

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN  
INSTITUTO DAN BENINSON

ESPECIALIZACIÓN EN RADIOQUÍMICA Y APLICACIONES  
NUCLEARES

TESIS  
DE  
POSGRADO

PATRÍCIA MACHADO NABINGER

BUENOS AIRES, 2010

PATRÍCIA MACHADO NABINGER

CONTROL DE LA RADIODEGRADACIÓN DE POLÍMEROS  
NATURALES MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DEL PESO  
MOLECULAR POR MEDICIÓN DE VISCOSIDAD

Tesis de Posgrado del Curso de  
Especialización en Radioquímica y  
Aplicaciones Nucleares de Universidad  
Nacional de San Martín y Instituto  
Dan Beninson

DIRECTORES DE TESIS

Profº. Dr. Eduardo E. Smolko

Profº. Dr. Ángel Mondino

BUENOS AIRES, 2010

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Eduardo Smolko

Al Dr. Ángel Mondino

A Marcelo

A mis maestros en el curso

A mis colegas de curso

A mis padres, Eloir y João Pedro

*“O tempo não pára! Só a saudade  
é que faz as coisas pararem  
no tempo...”*

Mário Quintana

## SUMÁRIO

<b>Abstract.....</b>	<b>6</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>7</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1. Polímeros.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2. Hidrogeles.....</b>	<b>9</b>
<b>1.3. Carregenina.....</b>	<b>10</b>
<b>1.4. Alginato.....</b>	<b>11</b>
<b>1.5. Quitosano.....</b>	<b>12</b>
<b>1.6. Radiación ionizante.....</b>	<b>13</b>
<b>1.7. Viscosimetría.....</b>	<b>15</b>
<b>2. Objetivos.....</b>	<b>17</b>
<b>3. Metodología.....</b>	<b>18</b>
<b>3.1. Materiales.....</b>	<b>18</b>
<b>3.2. Métodos.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.1. Irradiación.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.2. Soluciones.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.3. Medición del tiempo.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.4. Cálculos.....</b>	<b>21</b>
<b>3.2.5. Dosimetría.....</b>	<b>22</b>
<b>4. Resultados y Discusión.....</b>	<b>23</b>
<b>5. Perspectivas.....</b>	<b>24</b>
<b>6. Referencias.....</b>	<b>25</b>
<b>7. Anexos.....</b>	<b>27</b>
<b>8. Trabajos realizados.....</b>	<b>51</b>

## ABSTRACT

Applications are now being made in various fields of oligosaccharides obtained by the depolymerization of large molecules such as natural alginates, carrageenan, pectin and chitosan. Find use in various disciplines such as crop production, sanitation, pharmacy, cosmetics, etc.

Given the diversity of origins of these materials, almost all of marine origin, was the need for universal methods for recognition and composition, then the possible ways to get processed. A centralized program by the IAEA is promoting the use of ionizing radiation for these changes. This paper presents the calculations used to obtain the molecular weight of polysaccharides from determinations of viscosity. It has been found the molecular weight of sodium alginate, kappa-carrageenan and chitosan irradiated with cobalt-60 gamma rays at doses between 2 and 35 kGy in solid state. We used a capillary Cannon Viscometer Ubbelohde-type and a protocol for standardized calculation procedure for this purpose.

Were obtained reading times for passage through the capillary Viscometer, with various concentrations of polymer solutions of virgin material and the irradiated and from there calculated the relative viscosities, specific, inherent, reduced and intrinsic and then using the ratio of Mark-Houwink-SAKURADA calculate the viscosity average molecular weight of the different polymers. The changes found in the molecular weights by radiodepolimerización reach two orders of magnitude in some cases giving oligosaccharides of 8-12 monomer units. It is considered that this depolymerization method is effective and inexpensive compared to enzymatic or chemical methods.

The result achieved with a polymer (chitosan), is part of a collaborative trial of standardization of measurements at the international level organized by the IAEA within the coordinated research program called: Development of Radiation-processed products of Natural Polymers for application in Agriculture, Healthcare, Industry and Environment.

## RESUMEN

Actualmente se realizan aplicaciones de oligosacáridos en diversos campos, obtenidos mediante la depolimerización de grandes moléculas naturales como los alginatos, carrageninas, pectinas y quitosanos. Hallan su utilización en diversas disciplinas tales como la producción vegetal, artículos sanitarios, farmacia, cosmética, etc.

Dado la diversidad de orígenes de estos materiales, casi todos de origen marino, se vio la necesidad de obtener métodos universales para su reconocimiento y composición, luego de las posibles maneras de obtener su transformación. Un programa centralizado por el OIEA, está promoviendo la utilización de las radiaciones ionizantes para obtener esos cambios. Este trabajo presenta los cálculos realizados para obtener el peso molecular de polisacáridos mediante determinaciones de la viscosidad. Se ha hallado así el peso molecular del alginato de sodio, de la kappa carragenina y del quitosano natural y el de los irradiados con rayos gamma del cobalto 60 con dosis entre 2 y 35 kGy en estado sólido. Se utilizó un viscosímetro capilar Cannon tipo Ubbelohde y un protocolo para el procedimiento de cálculo estandarizado para ese fin.

Se obtuvieron los tiempos de lectura para el pasaje por el capilar del viscosímetro, de distintas concentraciones de las soluciones poliméricas del material virgen y el de los irradiados y a partir de allí se calcularon las viscosidades relativas, específicas, inherentes, reducidas e intrínsecas para luego empleando la relación de MARK-HOUWINK-SAKURADA calcular el peso molecular promedio viscoso de los distintos polímeros. Las modificaciones encontradas en los pesos moleculares por la radiodepolimerización alcanzan a dos órdenes de magnitud dando en algunos casos oligosacáridos de 8-12 unidades monoméricas. Se considera que este método de depolimerización resulta efectivo y económico comparado con los métodos enzimáticos o químicos.

El resultado alcanzado con uno de los polímeros (quitosano), forma parte de un ensayo colectivo de normatización de mediciones a nivel internacional, organizado por el OIEA dentro del programa de investigación coordinado denominado: Desarrollo de productos procesados por radiaciones a partir de polímeros naturales para su aplicación en la agricultura, el cuidado de la salud, la industria y el medio ambiente.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Polímeros

Los polímeros son moléculas de alto peso molecular formadas por la repetición de monómeros, unidos a través de enlaces covalentes, formando polímeros lineales o retículos tridimensionales. El polímero contiene moléculas que poseen distintas longitudes de cadenas y pesos moleculares. Por ese motivo, el peso molecular de los polímeros se define en términos estadísticos, a través del cálculo del peso molecular promedio en función de diversas variables, como el número de moléculas, el peso y la viscosidad de la muestra (Seymour, 1987). Este último fue utilizado en este trabajo para determinar el peso molecular de tres polímeros naturales: la carragenina, el alginato y el quitosano.

Los monómeros que forman el polímero pueden estar ubicados de distintas maneras en el copolímero, como muestra la figura 1.



Figura 1: a) Homopolímero; b) Copolímero alternante; c) Copolímero en bloque; d) Copolímero aleatorio; e) Copolímero de injerto.

Los polímeros pueden ser lineales, ramificados o entrecruzados, formando una red cristalina tridimensional.

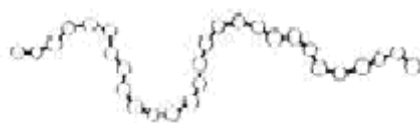


Figura 2: Polímeros lineales.

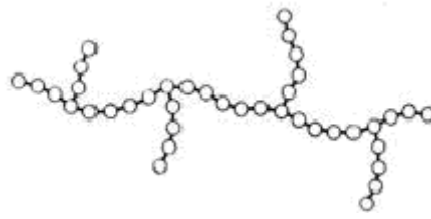


Figura 3: Polímeros ramificados.

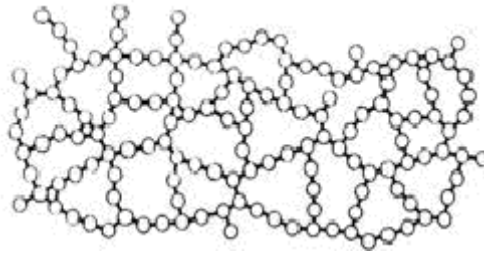


Figura 4: Polímero entrecruzado.

La irradiación de polímeros es utilizada para inducir cambios físicos en la estructura de los polímeros. La degradación de los polímeros por la radiación es demostrada por la disminución del peso molecular medio, que es directamente proporcional a la cantidad de radiación recibida. Puede ser por reticulación (acompañada por gelificación y por la insolubilización de la solución del polímero) o por entrecruzamiento (tiene un efecto benéfico sobre las propiedades mecánicas de algunos polímeros, acrecentando estabilidad y resistencia a flujo y a altas temperaturas). (Billmeyer, 1984).

## 1.2. Hidrogeles

En la actualidad, el grupo más grande de los materiales utilizados para fines biomédicos son los polímeros. El polímero, para que sea considerado un biomaterial, debe cumplir ciertos requisitos tales como: no toxicidad, la funcionalidad, biocompatibilidad y deben ser fácilmente esterilizables (Rosiak *et al.*, 1995). Hay un gran interés en el uso de hidrogeles como matrices para formar un sistema de liberación controlada de fármacos. En general, los requisitos de la aplicación son un material

biocompatible, resistente a la degradación y al estrés mecánico. Los hidrogeles son constituidos por una red tridimensional de cadenas poliméricas hidrofílicas, que pueden absorber una gran cantidad de agua. Generalmente, estos materiales contienen una mayor cantidad de agua que de polímero.

Hidrogeles “permanentes” necesitan que las cadenas poliméricas sean entrecruzadas por ligaciones covalentes. El entrecruzamiento puede ser más fácilmente alcanzado con el uso de radiación ionizante. La radiación ionizante puede ser utilizada con una variada gama de tipos de polímeros y a temperatura ambiente, y no necesita el uso de iniciadores o aditivos que pueden dejar residuos. En el caso del uso de los hidrogeles con fines médicos, lo ideal es que la solución del polímero y del solvente ya estén en un a bolsa sellada y entonces sean sometidos a la irradiación. Así, el producto final ya está esterilizado (Rosiak *et al.*, 1999). Este proceso tiene la ventaja de la promoción del entrecruzamiento simultáneo a la esterilización de la matriz de polímero (Miranda *et al.*, 1999).

### 1.3. Carragenina

Carragenina es un hidrocoloide extraído de algas rojas de las especies *Gigartina*, *Hypnea*, *Eucheuma*, *Chondrus* y *Iridaea*. Se utiliza en diversas aplicaciones en la industria alimentaria como espesante, agente gelificante, agente de suspensión y estabilizador, tanto en sistemas acuosos y en sistemas de productos. La carragenina es un ingrediente multifuncional y se comporta de manera diferente en el agua y en la leche. En el agua, normalmente, se presenta con propiedades hidrocoloide como espesantes y gelificantes. En la leche, tiene la propiedad de reaccionar con las proteínas y proporcionar funciones de estabilizadores. También puede ser utilizado como agente de suspensión, retención de agua, gelificación, emulsificación y estabilización en varias aplicaciones industriales. Se clasifica según su estructura y propiedades fisicoquímicas: kappa - gel duro, frágil, reversible en calor, alta fuerza de gel, sinéresis presente. iota - termo gel elástico, reversible, no muestra sinéresis, tiene propiedad tixotrópica. lambda - soluble en frío, no gelificante, produce alta viscosidad. La carragenina se encuentra en la pared celular y de la matriz intercelular de los tejidos de las algas. Se trata de un polisacárido de alto peso molecular, éster de contenido de sulfato de 15% al

40% compuesto por la alternancia de las unidades de D-galactosa y 3,6-anhidro-galactosa (3,6-AG) unidas por enlaces  $\alpha$ -1, 3 y  $\beta$ -1, 4-glicosídico.

