtiene la viscosidad intrínseca para cada polímero en el solvente específico,

extrapolando a concentración 0. Los resultados se muestran en la tabla 3.

Tabla 1: Viscosidad relativa soluciones de PVOH de Mw 98.970 dalton.

En agua: el $t_s = 1.0368$ min					
C (g/mL x 10^{-3})	Repetición			t	t/ t_s
	1	2	3		
4.00	1.2650	1.2649	1.2651	1.2649	1.220
* % Variación	0.008	0.00	0.016		
6.08	1.3139	1.3133	1.3136	1.3136	1.267
* % Variación	0.02	0.02	0.00		
8.144	1.3608	1.3604	1.3606	1.3603	1.312
* % Variación	0.04	0.007	0.02		
9.70	1.4308	1.4312	1.4304	1.4308	1.380
* % Variación	0.00	0.03	0.03		
En medio de cultivo: el $t_s = 1.0662$ min					
C (g/mL x 10^{-3})	Repetición			t	t/ t_s
	1	2	3		
4.50	1.3859	1.3861	1.3863	1.3861	1.300
* % Variación	0.01	0.00	0.01		
6.02	1.4820	1.4819	1.4821	1.4820	1.390
* % Variación	0.00	0.007	0.007		
7.99	1.5452	1.5448	1.5444	1.5448	1.490
* % Variación	0.03	0.00	0.03		
9.02	1.6421	1.6420	1.6419	1.6420	1.540
* % Variación	0.006	0.00	0.006		

t_s = es el tiempo en min que demora en caer el solvente, en el viscosímetro de Ostwald, a 36C. (Promedio de tres determinaciones consecutivas, las cuales no pueden variar en mas de 0.1% de su promedio t_s). Norma ASTM D-2857-87.

tres determinaciones consecutivas, las cuales no pueden variar en mas de 0.1% de su promedio (t).

t/t_s = viscosidad relativa. Es la relación entre el tiempo que demora en caer cada solución, con respecto al solvente respectivo, a la misma temperatura.

t = es el tiempo en min que demora en caer cada solución, en el viscosímetro de Ostwald, a 36C. Es el promedio de

* Es el % de la variación de cada medida con respecto al valor de t .

Tabla 2: Viscosidad relativa soluciones de PVOH de Mw 178.542 dalton.

En agua: el $t_s = 1.0368$					
C (g/mL $\times 10^{-3}$)	Repetición			t	t/t_s
	1	2	3		
7.00	1.4121	1.4128	1.4118	1.4122	1.362
* % Variación	0.007	0.04	0.03		
7.60	1.4574	1.4562	1.4579	1.457	1.405
* % Variación	0.03	0.05	0.06		
8.15	1.5077	1.5073	1.5075	1.5075	1.4540
* % Variación	0.01	0.01	0.00		
8.45	1.5345	1.5343	1.5347	1.5345	1.4800
* % Variación	0.00	0.01	0.01		
En medio: el $t_s = 1.0662$					
C (g/mL $\times 10^{-3}$)	Repetición			t	t/t_s
	1	2	3		
6.97	1.4849	1.4841	1.4853	1.4848	1.392
* % Variación	0.007	0.05	0.03		
7.97	1.5193	1.5190	1.5196	1.5193	1.424
* % Variación	0.00	0.02	0.02		
8.18	1.5481	1.5489	1.5481	1.5484	1.452
* % Variación	0.02	0.03	0.02		
8.68	1.5872	1.5874	1.5870	1.5872	1.488
* % Variación	0.00	0.01	0.01		

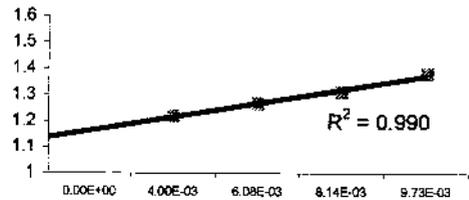
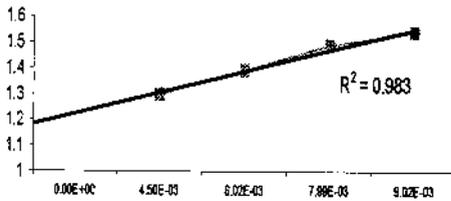
Tabla 3: Viscosidad intrínseca obtenida para PVOHs de diferente \overline{M}_w , en medio de expresión y en agua a 36°C.

