

## **Interacción Eléctrica entre Soluciones Iónicas y Polialilamina sintetizada por Plasma**

E. Colín Orozco<sup>1,2</sup>, M.A. Enríquez Pérez<sup>1,2</sup>, M.G. Olayo<sup>1\*</sup>, G.J. Cruz<sup>1</sup>,  
M. Romero<sup>2</sup>, J. Morales<sup>3</sup>, R. Olayo<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup>Departamento de Física, ININ, Apdo. Postal 18-1027, D.F., CP. 11801, México.

<sup>2</sup>División de Estudios de Posgrado, UAM-A, Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, D.F., México.

<sup>3</sup>Departamento de Física, UAM-I, Av. Apdo. Postal 55-534, Iztapalapa, D.F., México.  
[gog@nuclear.inin.mx](mailto:gog@nuclear.inin.mx)

### **1. Resumen**

Se presenta un estudio de la respuesta eléctrica de polialilamina sintetizada por plasma con líquidos de composición similar a los fluidos humanos. La conductividad eléctrica se evaluó de dos formas. La primera en función de la humedad relativa y la segunda en función de la absorción de soluciones siguientes: Agua, NaCl, solución Krebs-Ringer y una solución de MgSO<sub>4</sub> con NaCl. Los resultados indican que la conductividad eléctrica se incrementa linealmente en varios órdenes de magnitud, de 10<sup>-11</sup> a 10<sup>-7</sup> S/cm, con la interacción de los iones de las soluciones.

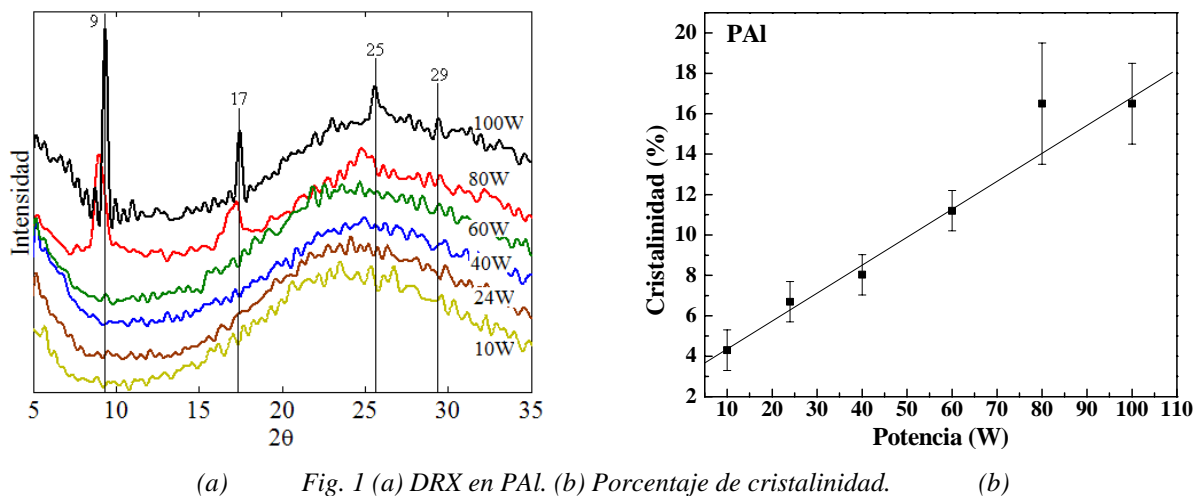
### **2. Introducción**

Los polímeros nitrogenados tienen potencial aplicación como materiales biocompatibles, porque algunos de los grupos químicos que los forman, aminas entre otros, son similares a los de los fluidos corporales. Estos compuestos orgánicos promueven una gran cantidad de reacciones químicas con diferentes biomoléculas, como proteínas [1]. Para formar polímeros biocompatibles se han usado monómeros como Diaminopropano, Aminas Butílicas, Anilina y Diaminociclohexano [2-3]. Una característica física que juega un papel importante en la interfase que se forma entre un biomaterial y los fluidos corporales son las propiedades superficiales que pueden modificarse para proporcionar sitios para el anclaje de proteínas e incluso que permitan el crecimiento celular. Las propiedades eléctricas son otras variables que puede usarse en los biomateriales para promover la regeneración celular, al conectar las señales eléctricas entre las células alrededor de las lesiones [4-5]. La combinación de estas variables puede orientarse para producir biomateriales para algún tipo definido de células. Por ejemplo, en células neuronales, cuya comunicación es primordialmente iónica, las propiedades eléctricas del material deben de estudiarse en primer plano.