Soluciones kappa e iota carragenina, tienen la capacidad de formar geles termo-reversible por enfriamiento. Este fenómeno se produce debido a la formación de una estructura de doble hélice de la carragenina de polímero. La viscosidad de soluciones de carragenina depende de la concentración, la temperatura, presencia de otros solventes, el tipo de carragenina y peso molecular. A un mayor peso molecular, deberá haber una mayor concentración o deberá bajar la temperatura de la solución, lo que aumenta considerablemente la viscosidad (Calvo, 2004; Trius y Sebranek, 1996; Oakenfull y Scott, 1990).

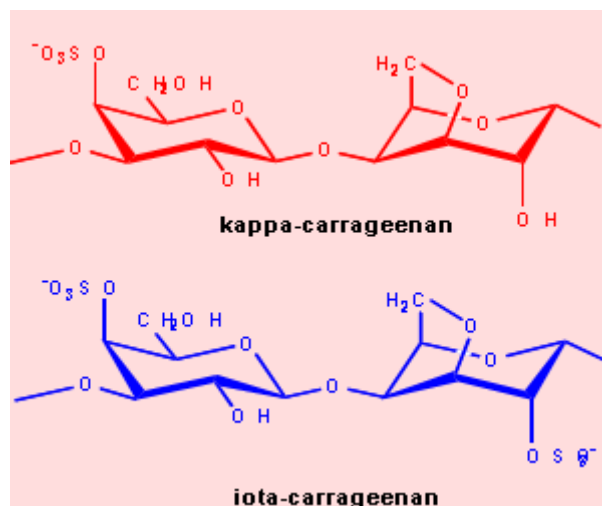


Figura 5: Estructura molecular de kappa-caragenina y de iota-carragenina.

#### 1.4. Alginato

El alginato es un polisacárido que se obtiene de algunas algas pardas, de gran tamaño, entre las que se encuentran *Laminaria hyperborea* y *Laminaria digitata*. El alginato está formado por dos tipos de monosacáridos, los dos con un grupo ácido, el ácido gulurónico y el ácido manurónico. Las algas sintetizan el alginato inicialmente como un polímero de ácido manurónico, que posteriormente modifican, transformando unidades de manurónico en gulurónico mediante una epimerización enzimática. El producto final contiene zonas formadas por gulurónico, zonas formadas por manurónico y zonas con gulurónico y manurónico alternados. Las zonas de ácido manurónico son

casi planas, mientras que las de ácido gulurónico presentan una estructura con entrantes y salientes. El contenido relativo de cada uno de estos bloques de depende del tipo de alga y de las condiciones de su crecimiento. Las zonas con gulurónico son preferentemente zonas de unión entre cadenas, mientras que las de manurónico son las de interacción preferente con el agua. Las cadenas de alginato pueden asociarse en forma múltiple, dependiendo de la cantidad de calcio presente, dando más rigidez al gel (Calvo, 2004; Imeson, 1990).

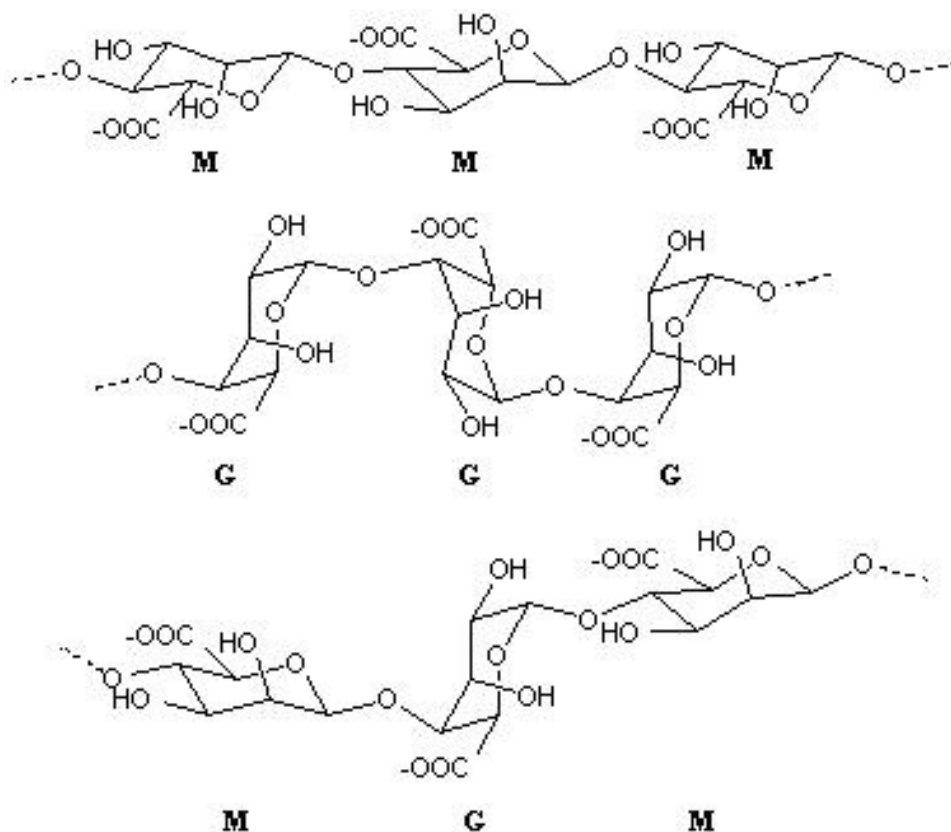


Figura 6: Estructura molecular del alginato (M=Ácido Malurónico; G=Ácido Gulurónico)

### 1.5. Quitosano

La quitina es un material existente como componente de los exoesqueletos de invertebrados y de las paredes celulares de algunos hongos y algas. El quitosano, un biopolimero hidrofílico, es el principal derivado de la quitina y se obtiene industrialmente mediante tratamiento de deacetilación química o enzimático (Chamorro,

2006). Dependiendo de las condiciones de reacción, se obtienen quitosanos de diferentes pesos moleculares y grados de deacetilación, lo que lo hace útil para diversas aplicaciones, como el procesamiento de alimentos, la industria farmacéutica, la medicina y la agricultura (Muzzarelli *et al.*, 1987). Sus características biológicas, como la biocompatibilidad y la biodegradabilidad hicieron con que este material sea utilizado comúnmente en el área de la salud. Las propiedades del quitosano se deben, principalmente, a su peso molecular (Dong *et al.*, 2000). Los oligómeros de quitosano tienen mejores actividades antimicrobianas (Kumar *et al.*, 2000) y de coagulación de la sangre (Muzzarelli *et al.*, 1987) en comparación con quitosanos de alto peso molecular.

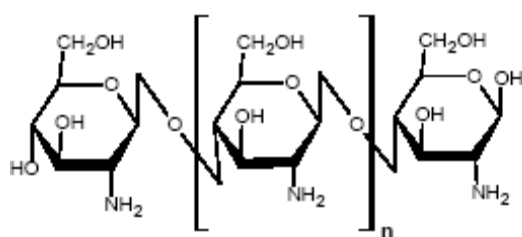


Figura 7: Estructura molecular del quitosano.

### 1.6. Radiación ionizante

El término radiación ionizante abarca un gran número de diferentes tipos de radiación, muchos de los cuales son ondas electromagnéticas de alta energía, es decir, los rayos X, rayos gamma y haces de partículas cargadas, que directamente ionizan las moléculas del medio irradiado. Sin embargo, el mismo término también puede ser utilizado para describir otros tipos de radiación, como las partículas aceleradas sin carga, las cuales no producen ionización directamente, sino que son capaces de transferir su energía a otras partículas, como neutrones (Chapiro, 1962). Los rayos gamma son ondas electromagnéticas de alta energía de la misma naturaleza de la luz visible o ultravioleta, pero de menor longitud de onda. Son generados por los núcleos de los isótopos radiactivos naturales o artificiales, siendo el más utilizado del  $^{60}\text{Co}$ , debido a su larga vida media y su facilidad de preparación (Bettini, 1992). La absorción de la radiación por la materia y se produce a través de interacciones con el núcleo de los átomos y la nube de electrones alrededor de ella (Spinks y Woods, 1990; O'Donell y Sangster, 1970). Los tres procesos más

importantes de la absorción de la radiación por la materia son el efecto fotoeléctrico, efecto Compton y la producción de pares. La prevalencia relativa de estos tres procesos depende de la energía del fotón incidente, el número atómico y la densidad de electrones del medio ambiente. En el efecto fotoeléctrico, toda la energía liberada por el fotón incidente se transfiere al electrón de la molécula irradiada. En el efecto Compton, un fotón interactúa con un electrón, que puede estar débilmente ligado al átomo o estar libre. Parte de la energía del fotón incidente se transmite a los electrones, que son acelerados, y la otra parte es utilizada en la creación de otro fotón con energía menor que la incidente. En la producción de pares electrónicos, hay una interacción entre el fotón incidente y el campo eléctrico del núcleo del átomo. En esta interacción, cuando el fotón tiene una energía adecuada y pasa junto a un campo eléctrico existente en torno al núcleo de un átomo, su energía es totalmente absorbida, produciendo un electrón y un positrón, que se aniquila y libera dos rayos gamma de 0,511 MeV en direcciones opuestas. En polímeros irradiados con rayos gamma de una fuente de  $^{60}\text{Co}$ , la energía media de 1,25 MeV, el efecto Compton es predominante (Spinks y Woods, 1990).

Es sabido que los materiales poliméricos están sujetos a la acción de varios agentes que causan cambios en su estructura. Estos agentes como la luz, el calor, los productos químicos y las especies biológicas pueden causar un cambio en las propiedades físicas y químicas, proceso que se llama degradación. Schnabel (1981) define la degradación como cambios en las propiedades físicas y químicas de los polímeros por la ruptura de las ligaciones de la cadena principal de la macromolécula, lo que lleva a la disminución del peso molecular del polímero.

Debido a la importancia tecnológica y científica de los polímeros, hay gran interés en conocer las alteraciones inducidas por varios agentes, sus mecanismos y cómo evitar o reducir los cambios de sus propiedades o utilizar estas variaciones para fines específicos. Las radiaciones de alta energía son importantes agentes de modificación de polímeros y tienen gran importancia industrial, por ejemplo, en la esterilización de dispositivos médicos y productos farmacéuticos, muchos de los cuales son polímeros. Otro ejemplo es el entrecruzamiento inducido por radiaciones ionizantes, alambres y cables para la industria eléctrica y automóvil.

