

Caracterización del Proceso de Evaporación en Secciones Delgadas de Tejidos Utilizados para la Autorradiografía Neutrónica



N. Espector^{1,2}, A. Portu^{3,4}, G. Saint Martin^{3,5}

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Favaloro

²Comisión de Investigaciones Científicas de la Pcia. de Buenos Aires (CIC)

³ Comisión Nacional de Energía Atómica.

⁴ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

⁵ Instituto Jorge Sábato. UNSAM

Los resultados aquí reportados forman parte del Proyecto Final de la Carrera de Ingeniería en Física Médica de la alumna Natalia Espector. Facultad de Ingeniería y Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Favaloro. Finalización: mayo 2016

e-mails: agustina.portu@gmail.com – gsaint@cnea.gov.ar

Los Detectores de Trazas Nucleares (NTD) se utilizan para la detección de iones pesados, por mantener en forma permanente el daño estructural o trazas latentes producido por las partículas cargadas. Mediante un ataque químico (etching) se amplifica la zona alterada, revelándose las “trazas nucleares”, hasta nivel de microscopía óptica o electrónica [1]. En muestras con átomos de ^{10}B , las trazas se deben a las partículas producidas en la reacción de captura ($^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$) al exponer la muestra a neutrones térmicos (Fig. 1).

El análisis de la distribución y la densidad de trazas nucleares que forman una autorradiografía en un NTD, permite determinar la concentración y ubicación de átomos de ^{10}B en muestras de tejido (tumoral o sano) de protocolos de BNCT (Terapia por Captura Neutrónica de Boro) [2].

Los cortes histológicos se obtienen por congelación en un criostato, por lo que el tejido está húmedo al ser montado sobre el detector. Al pasar a temperatura ambiente hasta la irradiación con neutrones térmicos, el tejido sufre un proceso de evaporación variando su masa y el espesor del corte, y por lo tanto la concentración de Boro. Así, se incrementa el número de trazas presentes en el detector (Fig. 2) [3]. Se estudió el fenómeno de evaporación en cortes de tejidos, su dinámica y dependencia de condiciones geométricas y ambientales, y se determinaron factores de corrección (Coeficientes de Evaporación, CEV) para evaluar la concentración original de boro [4]. Considerando que la cantidad de átomos de boro no varía en el proceso de pérdida de masa, se definen los CEV como

$$\text{CEV} = m_s / m_h$$

con m_h = masa del corte “húmedo”, m_s = masa del corte “seco”.

