

Estudios sobre la muestra de radiocarbono del sudario de Turín

Raymond N. Rogers

Los Alamos National Laboratory, University of California, 1961 Cumbres Patio, Los Alamos, NM 87544, USA

Recibido el 14 de abril de 2004; recibido en forma revisada el 14 de abril de 2004; aceptado el 12 de septiembre de 2004

Traducido por Sasha Struhar

Nota del editor: dado que no tengo formación profesional en la disciplina sobre la que trata el tema en este artículo, pueden existir errores de traducción de los términos técnicos. Ante cualquier sugerencia enviar mail a sashastruhar7@gmail.com

Resumen

En 1988, laboratorios de radiocarbono en Arizona, Cambridge y Zurich determinaron la edad de una muestra del Sudario de Turín. Informaron que la fecha de producción de la tela estaba entre a.d. 1260 y 1390 con 95% de confianza. Esto fue una sorpresa en vista de la tecnología utilizada para producir la tela, su composición química y la falta de vainillina en su lignina. Los resultados provocaron preguntas sobre la validez de la muestra.

Estimaciones preliminares de las constantes cinéticas para la pérdida de vainillina de la lignina indican una edad mucho mayor para la tela que el análisis radiocarbono. El área de muestreo de radiocarbono está recubierta de forma única con una goma vegetal amarilla-amarronada que contiene lacas colorantes. Resultados de Pirólisis-masa-espectrometría del área de la muestra junto con observaciones microscópicas y microquímicas demuestran que la muestra de radiocarbono no era parte de la tela original del Sudario de Turín. La fecha de radiocarbono no era válida para determinar la verdadera edad del sudario.

1.Introducción

El sudario de Turín es una larga pieza de lino que muestra la tenue imagen de un hombre en su superficie. Mucha gente cree que es la tela funeraria de Jesús, por lo que es extremadamente controversial. Las edades de radiocarbono fueron determinadas en 1988 [1], lo que debería haber resuelto controversias en cuanto a la edad del lino. Las determinaciones de edad de radiocarbono de 1988 fueron las mejores que podría haber sido obtenidas. Métodos de preparación de muestras fueron comparados y confirmados, y las mediciones fueron hechas con los mejores instrumentos disponibles. Damon et al. informó [1] que "La edad del sudario se obtiene como a.d. 1260-1390, con al menos 95% de confianza". Sin embargo, esa fecha no concuerda con las observaciones en la tecnología de producción de lino ni en la química de fibras obtenidas directamente de la parte principal de la tela en 1978 [2,3]. La operación de muestreo de 1988 fue descrita en [1]: "El sudario fue separado de la tela de Respaldo junto con su borde inferior izquierdo y una tira (~ 10 mm × 70 mm) fue cortada justo encima del lugar donde una muestra fue removida previamente en 1973 para su examen. La tira vino de un solo sitio en el cuerpo principal del sudario lejos de cualquier parche o áreas carbonizadas " Franco Testore, profesor de tecnología textil en el Politécnico de Turín, y Gabriel Vial, conservador del Ancient Textile Museum, Lyon, Francia aprobaron la ubicación de la muestra de radiocarbono. Sin embargo, la operación fue hecha en secreto, y no fueron realizadas investigaciones químicas en el momento de caracterizar la muestra.

2. Muestras

El Profesor Gilbert Raes del Ghent Institute of Textile Technology cortó la muestra de 1973 [4] mencionada por Damon et al. [1]. Raes encontró que una parte de su muestra contenía algodón, pero la parte del otro lado de una costura no. Informó que el algodón era una antigua variedad del Cercano Oriente, *Gossypium herbaceum*, sobre la base de la distancia entre las reversiones en las fibras en forma de cinta (aproximadamente ocho por centímetro). Recibí 14 segmentos de hilo de la muestra de Raes del Prof. Luigi Gonella (Department of Physics, Turin Polytechnic University) el 14 de octubre de 1979. Fotografíé las muestras como fueron recibidas y las archivé por separado en en viales numerados. Algunas de las muestras fueron destruidas en pruebas químicas entre 1979 y 1982, pero la mayoría de los segmentos han sido preservados.

Como parte del proyecto de investigación del sudario de Turín (STURP), tomé 32 muestras de cinta adhesiva de todas las áreas del sudario y textiles asociados en 1978 [2]. Ronald Youngquist, de la Minnesota Mining and Manufacturing Corporation, produjo la cinta específicamente para el proyecto; un adhesivo, amorfo e inerte de hidrocarburo puro que no contaminaría la cubierta o las muestras. Permitted realizar pruebas químicas directas en fibras de lino y partículas recuperadas, y el adhesivo podría ser removido por lavado con xileno. Apliqué las cintas a la superficie del sudario con un aplicador de medición de presión para permitir comparaciones semicuantitativas entre muestras.