Muchos trabajos se han publicado sobre los efectos de la radiación de alta energía en polímeros, que buscaban una mejor comprensión de los efectos de la interacción de la radiación, principalmente en relación a los cambios en las propiedades físicas y la dependencia de la estructura de unidades repetitivas que hacen la cadena polimérica (Jellinek, 1959). Cuando el polímero es irradiado, puede ocurrir la división de la cadena principal con la formación de radicales libres. Estos radicales pueden recombinarse con otros, con el oxígeno del aire o promover el entrecruzamiento entre las cadenas poliméricas. Durante el proceso de irradiación, la energía será distribuida por la cadena del polímero (Guillet, 1985). Pueden producirse distintas reacciones, en presencia de oxígeno, mientras que otros tipos de especies reactivas también pueden ser formados. Estas reacciones de oxidación pueden ocurrir durante y después de la irradiación, y el proceso de rotura y de entrecruzamiento de las cadenas puede persistir por un período indefinido, incluso después del final de la irradiación. (Farhataziz y Rodgers, 1987).

### 1.7. Viscosimetría

Una de las propiedades más importantes para la caracterización de un polímero es su peso molecular medio. La distribución de los pesos moleculares y la forma del polímero determinan muchas de sus propiedades físicas. Para hacer la determinación del peso molecular, se utilizan de diversas técnicas, principalmente la viscosimetría, la osmometría y la dispersión de la luz. La técnica de la viscosimetría, utilizada en este trabajo, usa el tamaño de las moléculas y el grado de polimerización para la determinación. Es una de las técnicas más utilizadas para evaluar el peso molecular promedio de un polímero, ya que es un método fácil y rápido y la instrumentación para obtener datos sobre el peso molecular es mínima. Esta técnica está basada en la propiedad de que, a una mayor o menor viscosidad de un fluido, la facilidad con que las partículas que lo constituyen se deslizan unas respecto a otras es mayor o menor.

La viscosidad es la propiedad que tiene todo fluido que caracteriza su comportamiento de flujo. En el caso de disoluciones poliméricas, la viscosidad es bastante elevada, por el tamaño de las partículas disueltas, lo que hace con que haya una

gran resistencia al movimiento. La viscosidad de un polímero en disolución depende de la naturaleza del polímero, del disolvente, de la distribución de pesos moleculares, de la concentración y de la temperatura en el momento en que se hace la medición.

La viscosimetría de soluciones diluidas está relacionada con la medida de la habilidad intrínseca de un polímero para incrementar la viscosidad de un disolvente a una temperatura determinada y es útil para obtener información relacionada con el tamaño y la forma de las moléculas de polímero en solución y las interacciones polímero-disolvente (Fernandez, 2003).

## 2. OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo fueron:

- (a) Determinar los pesos moleculares de tres distintos polímeros naturales: carragenina, alginato y quitosano.
  
- (b) Verificar si el método de depolimerización por radiación es efectivo comparado con los métodos enzimáticos o químicos.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Materiales

Para la determinación de la viscosidad intrínseca y del peso molecular medio de las muestras de carragenina y de alginato de sodio, fueron utilizados:

- Estufa a  $60\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$  para desecar las muestras;
- Termómetro de  $0\text{-}100\text{ °C}$ ;
- Balanza analítica Sartorius TE 153S;
- Agitador magnético;
- Pipetas de 1-5 ml y de 1-10 ml;
- Baño con paredes de vidrio a  $25\text{ °C} \pm 0,1\text{ °C}$ ;
- Viscómetro capilar Cannon tipo Ubbelohde ( $V_{\text{min}}$ :10 ml;  $V_{\text{max}}$ : 20 ml);
- Cronómetro;
- Refrigerador;
- Filtros descartables con poros de  $0,45\text{ }\mu\text{m}$ ;
- Tiras de pH;
- Cloruro de sodio 0,1M;
- Ácido acético al 0,2M/acetato de amonio al 0,15M;
- $\kappa$ -Carragenina (Soriano S.A. Calidad 200);
- Alginato de sódio (Aldrich);
- Quitosano Q.

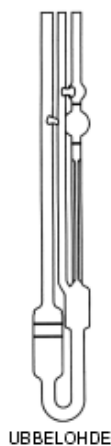


Figura 8: Viscómetro tipo Ubbelöhde.

## 3.2. Métodos

### 3.2.1. Irradiación

Fue utilizada irradiación gamma (Co-60) en una planta de irradiación comercial privada (IONICS S.A.) para la irradiación de la Carragenina y del Alginato. El quitosano fue irradiado en la Planta de Irradiación Semi-Industrial (PISI) de la CNEA. Las dosis teóricas fueron de 2 kGy, 5 kGy, 10 kGy, 25 kGy y 35 kGy. Las dosis reales fueron determinadas con dosímetros de dicromato de potasio líquido, en el Laboratorio de Dosimetría de Altas Dosis de CNEA. Antes de la irradiación, todas las muestras fueron desecadas en estufa a 60 °C por 48-72 horas.

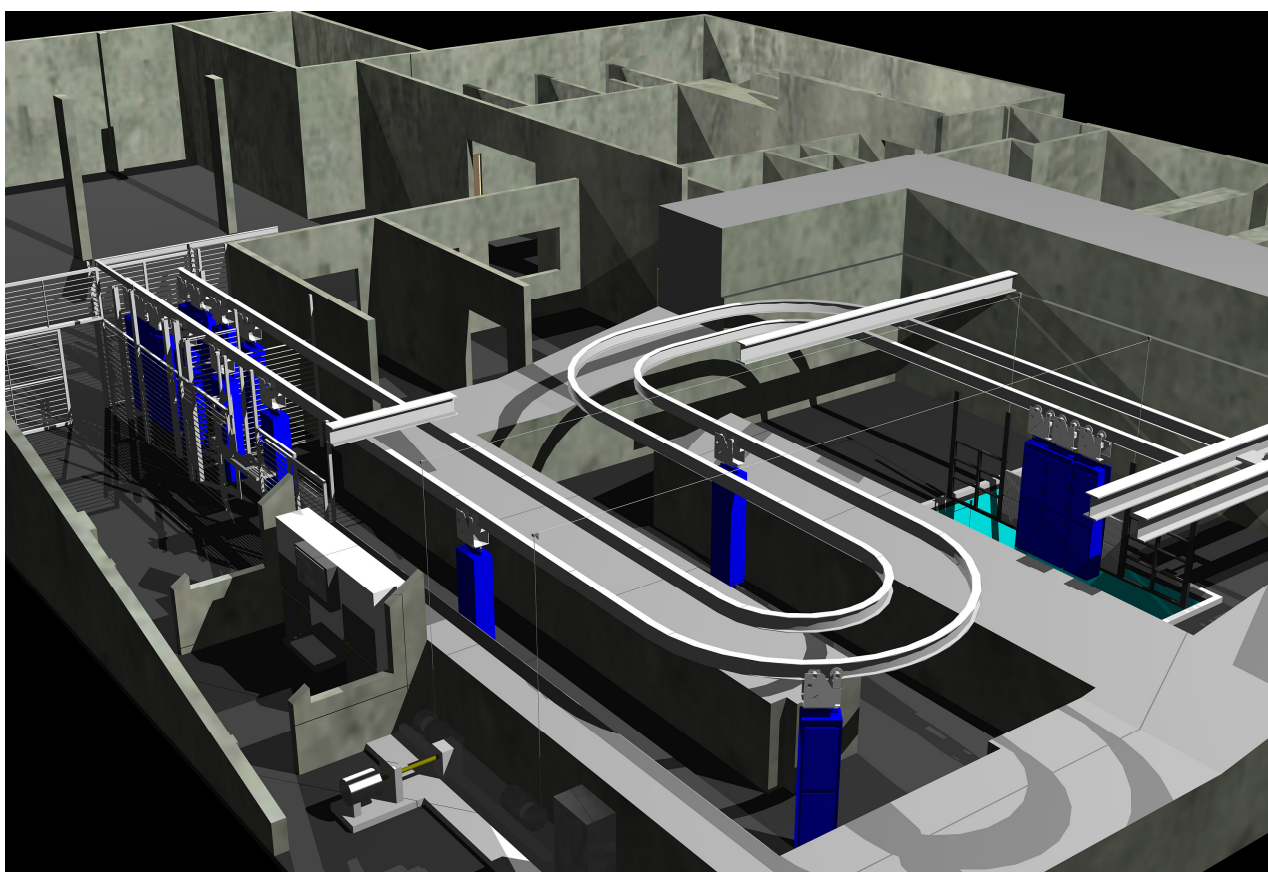


Figura 9: Planta de Irradiación Semi-Industrial (PISI) - CNEA

### 3.2.2. Soluciones

Luego de la irradiación, fueron hechas las soluciones de carragenina y de alginato de sodio, teniendo como solvente el cloruro de sodio al 0,1M, en cada una de las dosis de irradiación.

En las soluciones de quitosano, fue utilizado como solvente una mezcla de ácido acético al 0,2M y acetato de amonio al 0,15M. El pH del solvente fue medido con tiras de pH, y resultó entre  $4,5 \pm 0,5$ , como determinado en el Protocolo para Determinación de la Viscosidad Intrínseca del Quitosano, publicado por la IAEA.

Las soluciones de carragenina y de quitosano fueron hechas con una concentración inicial de 0,1%, y las de alginato de sodio, con una concentración de 0,2%. Todas las soluciones fueron mantenidas en refrigerador a una temperatura de 4°C a 8°C por, como máximo, 3 días.

### 3.2.3. Medición del tiempo

La viscosidad de un fluido se puede relacionar con el tiempo de flujo requerido para que un determinado volumen de solución pase a través de un capilar por efecto de la gravedad. Es común medir la viscosidad por comparación de la viscosidad de la solución con la del solvente puro. De esta determinación se puede sacar los parámetros de viscosidad relativa ( $\eta_r$ ) y de viscosidad específica ( $\eta_{sp}$ ).

Para tener en cuenta el efecto de la concentración en la viscosidad, se utilizan otros dos parámetros, que son la viscosidad reducida ( $\eta_{red}$ ) y la viscosidad inherente ( $\eta_{inh}$ ).

Teniendo estos dos parámetros ( $\eta_{red}$  y  $\eta_{inh}$ ) y haciendo un gráfico de ellos en función de la concentración (en g/dL), es posible tener (a una concentración nula) un nuevo parámetro, la viscosidad intrínseca,  $[\eta]$ . Este parámetro está directamente relacionado con el peso molecular del polímero en solución.

Para la medición del tiempo de caída de la solución, se ha utilizado un viscosímetro capilar Cannon tipo Ubbelohde en un baño con paredes de vidrio a temperatura constante ( $25^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ ), ya que la viscosidad varía mucho con las oscilaciones de temperatura. Los tiempos son medidos con un cronómetro.

En el viscosímetro, se agrega 10 mL de la solución del polímero en la concentración inicial. Para obtener cinco puntos (concentraciones), se agrega una alícuota del solvente para obtener cada una de las concentraciones y se mezcla hasta que la solución esté homogénea.

Fueron hechas cinco mediciones del tiempo (con no más que 1% de diferencia entre ellas) que la solución tardaba en recorrer el espacio entre los dos enrasos del viscosímetro en cada una de las cinco concentraciones distintas, y los cinco tiempos más próximos fueron elegidos para calcular el tiempo medio de caída del solvente.