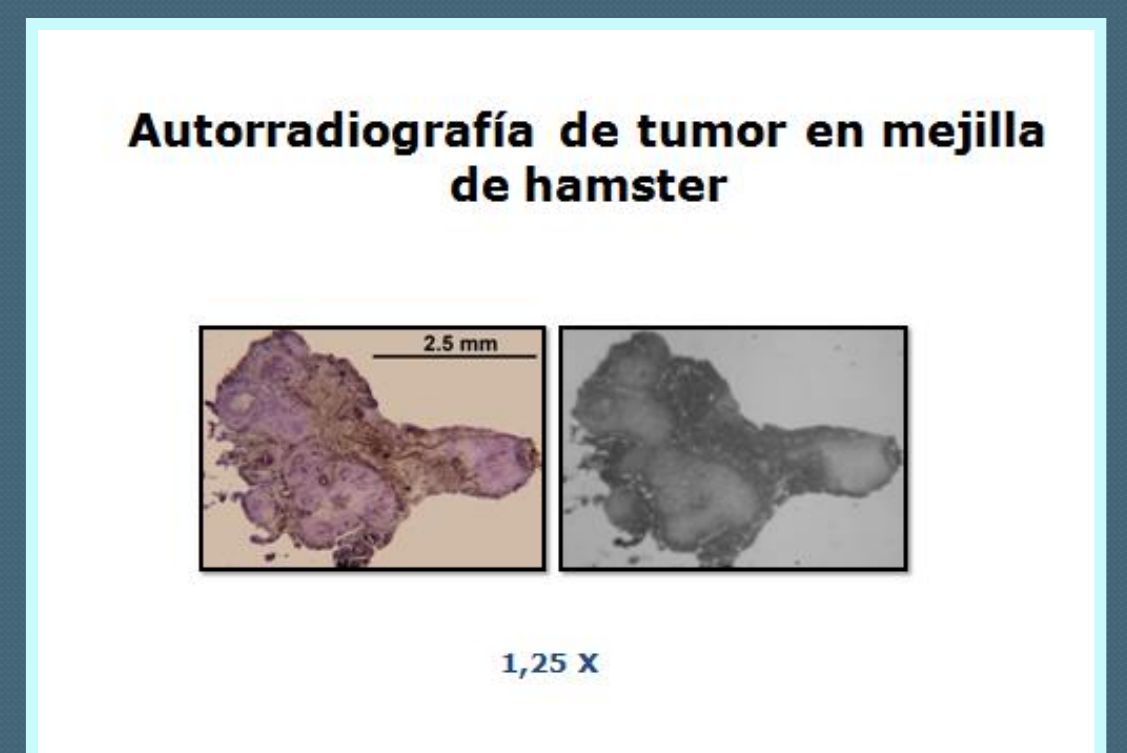


Fig. 1

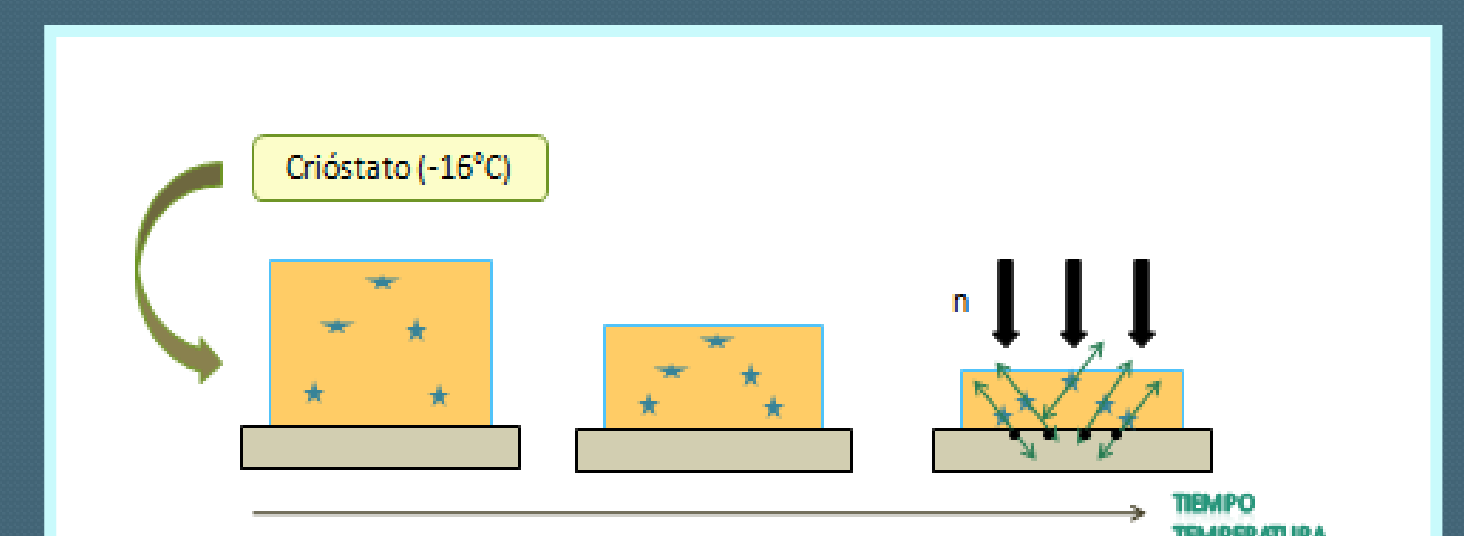
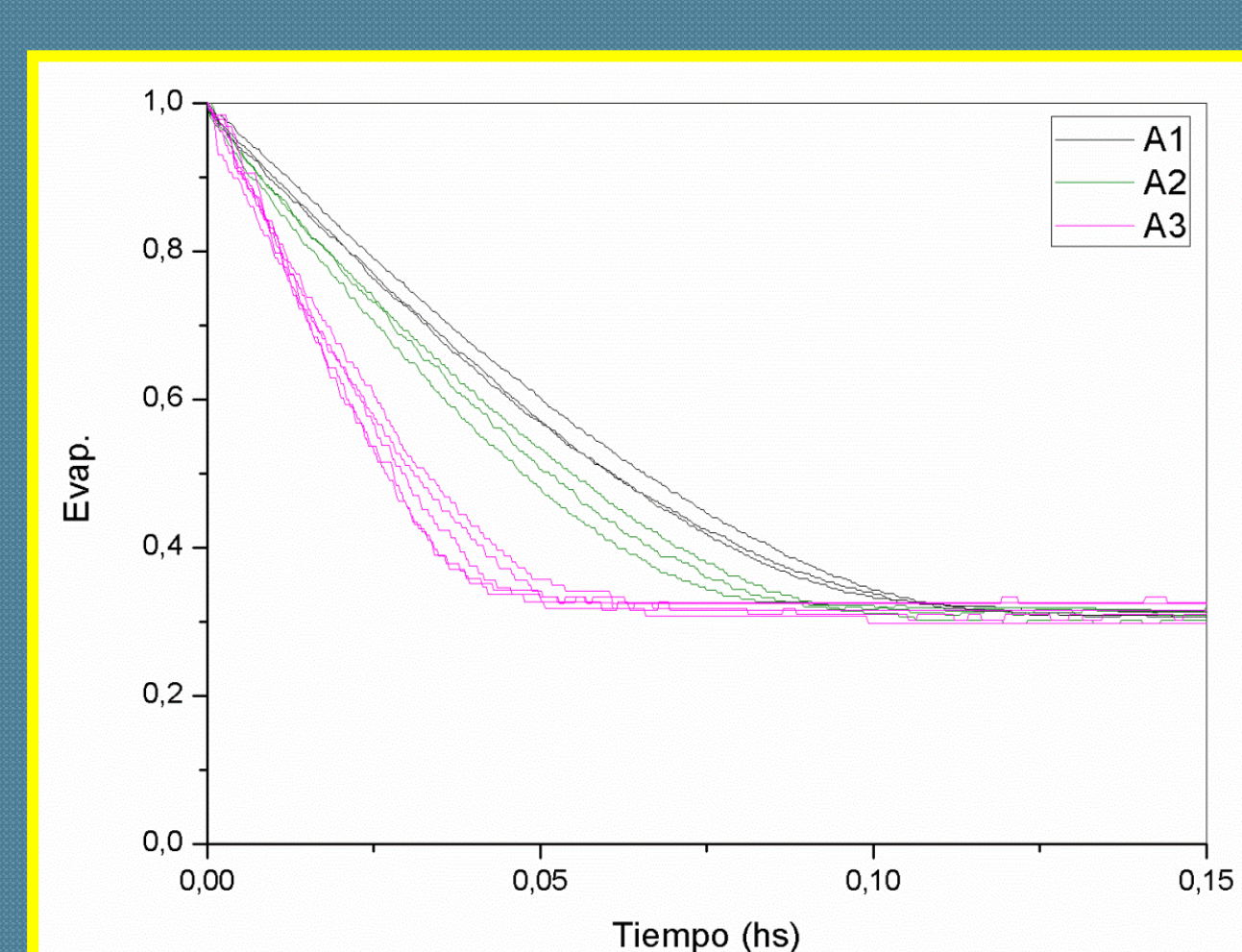


Fig. 2



Dinámica de evaporación de cortes de 30 µm de espesor y distinta área (hígado de rata BDIX). El área se clasifica a través de su masa inicial m_h . $m_{A1}=3.8 \pm 0.1$ mg, $m_{A2}=2.5 \pm 0.1$ mg, $m_{A3}=1.1 \pm 0.1$ mg. A mayor área del corte, mayor es el tiempo transcurrido hasta la estabilización. Los resultados del CEV no se ven afectados.