Uno de los polímeros que combina estas características químicas y físicas biocompatibles es la polialilamina (PAI), cuya estructura contiene grupos amina y dobles enlaces que son necesarios para el transporte de cargas eléctricas, es por ello que el objetivo de este trabajo es estudiar la respuesta eléctrica función de soluciones iónicas biocompatibles que puedan ser absorbidas por el material.

### 3. Parte experimental

La síntesis de PAI se realizó en un reactor cilíndrico de vidrio de 1500 cm<sup>3</sup> a diferentes potencias, entre 10 y 100 W durante 180 min y presión del orden de 10<sup>-1</sup> mbar. La conductividad eléctrica en función de la humedad se calculó midiendo la resistencia de los polímeros con un arreglo de placas paralelas con electrodos de Cobre en el centro donde se coloca la muestra. El dispositivo se introduce dentro de una cámara aislada para incrementar paulatinamente la humedad. Por otro lado, a las muestras se les agregaron gotas de 0.05 ml hasta conseguir un total de 0.3 ml de soluciones de Agua, NaCl 118 mM, solución Krebs-Ringer y una mezcla de soluciones de MgSO<sub>4</sub> y NaCl con concentraciones de 1.17 mM y 118 mM. Posteriormente, se midió la resistencia eléctrica en condiciones de humedad total de la solución.



(a) Fig. 1 (a) DRX en PAI. (b) Porcentaje de cristalinidad. (b)

### 4. Resultados y discusión

#### 4.2 Estructura de la Polialilamina

Usualmente los polímeros por plasma tienden a ser amorfos debido a las colisiones de los reactivos con partículas cargadas que adquieren alta energía en el campo eléctrico usado durante la

síntesis. En este sentido, en PAI predomina la estructura amorfa, sin embargo, la difracción aumenta, y por ende la cristalinidad, conforme se incrementa la energía de síntesis. En PAI aparecen 4 picos en  $9^\circ$ ,  $16^\circ$ ,  $25^\circ$  y  $29^\circ$ , ver Fig. 1(a), que se asocian al ordenamiento del polímero. La cristalinidad se incrementa de 4.0% a 16.5% entre 10 y 100 W de potencia, ver Fig. 1(b). Las estructuras más ordenadas favorecen las transferencias de cargas eléctricas en los materiales [5], aunque hay muchos otros factores que también intervienen en el proceso.

#### ***4.1 Conductividad Eléctrica***

La conductividad eléctrica en PAI en función de la humedad relativa se muestra en la Fig. 2(a). En general, el incremento promedio de conductividad eléctrica de los polímeros en contacto gradual con la humedad atmosférica fue de 2 órdenes de magnitud, entre  $10^{-11}$  y  $10^{-8}$  S/cm. Estos resultados muestran que la conductividad eléctrica de PAI se modifica linealmente en función de los cambios en la humedad de los polímeros. En aplicaciones biológicas es un factor importante ya que la mayoría de los sistemas biológicos viven en ambientes húmedos que facilitan cierta interconexión eléctrica con los materiales que se implanten.

El comportamiento eléctrico en función del volumen de soluciones iónicas absorbidas también mostró un comportamiento lineal, ver Fig. 2(b). Lo que indica un solo mecanismo de conducción iónica. A diferencia de otros polímeros heterocíclicos con grupos N-H, como polipirrol y polianilina, que muestran superposición de mecanismos de conducción electrónica e iónica.

La velocidad de crecimiento en el sistema PAI-H<sub>2</sub>O fue 0.94 S/cm/ml. Mientras que en PAI-NaCl fue de 0.90 S/cm/ml. La solución con mayor cantidad de iones mostró el mayor crecimiento con 0.99 S/cm/ml y la menor fue para el sistema PAI-NaCl-MgSO<sub>4</sub> con una razón de crecimiento de 0.85 S/cm/ml. Estos resultados indican que la conductividad eléctrica con soluciones iónicas mantiene cierto intercambio iónico de cargas entre polímero-solución.