#### 3.2.4. Cálculos

Para calcular la viscosidad intrínseca  $[\eta]$  de un polímero, es necesario:

- Medir el tiempo de caída de las soluciones (a través del capilar del viscosímetro) en distintas concentraciones y el tiempo de caída del solvente puro en las mismas condiciones;

- Calcular, entonces, la viscosidad relativa  $\eta_{rel}$  y la viscosidad específica  $\eta_{sp}$ , y las viscosidades inherente  $\eta_{inh}$  y reducida  $\eta_{red}$ ;

- Representar las dos últimas en un gráfico en función de la concentración (en g/dL).

Los cálculos utilizados fueron:

- Media aritmética de los cinco tiempos previamente elegidos;

- Corrección de Hagenbach ( $\Delta t_{HC_0} = 9900/t_0^2$ );

- Tiempo corregido ( $t_{0corr} = t_0 - \Delta t_{HC_0}$ );

- Viscosidad relativa ( $\eta_r = t_i(\text{corr})/t_0(\text{corr})$ );
- Viscosidad específica ( $\eta_{sp} = \eta_r - 1$ );
- Viscosidad reducida ( $\eta_{red} = \eta_{sp}/C$ );
- Viscosidad inherente ( $\eta_{inh} = \ln \eta_r / C$ ).

Las viscosidades reducida e inherente fueron graficadas y el punto donde la recta de cada una de ellas cruzaba el eje “y” fue tomado como referencia para el cálculo de la viscosidad intrínseca  $[\eta]$  (media de los dos puntos). Así, la ecuación Mark-Houwink pudo ser utilizada para la determinación del peso molecular medio ( $M = ([\eta]/K)^\alpha$ ). Las constantes Mark-Houwink utilizadas para las determinaciones de los pesos moleculares de la carragenina y del alginato fueron las siguientes:  $K = 2,0 \times 10^{-5} \text{ dm}^3/\text{g}$  y  $\alpha = 0,83$ , encontradas en la literatura. Las constantes Mark-Houwink utilizadas para la determinación del peso molecular del quitosano fueron:  $K = 9,66 \times 10^{-5} \text{ dm}^3/\text{g}$  y  $\alpha = 0,742$ .

### 3.2.5. Dosimetría

La dosimetría fue hecha por el Laboratorio de Dosimetría de Altas Dosis (LDAD), de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Los dosímetros utilizados fueron:

- Para las dosis de 2 kGy y de 5 kGy: Dicromato rango bajas dosis (1 kGy - 10 kGy) - Solución de  $\text{Ag}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  en medio de ácido  $\text{HClO}_4$ .
- Para las dosis de 10 kGy, de 25 kGy y de 50 kGy: Dicromato rango altas dosis (5 kGy - 50 kGy) - Solución de  $\text{Ag}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  en medio de ácido  $\text{HClO}_4$ .

Los informes de la irradiación del quitosano están en los anexos.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todos los resultados obtenidos en este trabajo están presentados en las tablas 1 a 6 en la secuencia. Las tablas y los gráficos presentes en este trabajo muestran que la aplicación de la radiación gamma resultó en una disminución de la viscosidad de las soluciones como causa directa de la irradiación. Los resultados demuestran que, con dosis crecientes de radiación ionizante, el peso molecular de los polímeros naturales utilizados (carragenina, alginato de sodio y quitosano) disminuye, lo que puede ser visto en las figuras 1, 2 y 3 de los anexos. Las modificaciones encontradas en los pesos moleculares por la radiodepolimerización alcanzan a dos órdenes de magnitud, dando, en algunos casos, oligosacáridos de 8-12 unidades monoméricas. La utilización de la radiación ionizante como método de depolimerización de polímeros naturales es posible y competitiva frente a otros métodos de depolimerización. Es un método rápido y eficaz y, a largo plazo, económico, ya que la planta de irradiación tiene distintos usos.

La radiación parece ser la responsable por la degradación de las macromoléculas, produciendo pequeñas unidades de polisacáridos. Como ya es sabido (Urbain, 1986), la modificación más importante por la irradiación es la depolimerización de unidades básicas por la ruptura de las ligaciones glicosídicas.

Para todos los polisacáridos utilizados, la irradiación ha inducido una disminución en la viscosidad en función de la dosis.

Se ha podido determinar la variación de los pesos moleculares de los polisacáridos, de tal manera de conseguir un método de producción de polisacáridos de distintos pesos moleculares, que es muy fácil, directo y económico.

Se considera que este método de depolimerización resulta efectivo y económico comparado con los métodos enzimáticos o químicos.

## **5. PERSPECTIVAS**

A partir de este trabajo, surgen muchas perspectivas. El método de depolimerización por la radiación ionizante puede ser usado con distintos polisacáridos. Estos polisacáridos degradados pueden ser utilizados en la agricultura, en la industria, así como en la medicina. En la agricultura, los polisacáridos degradados encuentran usos en la nutrición del ganado, en la promoción de los cultivos, en la prevención de enfermedades (con el uso del quitosano, principalmente). En la industria, para el desarrollo de nuevos productos y, en la medicina, puede ser utilizado para la fabricación de hidrogeles, lentes de contactos y muchos más productos.

Se puede utilizar este método en polisacáridos naturales encontrados en gran cantidad en la costa argentina, logrando así productos mucho más económicos.

## 6. REFERENCIAS

Bettini, S.H.P. Estudo do efeito da radiação gama sobre as propriedades de blendas baseadas em polipropileno isotático. Campinas. Dissertação (Mestrado) - Univ. Estadual de Campinas. 1992.

Billmeyer, F.W. Textbook of Polymer Science. 3ª Ed. John Wiley & Sons. 1984.

Calvo, M. La Ciencia y la Tecnología de los Alimentos. Algunas notas sobre su desarrollo histórico. Alimentaria, 41 (359), 19-34. 2004.

Chamorro, C.L.V. Obtención de quitosano de pota empleando altas dosis de radiación gamma. Tesis para obtención del título de Químico. Universidad Nacional Mayor de San Marcos – Perú. 2006.

Chapiro, A. Radiation Chemistry of Polymeric Systems, Interscience Publishers, New York, N.Y. 1962

Dong, Y.M., Wang, J.M. y Yuan, Q. Chin. J. Polym. Sci., v. 18(1), p. 15. 2000.

Farhataziz, Rodgers. Radiation Chemistry New York, N.Y.:VHC. 1987.

Fernandez, I.J. Polímeros en solución y aplicación de los polímeros en la industria petrolera. PDVSA-Intevep. Venezuela. 2003.

Guillet, J. Polymer photophysics and photochemistry. New York, N.Y. Cambridge University. 1985.

Imeson, A. Applications of alginates. En: Gums and Stabilisers for the Food Industry 5. IRL Press. Nueva York, 553-562. 1990.

Jellinek, H.H.G., Schlueter, W.A. Journal of Applied Polymer Science, v. 3, n. 8, p. 206-212. 1959.

Kumar, R., Kumar, N. y Majeti, N.V. *React. Funct. Polym.* v. 46(1). 2000.

Miranda, L.F., Lugão, A.B., Machado, L.D.B. Crosslinking and degradation of PVP hydrogels as a function of dose and PVP concentration. *Radiation Physics and Chemistry.*, 55, 709-712. 1999.

Muzzarelli, R.A.A., Lough, C., y Emanuelli, M. The molecular weight of chitosan studied by laser light scattering. *Carbohydr. Res.*, p. 164-433. 1987.

Oakenfull, D.G. y Scott, A. The role of the cation in the gelation of kappa-carrageenan. En: *Gums and Stabilisers for the Food Industry 5*. IRL Press. Nueva York, 507-510. 1990.

O'Donnell, J.H.; Sangster, D.F., *Principles of Radiation Chemistry*, 1 ed., London: Edward Arnold. 1970.

Rosiak, J.M., Ulanski, P. *Radiat. Phys. Chem.* 55,139. 1999.

Rosiak, J.M., Ulanski, P., Pajewski, L.A., Yoshii, F., Makuuchi, K. Radiation formation of hydrogels for biomedical purposes. Some remarks and comments, *Radiation Physics and Chemistry.*, 46, 161-168. 1995.

Schnabel, W. *Polymer Degradation - Principles and Practical Applications*, Hanser International, New York, N.Y. 1981.

Seymour, R.B. *Polymer Chemistry: An Introduction*. 2<sup>a</sup> Ed. Marcel Dekker Ltd. 1987.

Spinks, J.W.T., Woods, R.J. *An Introduction to Radiation Chemistry*. 3.ed., New York, N.Y.: John Wiley & Sons. 1990.

Trius, A y Sebranek, J.G. Carrageenans and their use in meat products. *Critical Rev. Food Sci. Nutr.*, 36 (1-2) 69-87. 1996.

Urbain, W.M. *Food Irradiation*. Academic Press, Orlando, p. 351. 1986.

## 7. ANEXOS

### 7.1. Dosimetría

#### Carragenina y Alginato

<b>Dosis Teórica</b> <b>(kGy)</b>	<b>Dosis Medida</b> <b>(kGy)</b>
2	1,9
5	7,4
10	9,6
25	26,3
35	33,3

#### Quitosano

<b>Dosis Teórica</b> <b>(kGy)</b>	<b>Dosis Medida</b> <b>(kGy)</b>
2	2,435
5	6,0
10	10,0
25	24,3
35	38,0

## 7.2. Tablas y Gráficos

**Tabla 1:** Valores obtenidos para soluciones de carragenina en solvente cloruro de sodio 0,1% en distintas concentraciones y dosis de radiación ionizante.

### No irradiado

Muestra	Solvente	1	2	3	4	5
<b>Concentración del polímero (g/dm<sup>3</sup>)</b>	0	0,555	0,625	0,714	0,833	1
<b>Tiempo individual (s)</b>	102,4	157,2	162,0	171,8	186,1	207
	102,2	157,1	162,1	171,9	185,9	207,1
	102,3	157,3	162,3	171,7	185,8	207,3
	102,4	157,3	162,2	171,7	186	207
	102,6	157,0	162,3	171,8	185,8	207,2
<b>Tiempo medio (s)</b>	102,38	157,18	162,18	171,78	185,92	207,12

### 1,9 kGy

Muestra	Solvente	1	2	3	4	5
<b>Concentración del polímero (g/dm<sup>3</sup>)</b>	0	0,555	0,625	0,714	0,833	1
<b>Tiempo individual (s)</b>	102,4	143,9	147,6	157,5	167,7	182,9
	102,2	143,7	147,9	157,6	167,6	182,9
	102,3	143,9	148,1	157,6	167,8	183,1
	102,4	143,6	147,8	157,3	167,6	182,8
	102,6	143,8	147,9	157,7	168,0	183,1

<b>Tiempo medio</b> (s)	102,38	143,78	147,86	157,54	167,74	182,96
----------------------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

**7,4 kGy**

<b>Muestra</b>	<b>Solvente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Concentración del polímero</b> (g/dm <sup>3</sup> )	0	0,555	0,625	0,714	0,833	1
<b>Tiempo individual (s)</b>	102,4	122,9	126,0	130,1	134,6	141,4
	102,2	123,2	126,0	130,1	134,9	141,4
	102,3	123,1	125,9	129,8	134,9	141,7
	102,4	123,0	126,1	130,2	135,0	141,6
	102,6	123,2	126,2	130,2	134,8	141,7
<b>Tiempo medio</b> (s)	102,38	123,08	126,04	130,08	134,84	141,56