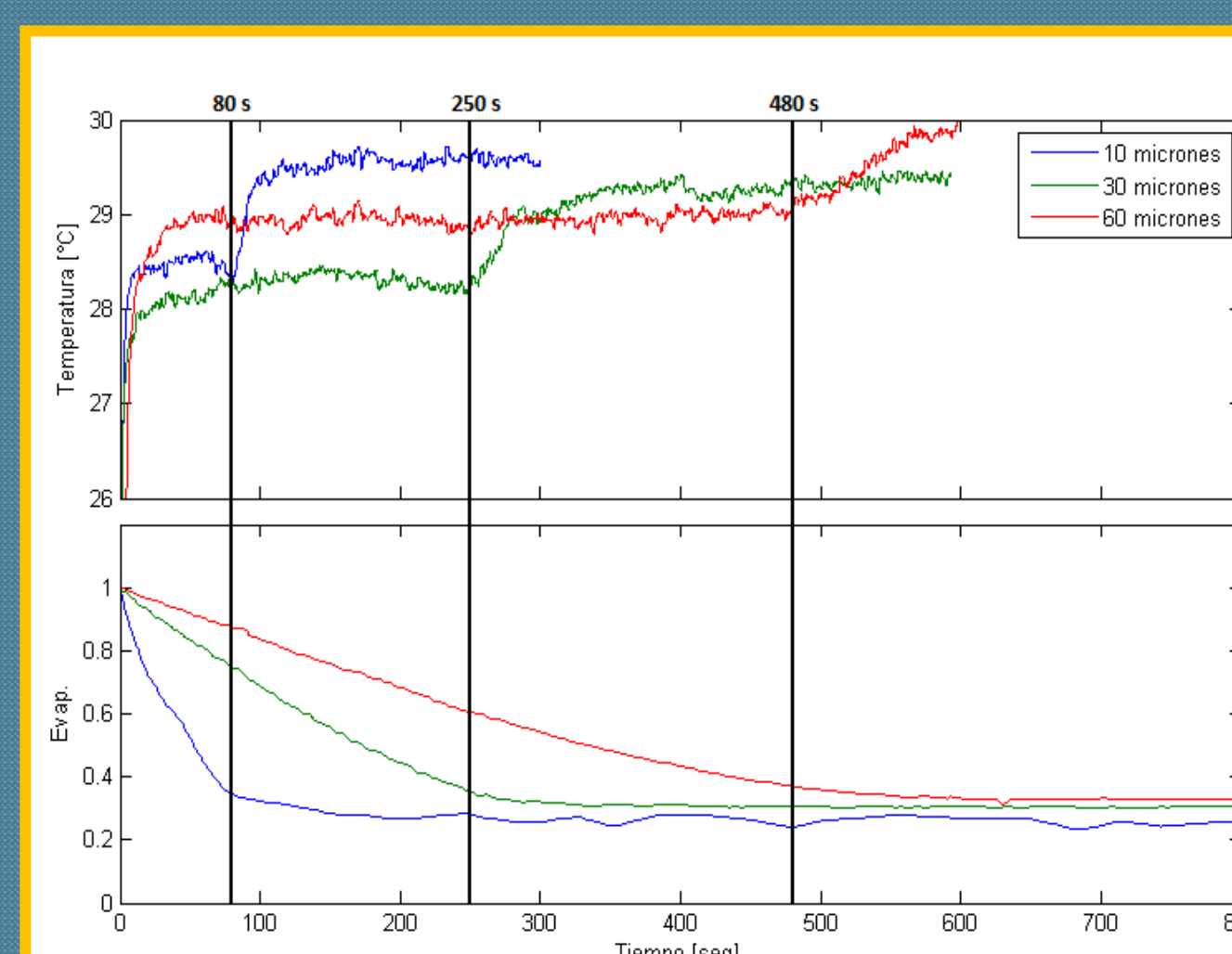
En general, si la evaporación en el material se produce en un flujo de aire “lento” se cumple una relación exponencial para la pérdida de masa, ya que el secado resultaría uniforme.