El sudario fue muy dañado en un incendio en una iglesia en a.d. 1532. Monjas colocaron parches en los agujeros y cosieron el sudario a una tela de refuerzo que se conoce como la tela de Holanda. También tomé muestras en 1978. La tela de Holanda proporciona una muestra auténtica y documentada del lino tal como se produjo en Europa entre 1532 y 1534.

El 12 de diciembre de 2003, recibí muestras de ambos urdimbre y trama de hilos que el Prof. Luigi Gonella había tomado de la muestra de radiocarbono antes de que se distribuyera para fechar. Gonella informó que eliminó los hilos del centro de la muestra de radiocarbono.

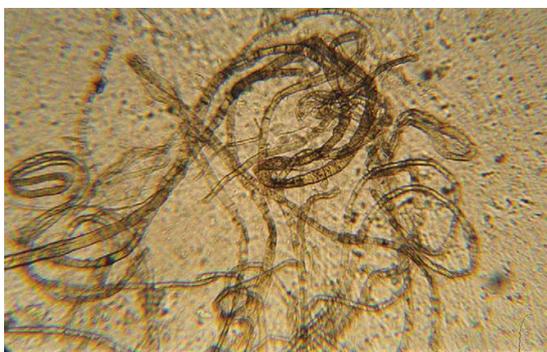
3. Métodos alternativos para estimación de edad del lino

No se le permitió a STURP tomar muestras de radiocarbono en 1978; por lo tanto, fue útil idear métodos independientes para la determinación de la edad para probar la validez de la fecha publicada [1]. El cambio de envejecimiento más obvio es la profundización del color sepia del lino. Mediciones de reflectancia espectral absoluta se hicieron en el sudario y muchas muestras de lino de museo por Gilbert y Gilbert [5]. No pudo derivarse una relación simple entre el color y la edad, porque los métodos de blanqueo han cambiado a través de los siglos.

La estructura cristalina de las fibras de lino actúa como un dosímetro: recoge los defectos de radiación a lo largo del tiempo. Lamentablemente, la radiación de fondo varía mucho con las condiciones de almacenamiento y latitud. Radón se acumula en muchos edificios antiguos y tumbas, y las partículas alfa causan pistas de ionización corta e intensamente birrefringente. Radiación electromagnética (rayos ultravioleta, rayos X y rayos gamma) causa una birrefringencia difusa de fondo que varía según la ubicación y los métodos de producción de lino. Neutrones producen protones de retroceso en el interior de las fibras, y protones energéticos producen largas pistas de iones que ocasionalmente se ramifican. La estimación de la edad basada en la radiación es muy subjetiva; sin embargo, las poblaciones

por defecto indican que el lino del sudario ha estado absorbiendo varios tipos de radiación durante mucho tiempo.

La lignina en los nodos de crecimiento en las fibras de lino del sudario (Fig. 1) no dio la prueba de mancha química habitual para la lignina (es decir, la prueba de floroglucinol/HCl para vainillina). La tela de Holanda y otros linos medievales dieron una prueba clara. Esto sugirió que la tasa de pérdida de vainillina de la lignina podría ofrecer un método para estimar la edad del sudario. El ácido floroglucinol clorhídrico reactivo detecta la vainillina (4-hidroxi-2-metoxibenzaldehído) con buena sensibilidad. La lignina en muestras del sudario y en muestras de pergaminos del Mar Muerto no da la prueba. Si el límite de detección para la prueba se asume que es constante, las muestras envejecidas de lignina pueden ser comparadas mediante la observación de los tiempos y temperaturas que dan las últimas reacciones de color observables. Stanley T. Kosiewicz de Los Alamos envejecieron muestras que contenían lignina a 40, 70, y 100 °C por hasta 24 meses. Comparación de límites de detección entre las muestras mostraron que la tasa de pérdida de vainillina es muy baja. Un modelo predictivo de edad química adecuado, por lo tanto, podría ser producido.



Fibras coloreadas de la imagen de la parte posterior del tobillo (400x) que todavía está incrustado en el adhesivo de la cinta de muestreo. Los depósitos oscuros de lignina son fácilmente visibles en los nodos de crecimiento. Los depósitos no dan la prueba al azar la lignina.