\overline{M}_w (dalton)	Viscosidad Intrínseca a 36 °C. (mL/g)	
	En agua	En medio
98.970	1.140	1.18
178.642	1.305	1.345

En medio de cultivo

En agua

M_w 98.970



M_w 178.642

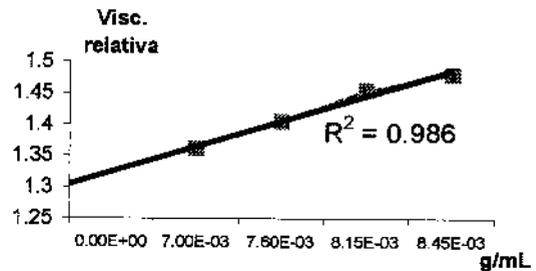
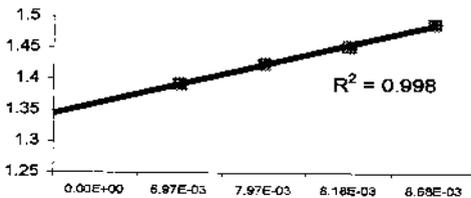


Figura 1: Viscosidad relativa vs. Concentración (g/mL) de muestras de PVOH de diferente peso molecular, en medio de expresión y en agua, a 36 °C.

VISCOSIDAD INTRÍNSECA DEL POLIVINIL ALCOHOL (PVOH) EN UN MEDIO DE CULTIVO Y EN AGUA

Para encontrar los parámetros de la ecuación de Mark-Houwink, se relacionan la viscosidad intrínseca obtenida para dos de los polímeros, con su respectivo peso molecular experimental:

$$[\eta]_{178.542} = K' \times 178.542^a \quad (VI)$$

$$[\eta]_{98.970} = K' \times 98.970^a \quad (VII)$$

Relacionando y resolviendo la ecuación I y II, se obtienen los valores de los parámetros a y K' de la ecuación de Mark-Houwink. Los valores obtenidos para las muestras de PVOH en el medio de cultivo y en agua, a 36°C, se muestran en la tabla 4.

Tabla 4: Parámetros de la ecuación de la ecuación de Mark-Houwink (mL/g), de muestras de PVOH en agua y en medio de cultivo, a 36°C.

Parámetro (36°C)	a	K
Agua	0.23	0.083
Medio de cultivo	0.22	0.093

4. DISCUSIÓN.

El PVOH presenta un comportamiento irregular en soluciones acuosas (Finch, 1992), y este podría variar aún más en un medio de disolución complejo como son los medios de cultivo microbiano, que contienen componentes orgánicos y sales iónicas. Existen varias calidades o tipos comerciales de PVOH cuyas propiedades básicas dependen de su grado de polimerización (GP) y de su grado de hidrólisis (GH). Según el GH se clasifican en PVOHs totalmente hidrolizados con GH del 98%

aproximadamente, los parcialmente hidrolizados, con 87-89% de GH y con bajo GH menor del 87%. Su solubilidad en agua depende especialmente de su GH. Si hay muchos grupos oxidrilo, hay fuertes enlaces de hidrógeno intra e intermoleculares entre ellos, impidiendo su solubilidad en agua. En los PVOH parcialmente hidrolizados, hay grupos acetato residuales, que debilitan o rompen las uniones intra e intermoleculares entre los grupos hidroxilo aumentando la solubilidad en agua. (Finch, 1973 y 1992). Pero un gran aumento de la cantidad de grupos acetato, decrece la solubilidad en agua.

El PVOH totalmente hidrolizado es soluble solamente en agua hirviendo, mientras que los PVOHs parcialmente hidrolizados (88%) son solubles a temperatura ambiente. El PVOH con 80% de hidrólisis es soluble solamente en agua entre 10-40°C. Por encima de 40°C, la solución empieza primero a ser turbia (llamado punto de enturbiamiento) y luego precipita (Finch, 1973 y 1992).