Se estudiaron catorce modelos propuestos en la bibliografía [5] para representar este proceso, ajustando alrededor de setenta curvas de evolución de masa en función del tiempo para distintas condiciones experimentales. Se compararon parámetros estadísticos R^2 , MBE, RMSE y χ^2 reducido. Los valores de la curva correspondiente al modelo de Page se mantienen siempre dentro de la franja determinada por la curva experimental promedio y las curvas generadas a partir del desvío estándar. Para el modelo de Page tanto los parámetros estadísticos como los desvíos de los parámetros calculados (k y n) son aceptables.

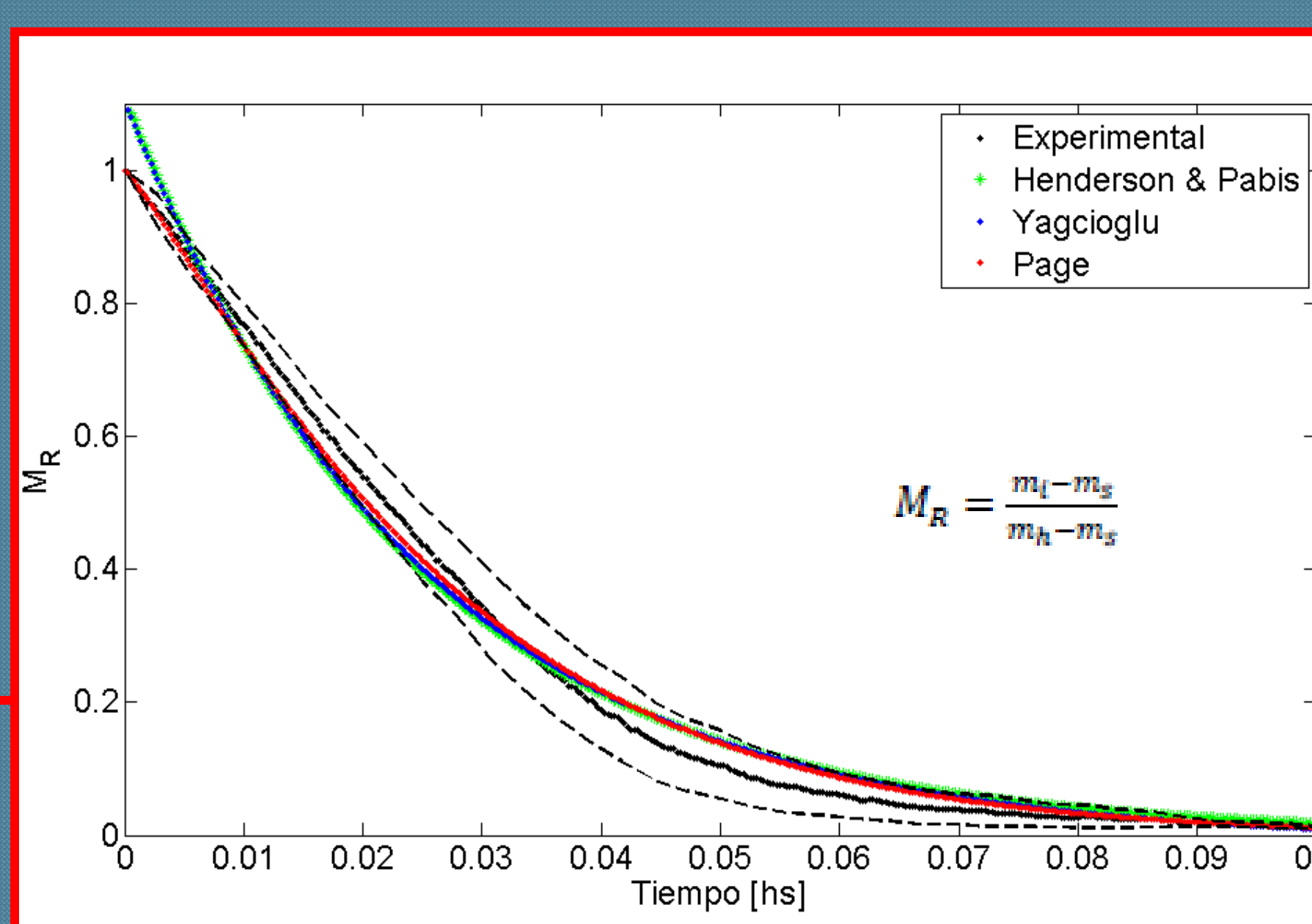
RESULTADOS