Tasas de todo tipo de reacciones químicas se modelan con la expresión de Arrhenius

$$\frac{d\alpha}{dt} = kf(\alpha)Ze^{-E/RT} \quad (1)$$

Donde α es la fracción que reacciona en cualquier momento t ; k es la constante de velocidad, s^{-1} ; Z es el factor de frecuencia de Arrhenius, s^{-1} ; E es la energía de activación de Arrhenius, $J mol^{-1}$; R es la constante de gas, $8.314 J K^{-1} mol^{-1}$; y T es la temperatura absoluta en kelvins. $f(\alpha)$ es el factor de agotamiento; y depende del estado físico del reactivo, el tipo de reacción y / o el número de moléculas involucradas en la reacción. El análisis de los datos de tiempo / temperatura/límite de detección proporcionó el siguiente modelo predictivo de Arrhenius para la tasa de pérdida de vainillina de la lignina.

$$k = 3.7 \times 10^{11} e^{\exp\left(-\frac{123800}{8.314T}\right)} \quad (2)$$

Después de que la constante de velocidad ha sido calculada a una temperatura específica, la cantidad de tiempo requerido para que la vainillina se agote mediante una reacción de primer orden a esa temperatura puede calcularse a partir de

$$-\ln(1 - \alpha) = kt \quad (3)$$



Fig2. Fibras de la superficie de un segmento de urdimbre de radiocarbono, seco a 100x.



Fig3. Fibras de urdimbre de la muestra de radiocarbono, 800x en agua. La goma se hincha, volviéndose más transparente y se desprende de las fibras.

El principal problema para estimar la edad del sudario es el hecho de que la ley de tasa es exponencial; es decir, la temperatura diurna máxima es mucho más importante que la temperatura de almacenamiento más baja. Sin embargo, algunas temperaturas de almacenamiento razonables pueden ser consideradas para dar un rango de edades pronosticadas. Si el sudario se hubiera almacenado a una temperatura constante de 25 ° C, hubiera tomado alrededor de 1319 años para perder un conservador 95% de su vainillina. A 23 ° C, hubiera tomado alrededor de 1845 años. A 20 °C, tomaría alrededor de 3095 años.

Si el sudario se hubiera producido entre a.d. 1260 y 1390, como lo indican los análisis de radiocarbono, la lignina debería ser fácil de detectar. Un lino producido en a.d. 1260 hubiera retenido aproximadamente el 37% de su vainillina en 1978. Los hilos Raes, la tela Holland, y todos los otros linos medievales dieron la prueba para vainillina siempre donde se pueda observar lignina en el crecimiento de nodos. La desaparición de todos los rastros de vainillina de la lignina en el sudario indica una edad mucho más antigua que lo informado por los laboratorios de radiocarbono.

El incendio de 1532 no pudo haber afectado en gran medida el contenido de vainillina de lignina igualmente en todas las partes del sudario. La conductividad térmica del lino es muy baja, $2.1 \times 10^{-4} \text{ cal cm}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ } ^\circ \text{C}^{-1}$; las partes no quemadas de la tela doblada no podrían haberse calentado mucho. El gradiente de temperatura a través de la tela en el relicario debería haber sido muy empinado, y el centro de la tela no se hubiera calentado en absoluto en el tiempo disponible. El cambio rápido en color de negro a blanco en los márgenes de los chamuscados ilustra este hecho.

Cualquier calentamiento en el momento del incendio disminuiría la cantidad de vainillina en la lignina en función de la temperatura y tiempo calentado; sin embargo, diferentes cantidades de vainillina se hubieran perdido en diferentes áreas. Ninguna muestra de ninguna ubicación del Sudario dio la prueba de vainillina.

Dado que el sudario y otros linos muy viejos no dan la prueba de vainillina, la tela debe ser bastante antigua. Por lo tanto, es muy improbable que el lino haya sido producido durante la época medieval.