Dependiendo de la concentración de los electrólitos, en un medio de cultivo, la conformación de la molécula tendrá dos fuerzas opuestas: la repulsión electrostática de los grupos carboxilo que inflan la espiral o la atracción entre los carboxilos y los iones de carga positiva en la solución que tienden a incrementar la densidad del espiral o causan un enrollamiento mas fuerte de las moléculas (Brannon and Harland, 1999). Aunque el agua no es un buen solvente para el PVOH, debido a los múltiples enlaces de hidrógeno que se forman, en el medio de cultivo es de esperarse que la espiral del polímero estará mas inflada, por la alta concentración de iones que contiene. Los valores de K' generalmente varían entre 5×10^{-4} y 0.5. Los valores de a para muchos sistemas caen entre 0.6 y 0.8 (Kauffman and Falcetta, 1977). Valores elevados del exponente a , resultan de la adecuada interacción polímero-solvente, dando lugar a cadenas muy expandidas del polímero o de libre drenaje. Los valores de a

bajos obtenidos en éste trabajo, confirman que el agua y el medio de cultivo no son los mejores solventes para el PVOH, pero sus valores tan similares evidencian que la conformación de la molécula es similar en ambos sistemas. Además explica las múltiples investigaciones que se realizan para mejorar la propiedades de biopolímero del PVOH, con el fin de obtener mejores propiedades hidrodinámicas en estos medios de disolución o fluidos biológicos.

La temperatura de 36°C también puede ser una causa para que las soluciones de PVOH presenten un comportamiento inverso de solubilidad con temperatura, o termofóbico. Este valor de temperatura está cerca al valor de 40°C, donde se produce enturbiamiento de soluciones de PVOH con 80% de GH. Un aumento de temperatura, pudo inducir a una separación o formación de un cristal líquido, disminuyendo la solubilidad del polímero a esa temperatura.

Es de esperarse, que la $[\eta]$ del PVOH en agua y en el medio de cultivo y los parámetros a y K' de la ecuación de Mark-Houwink serian significativamente diferentes si existiera interacción entre el PVOH y los componentes del mismo.

En este trabajo se obtuvo que los parámetros, a y K' , determinados a la misma temperatura, no variaron significativamente y por tanto no hubo

alteración apreciable de la viscosidad del PVOH disuelto en el medio de cultivo, con relación a la del PVOH disuelto en agua. La viscosidad intrínseca es proporcional al volumen hidrodinámico efectivo de la molécula, es decir el volumen ocupado por las moléculas enrolladas al azar disueltas en un solvente específico. Por lo tanto, se puede inferir que el PVOH disuelto en el medio de cultivo, no está asociado químicamente con los componentes del mismo, específicamente con las sales iónicas, con las cuales presenta mayor reactividad, dando lugar a un compuesto de peso molecular diferente al PVOH disuelto en agua.

Lo anterior implica que el comportamiento del PVOH en el medio de cultivo para la expresión de las enzimas, es similar al comportamiento del PVOH en agua y por tanto, las soluciones de PVOH tomadas directamente a partir de su disolución en el medio de cultivo donde se producirán los extractos enzimáticos, podrán usarse directamente para la determinación de su *Mw* por SEC.

Se confirma además que la viscosidad intrínseca $[\eta]$ y su correlación con el peso molecular del mismo, siguen siendo una herramienta muy importante y sencilla para caracterizar el tamaño y la estructura molecular de un polímero.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CODI (Universidad de Antioquia), por la financiación del presente trabajo de investigación.

6. BIBLIOGRAFÍA.

ASTM D-2857-87. Standard practice for diluted solution viscosity of polymers, 425-428.

Ajroldi G., Marchionni G. And Pezzin G. "The viscosity-molecular weight relationships for diolic perfluoropolyethers", *Polymer*, 40 (14), 4163-4164, 1999.

Billmeyer F W. "Textbook of Polymer Science", Wiley Sons, 208-213, 1984.

Breitenbach A. and Kissel T. "Biodegradable comb polyesters: Part 1. Synthesis, characterization and structural analysis of poly(lactide) and poly(lactide-co-glycolide) grafted onto water-soluble poly(vinylalcohol) as backbone", *Polymer*, 39 (14), 3261-3271, 1998.

Brannon-Peppas L. and Harland R. S. "Science of Polymers Studies 8, Polymers absorbents technology", Elsevier, 1990.