Se diseñó el programa EVAP v.2.0 en Matlab que registra la lectura de la balanza en función del tiempo. El código selecciona el primer valor útil y lo define como m_h . Para los tejidos utilizados en este trabajo se hizo un promedio de los valores registrados entre los 6 y 12 minutos para el valor de m_s , por haber alcanzado la estabilidad. Genera un gráfico con el registro, y muestra el valor del CEV calculado. Permite incorporar un archivo con los registros de temperatura, presión y humedad y aplicar los factores de corrección ambientales correspondientes. En las condiciones establecidas para la medición, la aplicación de estos factores no modificó los resultados.

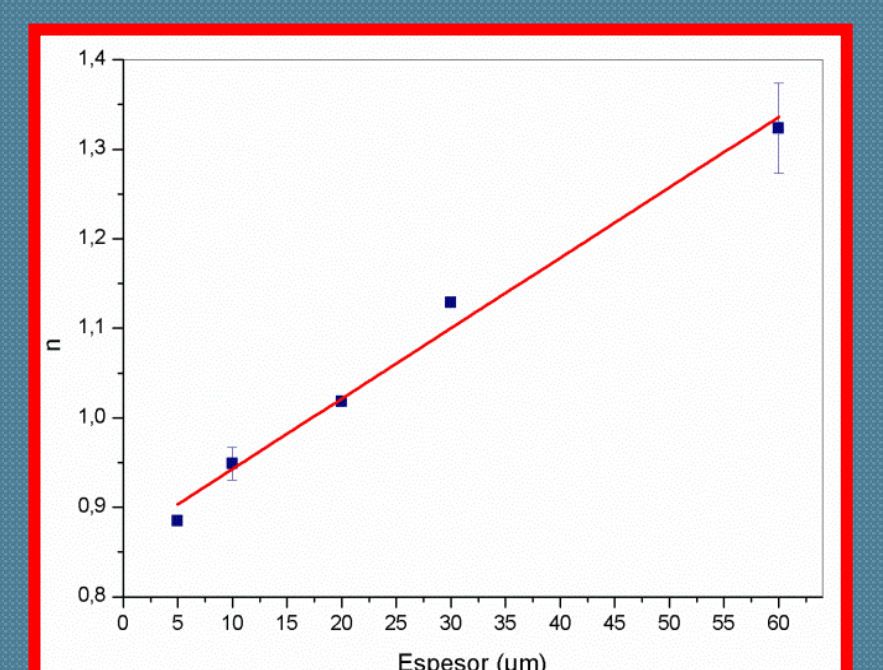
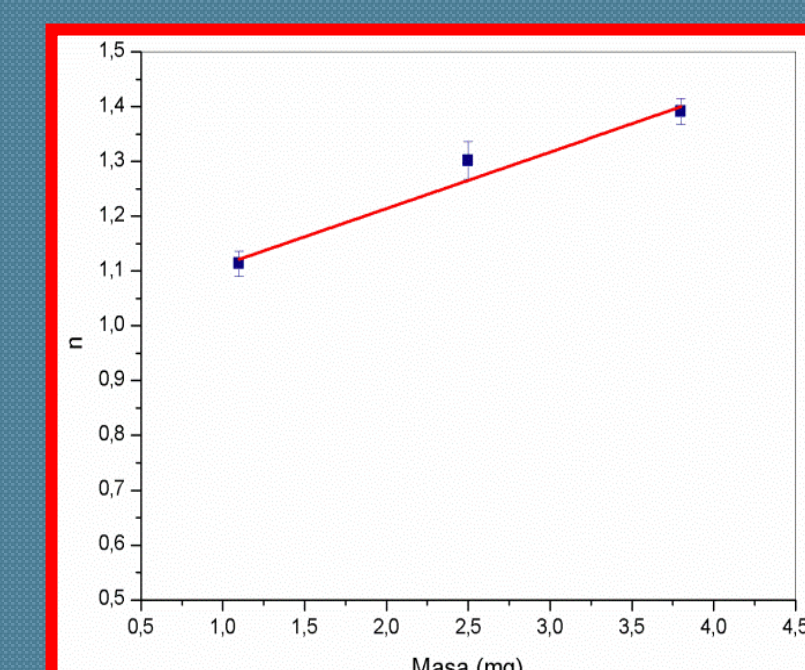
Se estableció un protocolo para la medición de las muestras en las mismas condiciones utilizadas para la realización de autorradiografías.