**9,6 kGy**

<b>Muestra</b>	<b>Solvente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Concentración del polímero</b> (g/dm <sup>3</sup> )	0	0,555	0,625	0,714	0,833	1
<b>Tiempo individual (s)</b>	102,4	117,7	120,5	123,1	125,9	130,8
	102,2	117,8	120,4	122,8	125,8	131,0
	102,3	117,9	120,3	122,9	125,8	131,1
	102,4	117,7	120,3	123,0	126,1	130,9
	102,6	118,0	120,4	122,8	125,9	131,2
<b>Tiempo medio</b> (s)	102,38	117,82	120,38	122,92	125,9	131,0

**26,3 kGy**

<b>Muestra</b>	<b>Solvente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Concentración del polímero (g/dm<sup>3</sup>)</b>	0	0,555	0,625	0,714	0,833	1
<b>Tiempo individual (s)</b>	102,4	110,5	112,4	113,8	115,7	118,7
	102,2	110,7	112,5	113,7	116,0	118,5
	102,3	110,6	112,3	113,6	116,0	118,6
	102,4	110,4	112,3	113,7	116,1	118,8
	102,6	110,5	112,4	113,9	116,1	118,6
<b>Tiempo medio (s)</b>	102,38	110,54	112,38	113,74	115,98	118,64

### 33,3 kGy

<b>Muestra</b>	<b>Solvente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Concentración del polímero (g/dm<sup>3</sup>)</b>	0	0,555	0,625	0,714	0,833	1
<b>Tiempo individual (s)</b>	102,4	109,5	110,3	112,2	113,8	116,0
	102,2	109,5	110,1	112,3	113,5	115,9
	102,3	109,8	110,4	112,3	113,5	116,0
	102,4	109,8	110,1	112,1	113,6	116,1
	102,6	109,7	110,4	112,0	113,7	116,0
<b>Tiempo medio (s)</b>	102,38	109,66	110,26	112,18	113,62	116,0

**Tabla 2:** Cálculos de las soluciones de carragenina en solvente cloruro de sodio 0,1% en distintas concentraciones y dosis de radiación ionizante.

**No irradiado**

<b>Muestra</b>	<b>Concentración (g/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>t (med) (s)</b>	<b>ΔtHC (s)</b>	<b>t (cor) (s)</b>	<b>η relativa</b>	<b>η específica</b>	<b>η reducida</b>	<b>η inherente</b>
<b>Solvente</b>	0							
		102,38	0,9445	101,43				
<b>1</b>	0,555	157,18	0,4007	156,77	1,5456	0,5456	0,9830	0,7845
<b>2</b>	0,625	162,18	0,3763	161,80	1,5951	0,5951	0,9522	0,7471
<b>3</b>	0,714	171,78	0,3354	171,44	1,6902	0,6902	0,9666	0,7350
<b>4</b>	0,833	185,92	0,2864	185,63	1,8301	0,8300	0,9964	0,7255
<b>5</b>	1	207,12	0,2307	206,88	2,0396	1,0396	1,0396	0,7127

**1,9 kGy**

<b>Muestra</b>	<b>Concentración (g/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>t (med) (s)</b>	<b>ΔtHC (s)</b>	<b>t (cor) (s)</b>	<b>η relativa</b>	<b>η específica</b>	<b>η reducida</b>	<b>η inherente</b>
<b>Solvente</b>	0							
		102,38	0,9445	101,43				
<b>1</b>	0,555	143,78	0,4788	143,30	1,4127	0,4127	0,7437	0,6225
<b>2</b>	0,625	147,86	0,4528	147,40	1,4532	0,4532	0,7251	0,5980
<b>3</b>	0,714	157,54	0,3989	157,14	1,5492	0,5492	0,7691	0,6130
<b>4</b>	0,833	167,74	0,3518	167,38	1,6502	0,6502	0,7805	0,6013
<b>5</b>	1	182,96	0,2957	182,66	1,8008	0,8007	0,8007	0,5882

**7,4 kGy**

<b>Muestra</b>	<b>Concentración (g/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>t (med) (s)</b>	<b>ΔtHC (s)</b>	<b>t (cor) (s)</b>	<b>η relativa</b>	<b>η específica</b>	<b>η reducida</b>	<b>η inherente</b>
<b>Solvente</b>	0							
<b>te</b>		102,38	0,9445	101,43				
<b>1</b>	0,555	123,08	0,6535	122,42	1,2069	0,2069	0,3728	0,3389
<b>2</b>	0,625	126,04	0,6231	125,41	1,2364	0,2364	0,3783	0,3395
<b>3</b>	0,714	130,08	0,5850	129,49	1,2766	0,2766	0,3874	0,3420
<b>4</b>	0,833	134,84	0,5445	134,29	1,3239	0,3239	0,3889	0,3369
<b>5</b>	1	141,56	0,4940	141,07	1,3907	0,3907	0,3907	0,3298

### 9,6 kGy

<b>Muestra</b>	<b>Concentración (g/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>t (med) (s)</b>	<b>ΔtHC (s)</b>	<b>t (cor) (s)</b>	<b>η relativa</b>	<b>η específica</b>	<b>η reducida</b>	<b>η inherente</b>
<b>Solvente</b>	0							
<b>te</b>		102,38	0,9445	101,43				
<b>1</b>	0,555	117,82	0,7131	117,10	1,1545	0,1545	0,2783	0,2588
<b>2</b>	0,625	120,38	0,6831	119,69	1,1800	0,1800	0,2880	0,2648
<b>3</b>	0,714	122,92	0,6552	122,26	1,2053	0,2053	0,2876	0,2615
<b>4</b>	0,833	125,9	0,6245	125,27	1,2350	0,2350	0,2821	0,2534
<b>5</b>	1	131,0	0,5769	130,42	1,2858	0,2858	0,2857	0,2513

### 26,3 kGy

<b>Muestra</b>	<b>Concentración (g/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>t (med) (s)</b>	<b>ΔtHC (s)</b>	<b>t (cor) (s)</b>	<b>η relativa</b>	<b>η específica</b>	<b>η reducida</b>	<b>η inerente</b>
<b>Solvente</b>	0							
<b>te</b>		102,38	0,9445	101,43				
<b>1</b>	0,555	110,54	0,8102	109,73	1,0818	0,0817	0,1473	0,1416
<b>2</b>	0,625	112,38	0,7839	111,59	1,1002	0,1001	0,1602	0,1527
<b>3</b>	0,714	113,74	0,7652	112,97	1,1137	0,1137	0,1593	0,1509
<b>4</b>	0,833	115,98	0,7359	115,24	1,1361	0,1361	0,1634	0,1532
<b>5</b>	1	118,64	0,7033	117,94	1,1627	0,1627	0,1626	0,1507

### 33,3 kGy

<b>Muestra</b>	<b>Concentración (g/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>t (med) (s)</b>	<b>ΔtHC (s)</b>	<b>t (cor) (s)</b>	<b>η relativa</b>	<b>η específica</b>	<b>η reducida</b>	<b>η inerente</b>
<b>Solvente</b>	0							
<b>te</b>		102,38	0,9445	101,43				
<b>1</b>	0,555	109,66	0,8232	108,84	1,0730	0,0729	0,1314	0,1269
<b>2</b>	0,625	110,26	0,8143	109,44	1,0790	0,0790	0,1263	0,1216
<b>3</b>	0,714	112,18	0,7867	111,39	1,0982	0,0981	0,1375	0,1311
<b>4</b>	0,833	113,62	0,7669	112,85	1,1125	0,1125	0,1351	0,1280
<b>5</b>	1	116,0	0,7357	115,26	1,1363	0,1363	0,1363	0,1278

**Tabla 3:** Carragenina - Valores que interceptan el eje y de los gráficos viscosidad reducida vs. concentración y viscosidad inherente vs. concentración, la viscosidad intrínseca y los pesos moleculares medios.

<b>Dosis (kGy)</b>	<b>Valor 'y' <math>\eta</math> reducida</b>	<b>Valor 'y' <math>\eta</math> inherente</b>	<b><math>\eta</math> intrínseca</b>	<b>Peso Molecular</b>
<b>0</b>	0,8688	0,8453	0,85705	<b>380.797,57</b>
<b>1,9</b>	0,6486	0,6488	0,6487	<b>272.242,87</b>
<b>7,4</b>	0,3546	0,3535	0,35405	<b>131.254,43</b>
<b>9,6</b>	0,2691	0,2682	0,26865	<b>94.120,22</b>
<b>26,3</b>	0,1544	0,1544	0,1544	<b>48.292,12</b>
<b>33,3</b>		0,1258	0,1256	<b>37.657,80</b>

**Tabla 4:** Valores obtenidos para soluciones de alginato de sodio en solvente cloruro de sodio 0,1% en distintas concentraciones y dosis de radiación ionizante.

#### **No irradiado**

<b>Muestra</b>	<b>Solvente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Concentración del polímero (g/dm<sup>3</sup>)</b>	0	1,111	1,25	1,428	1,666	2
<b>Tiempo individual (s)</b>	102,4	151,0	158,9	167,9	182,8	200,5
	102,2	150,8	158,8	167,8	182,9	200,4
	102,3	150,8	159,1	168,1	182,8	200,5
	102,4	150,9	159,2	168,1	182,7	200,4
	102,6	151,0	159,2	168,2	182,9	200,7
<b>Tiempo medio (s)</b>	102,38	150,9	159,04	168,02	182,82	200,5

**1,9 kGy**

<b>Muestra</b>	<b>Solvente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Concentración del polímero (g/dm<sup>3</sup>)</b>	0	1,111	1,25	1,428	1,666	2
<b>Tiempo individual (s)</b>	102,4	145,3	151,0	159,9	171,5	188,6
	102,2	144,9	151,2	159,7	171,4	189,0
	102,3	145,0	151,4	159,9	171,8	189,0
	102,4	145,1	151,4	160,1	171,7	188,7
	102,6	145,0	151,4	159,7	171,7	188,9
<b>Tiempo medio (s)</b>	102,38	145,06	151,28	159,86	171,62	188,84

**7,4 kGy**

<b>Muestra</b>	<b>Solvente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Concentración del polímero (g/dm<sup>3</sup>)</b>	0	1,111	1,25	1,428	1,666	2
<b>Tiempo individual (s)</b>	102,4	130,5	134,8	140,7	147,5	158,1
	102,2	130,6	134,7	140,6	147,3	157,7
	102,3	130,5	134,9	140,8	147,5	158,0
	102,4	130,8	134,8	140,5	147,2	157,9
	102,6	130,6	135,0	140,5	147,6	158,1
<b>Tiempo medio (s)</b>	102,38	130,6	134,84	140,62	147,42	157,96

**9,6 kGy**

<b>Muestra</b>	<b>Solvente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Concentración del polímero (g/dm<sup>3</sup>)</b>	0	1,111	1,25	1,428	1,666	2
<b>Tiempo individual (s)</b>	102,4	128,7	132,2	137,6	144,5	153,7
	102,2	128,7	132,0	137,7	144,2	153,7
	102,3	128,8	132,2	137,7	144,3	153,5
	102,4	128,9	132,3	137,6	144,4	153,3
	102,6	128,7	132,2	137,5	144,2	153,4
<b>Tiempo medio (s)</b>	102,38	128,76	132,18	137,62	144,32	153,52

**26,3 kGy**

<b>Muestra</b>	<b>Solvente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Concentración del polímero (g/dm<sup>3</sup>)</b>	0	1,111	1,25	1,428	1,666	2
<b>Tiempo individual (s)</b>	102,4	120,3	123,0	126,0	130,6	136,5
	102,2	120,5	122,8	126,0	130,4	136,7
	102,3	120,5	122,8	126,1	130,4	136,8
	102,4	120,3	123,0	126,0	130,7	136,9
	102,6	120,6	122,9	126,1	130,5	137,1
<b>Tiempo medio (s)</b>	102,38	120,44	122,9	126,04	130,52	136,8

## 33,3 kGy

<b>Muestra</b>	<b>Solvente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Concentración del polímero (g/dm<sup>3</sup>)</b>	0	1,111	1,25	1,428	1,666	2
<b>Tiempo individual (s)</b>	102,4	118,7	120,8	123,5	127,3	133,3
	102,2	118,5	120,5	123,5	127,1	133,1
	102,3	118,4	120,6	123,6	127,4	133,2
	102,4	118,8	120,6	123,8	127,3	133,3
	102,6	118,5	120,5	123,6	127,4	133,1
<b>Tiempo medio (s)</b>	102,38	118,58	120,6	123,6	127,3	133,2

**Tabla 5:** Cálculos de las soluciones de alginato en solvente cloruro de sodio 0,1% en distintas concentraciones y dosis de radiación ionizante.