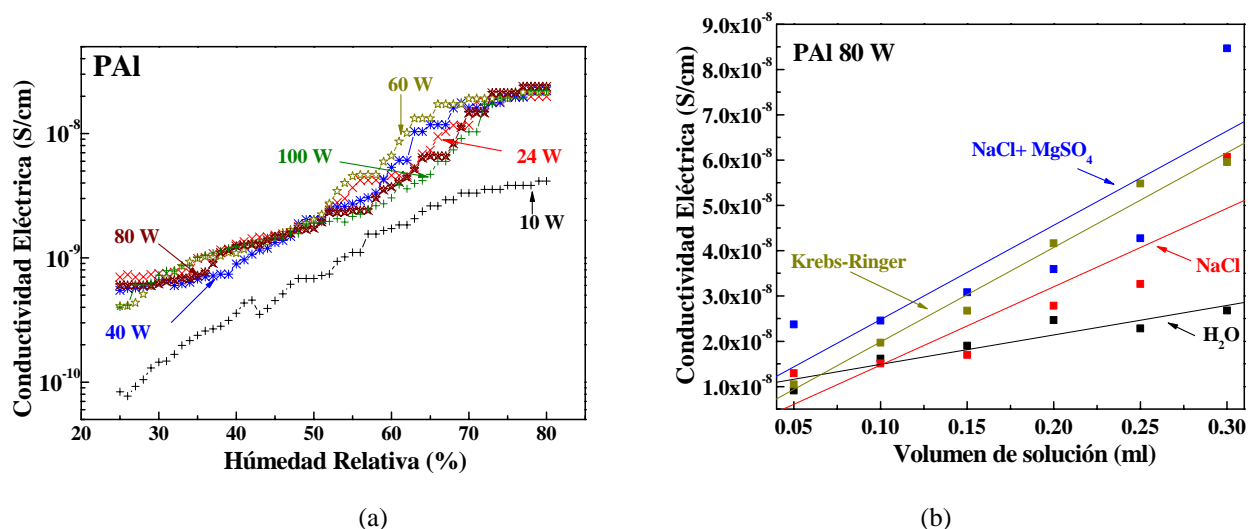


Fig. 1. Conductividad Eléctrica en función de: (a) Humedad Relativa, (b) Volumen de soluciones iónicas.

## 5. Conclusiones

El ordenamiento de la estructura en la polialilamina por plasma favorece la formación de trayectorias de transferencia de cargas eléctricas entre las cadenas, lo que se refleja en la conductividad eléctrica global del material, que a mayor cristalinidad tiene mejor conductividad. La interacción de los diferentes soluciones iónicas con polialilamina mostró que las soluciones con mayor cantidad de iones, Krebs-Ringer y NaCl- $MgSO_4$ , tuvieron mayor influencia en la conductividad eléctrica que en promedio aumentó 3 órdenes de magnitud con tendencias aproximadamente lineales. Los iones juegan un papel muy importante para generar impulsos eléctricos entre biopolímeros y los organismos vivos. La conductividad menor fue para el sistema PAI-Agua, en la que no interaccionaron iones.

## 6. Bibliografía

1. Lejeune M., Brégtanol F., and Ceccone G., et al., Surface & Coatings Technology, 200, 5902-5907, (2006).
2. Ruaan R. C., Wu T. H., J. Membr. Sci., 138-213, (1998).
3. Morales J., Vázquez M., Olayo M.G., Cruz G.J., Congreso Técnico Científico ININ-SUTIN Memorias, 91-64 Diciembre (2003).
4. Borcia G., Dumitrascu N., Popa G., Plasma Sources Science and Technology. 12, 335-344 (2003).
5. David J., Hill T., Andrew K., "Encyclopedia of Polymer Science and Technology: Radiation Chemistry of Polymers", John Wiley & Sons, Inc., The University of Queensland (2005).

**Agradecimientos**

Los autores agradecen a Conacyt por el apoyo parcial a la elaboración de este trabajo por medio del proyecto 47467.