Medición de temperatura por Termografía Infrarroja de tres secciones de hígado de rata BDIX de distintos espesores, y registro simultáneo de pérdida de masa. Las líneas negras indican los tiempos en que comienzan los segundos transitorios, para cada espesor. Durante la evaporación, la masa varía y la temperatura se mantiene constante. Los resultados del CEV no se ven afectados. Se encontró una relación de proporcionalidad entre el espesor del corte y el tiempo transcurrido hasta la estabilización de la masa en el rango de espesores estudiado. Medición por Termografía, gentileza del Dr. G. Santa Cruz. Las muestras biológicas fueron provistas por la Dra. A. Schwint y colaboradoras.



Nombre del modelo	Ecuación
Page	$M_R = \exp(-kt^n)$
Henderson and Pabis	$M_R = a * \exp(-kt)$
Yagcioglu et al.	$M_R = a * \exp(-kt) + c$



Variación del parámetro n del modelo de Page con factores geométricos de la muestra. El área se clasifica a través de su masa inicial m_h . El parámetro k no fue afectado por la geometría.

CONCLUSIONES

Se diseñó el programa EVAP v.1.0 (Matlab), que registra la lectura de la balanza en función del tiempo y calcula el CEV, permitiendo incorporar lecturas de temperatura, presión y humedad y aplicar los factores de corrección ambientales correspondientes. En las condiciones establecidas para la medición, los factores de corrección ambiental no afectan los resultados de CEV.

Se observó que el espesor del tejido no influye sobre el valor final de CEV pero sí sobre la velocidad de estabilización de la masa. Se encontró una confirmación de este comportamiento con mediciones hechas por termografía infrarroja. El CEV tampoco depende del área del corte pero la dinámica de evaporación se ve afectada.

Se ajustaron las curvas de pérdida de masa en función del tiempo con modelos propuestos en la bibliografía. El mejor ajuste se obtuvo con la curva propuesta en el modelo de Page. Esta ecuación cuenta con dos parámetros de ajuste, pero mostró variaciones solo en uno de ellos, asociadas a las características geométricas del corte.

Referencias

- [1] Durrani, S.A. and Bull, R.K., 1987. Solid State Nuclear Track Detection. Principles, methods and applications. International Series in Natural Philosophy (Ed. D. ter Haar), Pergamon Press, Oxford.
- [2] Portu A, Carpano M, Dagrosa A, et al. Qualitative autoradiography with polycarbonate foils enables histological and track analyses on the same section. Biotech Histochem 2013;88(5):217-221
- [3] Espector N., Portu A., Saint Martin G., 2014. Autorradiografía neutrónica de cortes histológicos con boro-10: variación de la densidad de trazas nucleares con el espesor. XLI Reunión Anual de la AATN. 1-5 de Diciembre, 2014. Buenos Aires, Argentina.
- [4] Gadan, M.A., Bortolussi, S., Postuma, I., Ballarini, F., Bruschi, P., Protti, N., Santoro, D., Stella, S., Cansolino, L., Clerici, A., Ferrari, C., Zonta, A., Zonta, C., Altieri, S., 2012. Set-up and calibration of a method to measure ^{10}B concentration in biological samples by neutron autoradiography. Nucl. Inst. Meth. B 274:51-56.
- [5] Gunhan, T., Demir, V., Hancioglu, E., Hepbasli, A., 2005. Mathematical modeling of drying of bay leaves. Energy Conversion and Management 46:1667-1679.