## No irradiado

<b>Muestra</b>	<b>Concentración (g/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>t (med) (s)</b>	<b><math>\Delta t_{HC}</math> (s)</b>	<b>t (cor) (s)</b>	<b><math>\eta</math> relativo</b>	<b><math>\eta</math> específica</b>	<b><math>\eta</math> reducida</b>	<b><math>\eta</math> inherente</b>
<b>Solvente</b>	0	102,38	0,9445	101,43				
<b>1</b>	1,11	150,9	0,4347	150,46	1,4834	0,4833	0,4354	0,3552
<b>2</b>	1,25	159,04	0,3914	158,65	1,5640	0,5640	0,4512	0,3578
<b>3</b>	1,428	168,02	0,3506	167,67	1,6529	0,6529	0,4572	0,3519
<b>4</b>	1,666	182,82	0,2962	182,52	1,7994	0,7994	0,4798	0,3526
<b>5</b>	2	200,5	0,2462	200,25	1,9742	0,9742	0,4871	0,3401

**1,9 kGy**

<b>Muestra</b>	<b>Concentración (g/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>t (med) (s)</b>	<b>ΔtHC (s)</b>	<b>t (cor) (s)</b>	<b>η relativa</b>	<b>η específica</b>	<b>η reducida</b>	<b>η inerte</b>
<b>Solvente</b>	0	102,38	0,9445	101,43				
<b>1</b>	1,11	145,06	0,4704	144,59	1,4254	0,4254	0,3833	0,3193
<b>2</b>	1,25	151,28	0,4325	150,85	1,4871	0,4871	0,3897	0,3175
<b>3</b>	1,428	159,86	0,3874	159,47	1,5721	0,5721	0,4007	0,3168
<b>4</b>	1,666	171,62	0,3361	171,28	1,6886	0,6886	0,4133	0,3145
<b>5</b>	2	188,84	0,2776	188,56	1,8589	0,8589	0,4295	0,3100

**7,4 kGy**

<b>Muestra</b>	<b>Concentración (g/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>t (med) (s)</b>	<b>ΔtHC (s)</b>	<b>t (cor) (s)</b>	<b>η relativa</b>	<b>η específica</b>	<b>η reducida</b>	<b>η inerte</b>
<b>Solvente</b>	0	102,38	0,9445	101,43				
<b>1</b>	1,11	130,6	0,5804	130,02	1,2818	0,2818	0,2539	0,2236
<b>2</b>	1,25	134,84	0,5445	134,29	1,3239	0,3239	0,2592	0,2245
<b>3</b>	1,428	140,62	0,5006	140,12	1,3814	0,3813	0,2671	0,2262
<b>4</b>	1,666	147,42	0,4555	146,96	1,4488	0,4488	0,2694	0,2225
<b>5</b>	2	157,96	0,3967	157,56	1,5533	0,5533	0,2767	0,2202

**9,6 kGy**

<b>Muestra</b>	<b>Concentración (g/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>t (med) (s)</b>	<b>ΔtHC (s)</b>	<b>t (cor) (s)</b>	<b>η relativa</b>	<b>η específica</b>	<b>η reducida</b>	<b>η inerente</b>
<b>Solvente</b>	0	102,38	0,9445	101,43				
<b>1</b>	1,11	128,76	0,5971	128,16	1,2635	0,2635	0,2374	0,2107
<b>2</b>	1,25	132,18	0,5666	131,61	1,2975	0,2975	0,2380	0,2083
<b>3</b>	1,428	137,62	0,5227	137,09	1,3515	0,3515	0,2462	0,2110
<b>4</b>	1,666	144,32	0,4753	143,84	1,4181	0,4181	0,2509	0,2097
<b>5</b>	2	153,52	0,4200	153,10	1,5093	0,5093	0,2547	0,2058

**26,3 kGy**

<b>Muestra</b>	<b>Concentración (g/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>t (med) (s)</b>	<b>ΔtHC (s)</b>	<b>t (cor) (s)</b>	<b>η relativa</b>	<b>η específica</b>	<b>η reducida</b>	<b>η inerente</b>
<b>Solvente</b>	0	102,38	0,9445	101,43				
<b>1</b>	1,11	120,44	0,6825	119,76	1,1806	0,1806	0,1627	0,1496
<b>2</b>	1,25	122,9	0,6554	122,24	1,2051	0,2051	0,1641	0,1493
<b>3</b>	1,428	126,04	0,6232	125,42	1,2364	0,2364	0,1656	0,1486
<b>4</b>	1,666	130,52	0,5811	129,94	1,2810	0,2810	0,1687	0,1486
<b>5</b>	2	136,8	0,5290	136,27	1,3434	0,3434	0,1717	0,1476

**33,3 kGy**

Muestra	Concentración (g/dm <sup>3</sup> )	t (med) (s)	$\Delta t_{HC}$ (s)	t (cor) (s)	$\eta$ relativa	$\eta$ específica	$\eta$ reducida	$\eta$ inherente
Solvente	0	102,38	0,9445	101,43				
1	1,11	118,58	0,7040	117,87	1,1621	0,1621	0,1460	0,1353
2	1,25	120,6	0,6806	119,92	1,1822	0,1822	0,1458	0,1339
3	1,428	123,6	0,6480	122,95	1,2121	0,2121	0,1485	0,1347
4	1,666	127,3	0,6109	126,69	1,2490	0,2490	0,1494	0,1334
5	2	133,2	0,5571	132,64	1,3076	0,3076	0,1538	0,1341

**Tabla 6:** Alginato - Valores que interceptan el eje y de los gráficos viscosidad reducida vs. concentración y viscosidad inherente vs. concentración, la viscosidad intrínseca y los pesos moleculares medios.

Dosis (kGy)	Valor 'y' $\eta$ reducida	Valor 'y' $\eta$ inherente	$\eta$ intrínseca	Peso Molecular
0	0,3755	0,3773	0,3764	<b>141.300,64</b>
1,9	0,3248	0,3306	0,3277	<b>119.576,63</b>
7,4	0,2285	0,2304	0,22945	<b>77.831,30</b>
9,6	0,214	0,2154	0,2147	<b>71.843,59</b>
26,3	0,1512	0,1519	0,15155	<b>47.220,18</b>
33,3	0,1353	0,136	0,13565	<b>41.317,33</b>

**Tabla 7:** Valores obtenidos para soluciones de quitosano en solvente de ácido acético y acetato de amonio en distintas concentraciones y dosis de radiación ionizante.

**No irradiado**

<b>Muestra</b>	<b>Solvente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Concentración del polímero (g/dm<sup>3</sup>)</b>	0	0,455	0,526	0,625	0,769	1
<b>Tiempo individual (s)</b>	107,0	173,6	187,1	207,5	237,4	293,4
	106,7	173,4	187,1	207,2	237,1	293,1
	106,9	173,7	186,7	207,1	237,4	293,4
	107,1	173,3	186,8	207,3	237,2	293,3
	107,1	173,6	187,1	207,4	237,5	293,5
<b>Tiempo medio (s)</b>	106,96	173,52	186,96	207,3	237,32	293,34

**2,435 kGy**

<b>Muestra</b>	<b>Solvente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Concentración del polímero (g/dm<sup>3</sup>)</b>	0	0,455	0,526	0,625	0,769	1
<b>Tiempo individual (s)</b>	107,0	158,1	168,1	182,5	205,1	242,2
	106,7	158,3	168,5	182,4	205,0	241,9
	106,9	158,1	168,4	182,2	204,8	242,0
	107,1	158,5	168,5	182,6	204,7	242,0
	107,1	158,2	168,2	182,6	205,1	242,2
<b>Tiempo medio (s)</b>	106,96	158,24	168,34	182,46	204,94	242,06

**6,0 kGy**

<b>Muestra</b>	<b>Solvente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Concentración del polímero (g/dm<sup>3</sup>)</b>	0	0,455	0,526	0,625	0,769	1
<b>Tiempo individual (s)</b>	107,0	156,7	166,5	180,4	200,9	235,9
	106,7	156,7	166,5	180,2	201,1	235,7
	106,9	156,8	166,6	180,3	200,9	235,9
	107,1	156,6	166,3	180,5	200,8	235,7
	107,1	156,8	166,4	180,4	201,1	235,7
<b>Tiempo medio (s)</b>	106,96	156,72	166,46	180,36	200,96	235,78

**10,0 kGy**

<b>Muestra</b>	<b>Solvente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Concentración del polímero (g/dm<sup>3</sup>)</b>	0	0,455	0,526	0,625	0,769	1
<b>Tiempo individual (s)</b>	107,0	152,6	160,5	171,9	191,0	222,5
	106,7	152,8	160,4	171,6	190,8	222,4
	106,9	152,9	160,4	171,6	190,7	222,7
	107,1	152,9	160,6	171,5	190,9	222,5
	107,1	153,0	160,7	171,5	190,7	222,4
<b>Tiempo medio (s)</b>	106,96	152,84	160,52	171,62	190,82	222,5

**24,3 kGy**

<b>Muestra</b>	<b>Solvente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Concentración del polímero (g/dm<sup>3</sup>)</b>	0	0,455	0,526	0,625	0,769	1
<b>Tiempo individual (s)</b>	107,0	128,5	131,8	137,1	144,6	156,7
	106,7	128,4	131,8	137,3	144,3	156,5
	106,9	128,5	132,0	137,3	144,6	156,6
	107,1	128,5	132,1	137,3	144,4	156,8
	107,1	128,7	132,0	137,3	144,3	156,6
<b>Tiempo medio (s)</b>	106,96	128,52	131,94	137,26	144,44	156,64

**38,0 kGy**

<b>Muestra</b>	<b>Solvente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Concentración del polímero (g/dm<sup>3</sup>)</b>	0	0,455	0,526	0,625	0,769	1
<b>Tiempo individual (s)</b>	107,0	121,4	124,0	126,5	131,3	138,9
	106,7	121,6	124,3	126,8	131,2	139,1
	106,9	121,3	123,9	126,7	131,1	139,2
	107,1	121,5	123,9	126,8	131,4	139,1
	107,1	121,3	124,0	126,7	131,4	139,2
<b>Tiempo medio (s)</b>	106,96	121,42	124,02	126,7	131,28	139,1

**Tabla 8** Cálculos de las soluciones de quitosano en solvente ácido acético y acetato de amonio en distintas concentraciones y dosis de radiación ionizante.