Daniliuc L. and David C. "Intermolecular interactions in blends of poly(vinylalcohol) with poly(acrylic Acid): 2.

Correlation between the states of sorbed water and the interactions in homopolymers and their blends", *Polymer*, 37 (23), 5219-5227, **1996**.

Daojie D. and Fricke A. L. "Intrinsic Viscosity and the molecular weight of kraft lignin". *Polymer* 36 (10), 2075-2078. **1995**.

Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, Vol 1 John Wiley Sons, pág 149-198 y 85-612, **1969**.

Finch. C. A. J. Ed. Polyvinyl alcohol. "Propiedades and aplicaciones". Chapter 1-8. Wiley, Sons, **1973**.

Finch. C. A. J. Ed. Polyvinyl alcohol. "Developments". Chapter 1, 4, 5, 6, 7, 11, 19. Wiley Sons, **1992**.

Fritz H. G. "A study on production of thermoplastics and fibres based mainly on biological materials". Institut für Kunst. Stuttgart. 184-187. **1994**.

Gordon, L. R. "Food Packaging. Principles and practice". New York. pág. 36-40. **1993**.

Kauffman, Herman S. and Falcetta, Joseph J. Ed. "Introduction to polymer science and technology. An SPE textbook". Wiley Intersc. U.S.A., 184, **1977**.

Lozinsky V. I., Domotenko L.V., Zubov a.I. and Simenel I.A. "Study of cryostructuration of polymer systems. XII. poly(vinyl alcohol)cryogels: Influence of low molecular

electrolytes". *J. of applies Polymer Science*, 61 (11), 1991-1998, **1996**.

Mori Y., Tokura H. and Yoshikawa M. "Propiedades of hidrogels synthesized by freezing and thawing aqueous". *J. of Material Sciences*, 32 (2), 491-496, **1997**.

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**.

Moroi Y. "Micelles. Theoretical and applied aspects Interactions between amphiphiles and Polymers". Chapter 13. Plenum Press. New York, 233-248, **1970**.

Osswald T.A. and Menges G. "Polymer Material Sciences". Madison, Wisconsin USA, 7-87, **1995**.

Nielson R. Waters Chromatography Division, 452-473, **1997**.

Paradossi G., Lisi R., Paci M. and Crescenzi V. "New chemical hidrogels based on poly (vinylalcohol)". *J. of Polymer Science.Part A*, 34 (16), 3417-3425, **1996**.

Penninckx M. and Jiménez G. A. "Transformación Microbiológica de la Biomasa, Curso teórico-práctico". Université Libre de Bruxelles and Universidad de Antioquia. Medellín, Abril 22-27, **1996**.

Robertson G. L. "Food Packaging, Principles and practice" N. York, Chapter 2, pag 36, **1993**.

Ruckenstein E. and Liang L. "Poly (acrylic acid)-poly(vinyl alcohol) semi-and-interpenetrating". J. of applied Polymer Science, 62 (7), 973-987, 1996.

Sánchez-CH. M., Arranz F. and Cortazar M. "Poly (vinyl alcohol) functionalized by monosuccinate groups. Coupling of bioactive amino compounds". Polymers, 39 (13), 2751-2757, 1998.

Tomita N., Nagata N. and Ikada Y. "Strength change of high-strength poly (vinylalcohol) fiber in vivo" Symposium Biomateriales, USA, v 2, 1996.

Writer, S. "Biodegradable Plastics". Techno Japan, 28(4), 10-32, 1995.

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 Technology, 53 (11), 761-763, 1996.

Zammit M. D., Davis T. P. and Suddaby K. G. "Factors influencing detector matching in multidetector SEC: solvent and concentration effects", Polymer, 39 (23), 5789-5798, 1998.

Fecha de Recepción: Agosto 17 de 1999

Fecha de Aceptación: Septiembre 9 de 1999

LABORATORIO ESPECIALIZADO DE ANÁLISIS LEA

Presta el servicio de verificación de la calidad a materias primas, medicamentos, alimentos, cosméticos y similares.



Mayores Informes

Teléfono: 210 54 58 - Telefax: 210 54 56

E-Mail: lea@muiscas.udea.edu.co