**No irradiado**

Muestra	Concentración (g/dm <sup>3</sup> )	t (med) (s)	$\Delta t_{HC}$ (s)	t (cor) (s)	$\eta$ relativa	$\eta$ específica	$\eta$ reducida	$\eta$ inherente
<b>Solvente</b>								
te	0	106,96	0,8653	106,09				
1	0,455	173,52	0,3288	173,19	1,6324	0,6324	1,3899	1,0770
2	0,526	186,96	0,2832	186,67	1,7595	0,7595	1,4439	1,0742
3	0,625	207,3	0,2303	207,07	1,9517	0,9517	1,5228	1,0699
4	0,769	237,32	0,1757	237,14	2,2352	1,2352	1,6062	1,0459
5	1	293,34	0,1150	293,22	2,7638	1,7638	1,7638	1,0166

**2,435 kGy**

Muestra	Concentración (g/dm <sup>3</sup> )	t (med) (s)	$\Delta t_{HC}$ (s)	t (cor) (s)	$\eta$ relativa	$\eta$ específica	$\eta$ reducida	$\eta$ inherente
<b>Solvente</b>								
te	0	106,96	0,8653	106,09				
1	0,455	158,24	0,3954	157,84	1,4877	0,4877	1,0720	0,8731
2	0,526	168,34	0,3493	167,99	1,5834	0,5834	1,1091	0,8737
3	0,625	182,46	0,2974	182,16	1,7170	0,7170	1,1471	0,8649
4	0,769	204,94	0,2357	204,70	1,9294	0,9294	1,2086	0,8546
5	1	242,06	0,1689	241,89	2,2799	1,2799	1,2799	0,8241

**6,0 kGy**

<b>Muestra</b>	<b>Concentración (g/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>t (med) (s)</b>	<b>ΔtHC (s)</b>	<b>t (cor) (s)</b>	<b>η relativa</b>	<b>η específica</b>	<b>η reducida</b>	<b>η inerente</b>
<b>Solvente</b>								
<b>te</b>	0	106,96	0,8653	106,09				
<b>1</b>	0,455	156,72	0,4031	156,32	1,4734	0,4734	1,0404	0,8518
<b>2</b>	0,526	166,46	0,3573	166,10	1,5656	0,5656	1,0753	0,8522
<b>3</b>	0,625	180,36	0,3043	180,05	1,6971	0,6971	1,1154	0,8463
<b>4</b>	0,769	200,96	0,2451	200,71	1,8918	0,8918	1,1597	0,8291
<b>5</b>	1	235,78	0,1781	235,60	2,2206	1,2207	1,2207	0,7978

**10,0 kGy**

<b>Muestra</b>	<b>Concentración (g/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>t (med) (s)</b>	<b>ΔtHC (s)</b>	<b>t (cor) (s)</b>	<b>η relativa</b>	<b>η específica</b>	<b>η reducida</b>	<b>η inerente</b>
<b>Solvente</b>								
<b>te</b>	0	106,96	0,8653	106,09				
<b>1</b>	0,455	152,84	0,4238	152,42	1,4366	0,4366	0,9595	0,7962
<b>2</b>	0,526	160,52	0,3842	160,14	1,5094	0,5093	0,9683	0,7827
<b>3</b>	0,625	171,62	0,3361	171,28	1,6144	0,6144	0,9831	0,7664
<b>4</b>	0,769	190,82	0,2718	190,55	1,7960	0,7960	1,0351	0,7615
<b>5</b>	1	222,5	0,1999	222,30	2,0953	1,0953	1,0953	0,7397

**24,3 kGy**

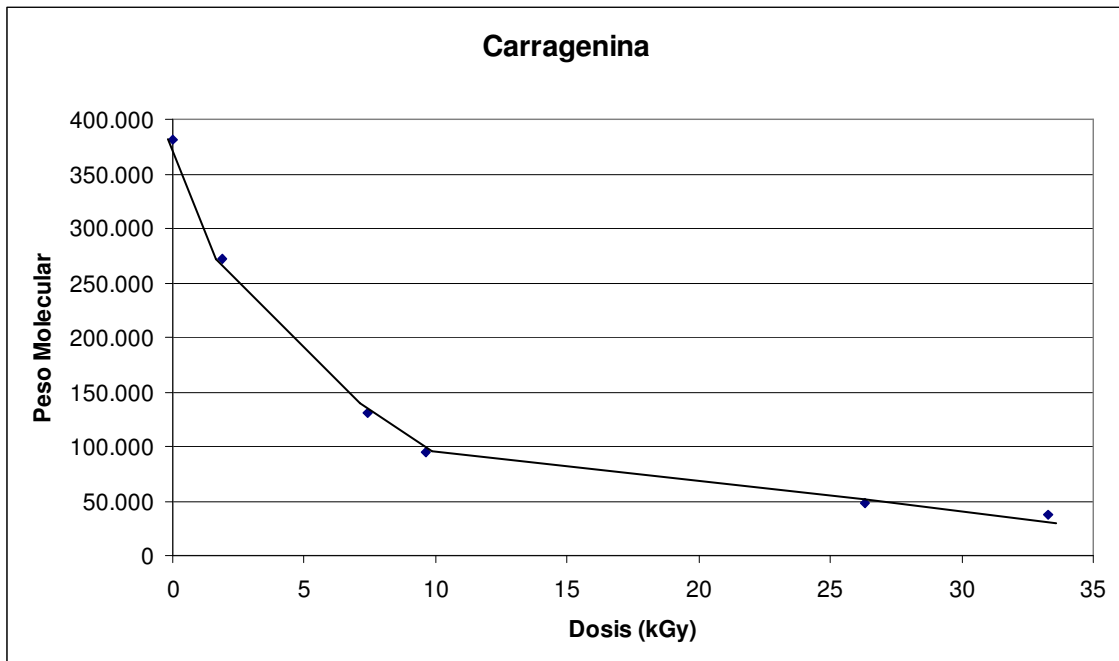
<b>Muestra</b>	<b>Concentración (g/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>t (med) (s)</b>	<b>ΔtHC (s)</b>	<b>t (cor) (s)</b>	<b>η relativa</b>	<b>η específica</b>	<b>η reducida</b>	<b>η inherente</b>
<b>Solvente</b>								
	0	106,96	0,8653	106,09				
<b>1</b>	0,455	128,52	0,5994	127,96	1,2057	0,2057	0,4521	0,4111
<b>2</b>	0,526	131,94	0,5687	131,37	1,2382	0,2382	0,4529	0,4063
<b>3</b>	0,625	137,26	0,5255	136,73	1,2888	0,2888	0,4621	0,4059
<b>4</b>	0,769	144,44	0,4745	143,96	1,3569	0,3569	0,4642	0,3969
<b>5</b>	1	106,96	0,4035	156,24	1,4726	0,4726	0,4726	0,3870

**38,0 kGy**

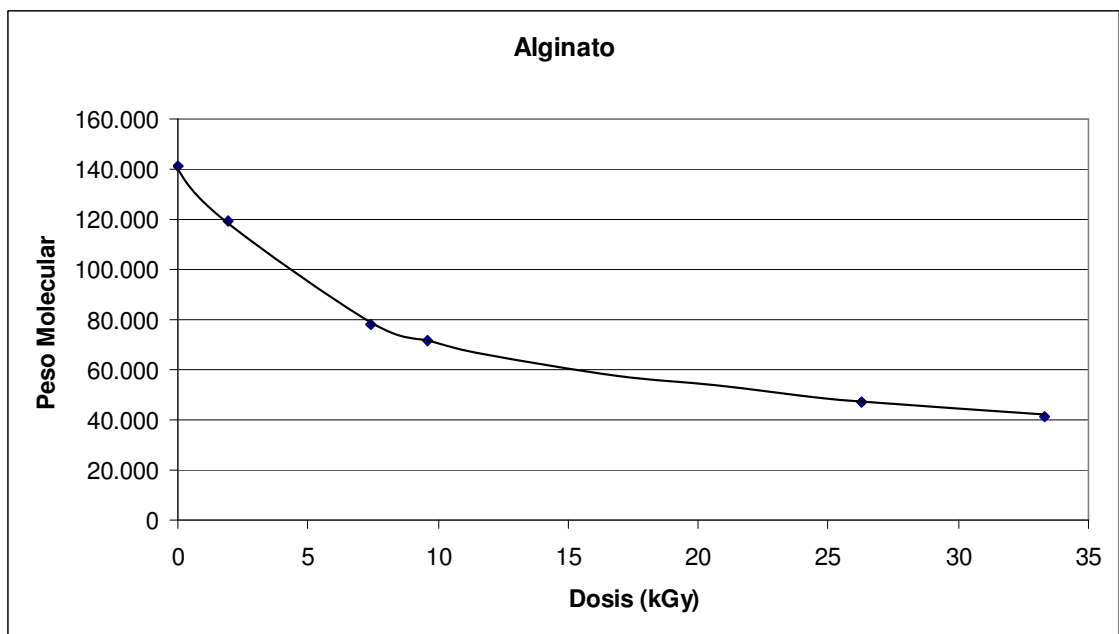
<b>Muestra</b>	<b>Concentración (g/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>t (med) (s)</b>	<b>ΔtHC (s)</b>	<b>t (cor) (s)</b>	<b>η relativa</b>	<b>η específica</b>	<b>η reducida</b>	<b>η inherente</b>
<b>Solvente</b>								
	0	106,96	0,8653	106,0				
<b>1</b>	0,455	121,42	0,6715	120,7	1,1381	0,13812	0,30356	0,2843
<b>2</b>	0,526	124,02	0,6436	123,3	1,1628	0,16288	0,30967	0,2868
<b>3</b>	0,625	126,7	0,6167	126,0	1,1884	0,18840	0,30144	0,2761
<b>4</b>	0,769	131,28	0,5744	130,7	1,2319	0,23197	0,30165	0,2712
<b>5</b>	1	139,1	0,5116	138,5	1,3062	0,30627	0,30627	0,2671

**Tabla 9:** Quitosano - Valores que interceptan el eje y de los gráficos viscosidad reducida vs. concentración y viscosidad inherente vs. concentración, la viscosidad intrínseca y los pesos moleculares medios.

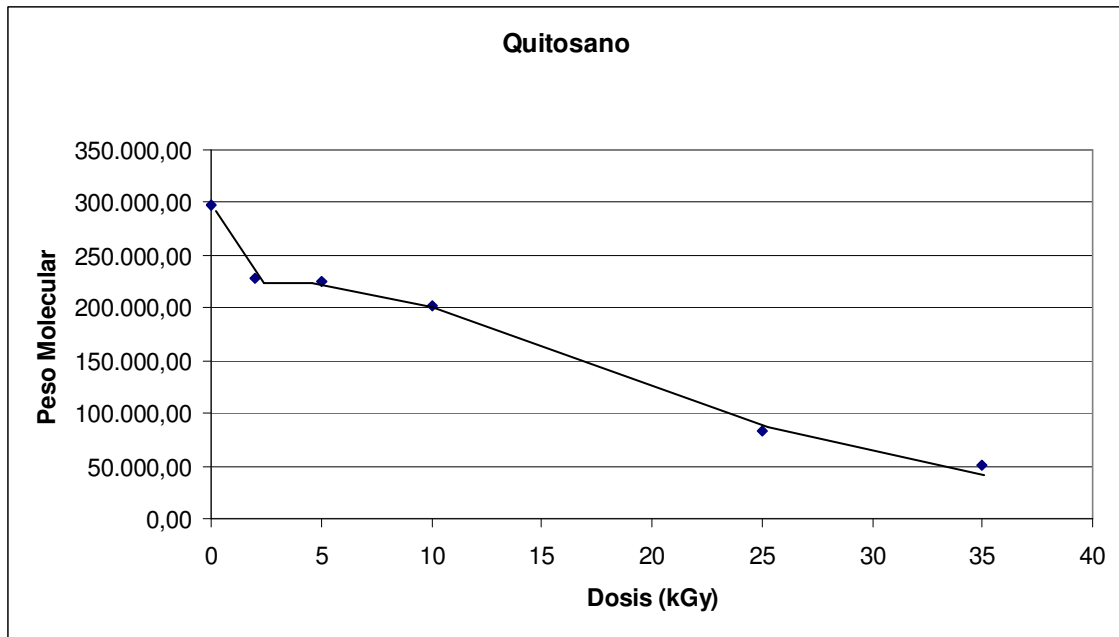
<b>Dosis (kGy)</b>	<b>Valor 'y' <math>\eta</math> reducida</b>	<b>Valor 'y' <math>\eta</math> inherente</b>	<b><math>\eta</math> intrínseca</b>	<b>Peso Molecular</b>
<b>0</b>	1,0878	1,1352	1,1115	<b>297.135,56</b>
<b>2,435</b>	0,9074	0,9205	0,91395	<b>228.253,19</b>
<b>6,0</b>	0,9033	0,9055	0,9044	<b>225.044,69</b>
<b>10,0</b>	0,8329	0,8345	0,8337	<b>201.663,01</b>
<b>24,3</b>	0,435	0,4309	0,43295	<b>83.388,46</b>
<b>38,0</b>	0,3049	0,3016	0,30325	<b>51.606,02</b>



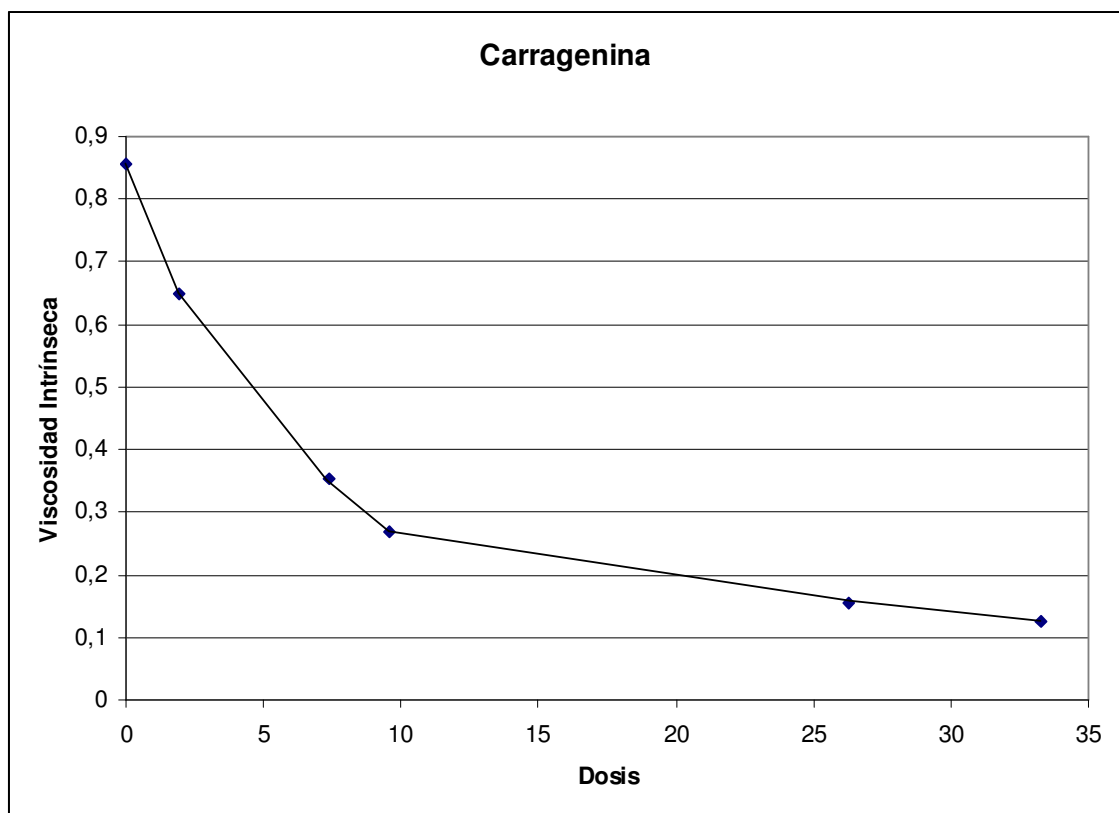
**Figura 1:** Peso molecular medio de la carragenina.



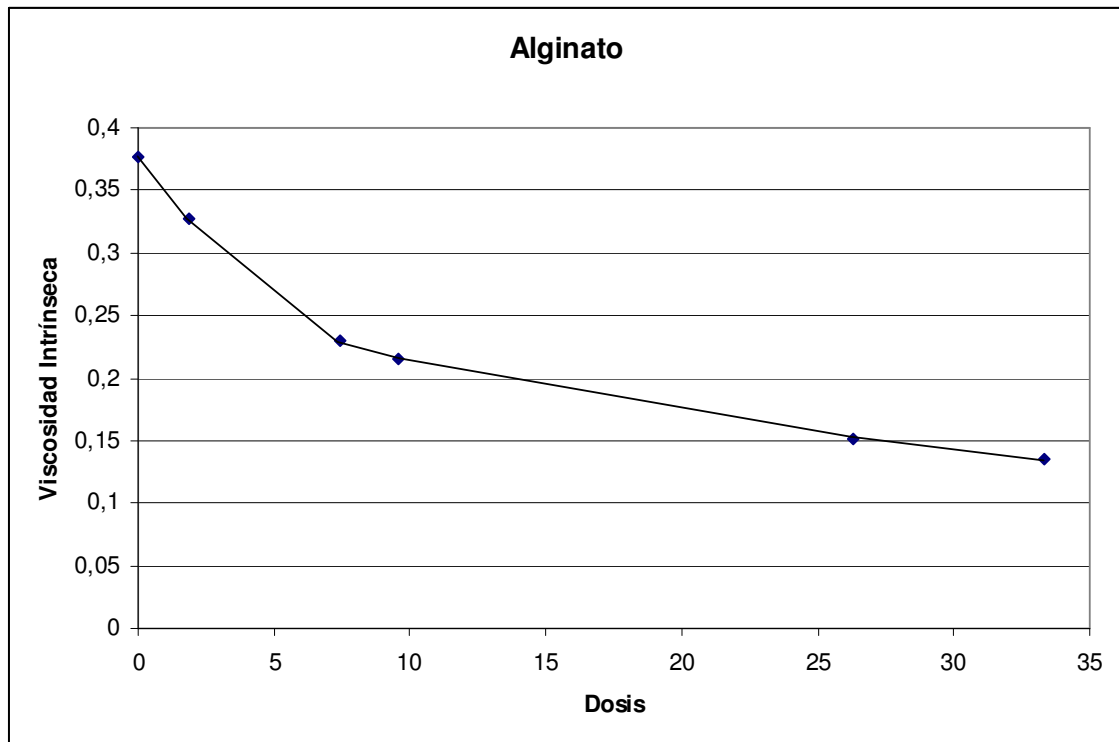
**Figura 2:** Peso molecular medio del alginato de sodio.



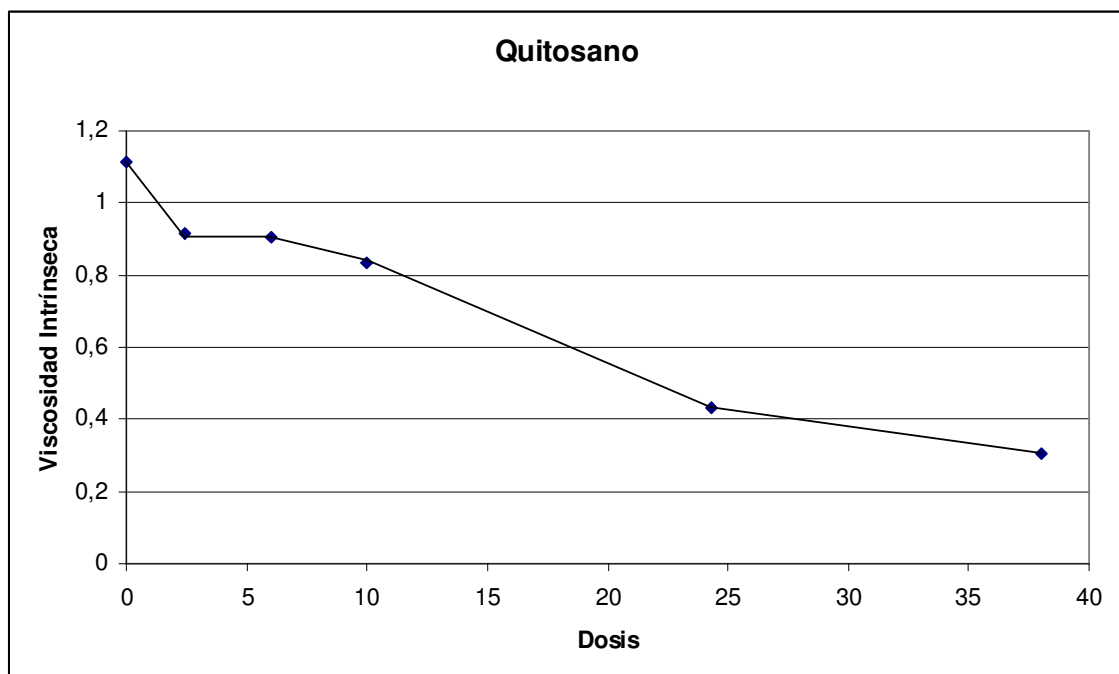
**Figura 3:** Peso molecular medio del quitosano.



**Figura 4:** Viscosidad intrínseca de la carragenina.



**Figura 5:** Viscosidad intrínseca del alginato.



**Figura 6:** Viscosidad intrínseca del quitosano.

## **8. TRABAJOS REALIZADOS**

Durante la realización de esta tesis, fueron presentados y/o publicados los siguientes trabajos:

- Presentación oral en la XXXVI Reunión Anual de la Asociación ARGENTINA DE TECNOLOGÍA NUCLEAR. 2009. Buenos Aires.
- Abstract en el sistema ISIS de IAEA.
- Comunicación de IAEA sobre el Quitosano, con ejercicio de comparación entre 16 países.