Todos los hilos de la muestra de Raes y los segmentos de hilo de la muestra de radiocarbono muestran incrustaciones de colores (o recubrimientos) en sus superficies (figuras 2 y 3). El material de recubrimiento no se remueve con solventes no polares, pero se hincha y se disuelve en el agua. No hubo absolutamente ningún recubrimiento con estas características en la tela de Holland o en la parte principal del sudario. Cuando Raes y los hilos de muestra de radiocarbono fueron abiertos en ambos extremos con una aguja de disección, los núcleos parecían ser incoloros, sugiriendo el color y su vehículo se agregaron pasando un líquido viscoso en el exterior del hilo. Una marcada diferencia entre las fibras internas y externas es característico tanto de las muestras de Raes como la de radiocarbono. El recubrimiento marrón amarillento en el exterior de la muestra de urdimbre de radiocarbono es tan pesada que parece negra por luz transmitida (Fig. 2). Pruebas químicas tanto en las muestras de radiocarbono y en las muestras de Raes muestran que sus recubrimientos consisten de una goma vegetal que contiene colorante de alizarina presente en dos formas. Una parte se disuelve en la goma, dándole un color amarillo. Una cantidad variable está compuesta con óxido de aluminio hídrico [AlO (OH)] para formar lacas rojas (Fig. 3). Las lacas son gelatinosas y usualmente muy pequeños. Se requiere un buen microscopio para observarlos, y el vehículo de goma para el sistema de tinte/mordiente en las muestras de Raes y de radiocarbono hace difícil observar los lacas. La goma no puede ser removida sin dañar los lacas, pero puede hacerse invisible haciendo coincidir su índice de refracción en un índice de aceite 1.515. Con la goma invisible o hinchada ligeramente en el agua, es fácil ver las lacas suspendidos en la goma y pegados a las fibras. La Fig. 3 muestra (superior izquierda) lacas colorantes coloidales rojas suspendidas en la goma. A la derecha de eso, algunas lacas discretas pueden ser vistas adhiriéndose a la superficie de una fibra de algodón. Varias áreas de goma teñida de amarillo pueden ser vistas. Cuatro fibras de algodón y dos fibras de lino aparecen en la vista. La muestra de radiocarbono contiene tanto una capa de goma/tinte/mordiente como fibras de algodón. La parte principal del sudario no contiene estos materiales.

Alizarina y purpurina se extraen de la raíz Madder y aparecieron por primera vez en Italia alrededor de a.d. 1291 [6]. Alizarina ha sido utilizada largamente como un indicador ácido-base en el análisis químico. Es amarillo por debajo de pH 5.6, rojo por encima de pH 7.2 y morado por encima pH 11.0. El revestimiento de color muestra todos estos cambios como una función del pH. HCl (6N) trae las lacas a la solución y se vuelve amarillo brillante. El alumbre ha sido un mordiente común por milenios. Las lacas rojas son diagnósticos de los tintes de la raíz Madder y alumbre. Las características de solubilidad de los lacas rojas indican AlO (OH). El recubrimiento era insoluble a pH 8,0, pero se disuelve en pH más bajo y más alto. Las lacas colorante/mordiente rojas se disolvieron en NaOH 2N para dar una solución púrpura. La presencia de aluminio en el material de recubrimiento es consistente con los resultados de Adler, Selzer y DeBlase [7] que realizaron análisis elementales de rayos X en diferentes materiales del sudario incluyendo fibras de hilos de urdimbre de muestra de radiocarbono 8. Informaron concentraciones de aluminio en la muestra de radiocarbono 20 veces que la de las fibras del sudario. Mordientes, otros que AlO (OH), producen diferentes colores con raíz de Madder colorante. Los compuestos de calcio producen colores azules, y algunas lacas azules pueden ser vistas en algunas fibras revestidas de goma. Son removidos con 6N HCl. El color sugiere alizarina en cristales de calcita o aragonito en los hilos.

La presencia de tinte de alizarina y lacas rojas en las muestras de Raes y de radiocarbono indican que el color ha sido manipulado. Específicamente, el color y la distribución del recubrimiento implican que las reparaciones fueron realizadas en un momento desconocido con lino extranjero teñido para que coincida con el material original más antiguo. Dichas reparaciones fueron sugeridas por Benford y Marino [8,9]. La consecuencia de esta conclusión es que la muestra de radiocarbono no era representativa del paño original.

El recubrimiento de goma fue rápidamente hidrolizado por cualquiera de los concentrados HCl o NaOH 2N. Ese hecho y su solubilidad en agua sugieren que probablemente sea un polisacárido y no una proteína desnaturalizada. Hidrólisis en un índice moderado en 6N HCl sugiere que probablemente sea una pentosa, compuesto de cinco carbonos de unidades de azúcar. Las gomas naturales de pentosa forman un reversible color amarillo brillante con yodo acuoso. El color desaparece completamente después de que la solución se evapora, lo que demuestra que el color no es el resultado de reacciones de yodación o deshidrataciones catalizadas con yodo. Las muestras de Raes y de radiocarbono dan esta reacción.

Uno de los métodos analíticos utilizados durante los estudios de STURP fue espectrometría de masas/pirolisis. El Midwest Center for Mass Spectrometry (MCMS) en la Universidad de Nebraska, Lincoln, hizo docenas de escaneos en diferentes muestras en 1981. El sistema de ionización química utilizado fue el MS más sensible en el momento, suficientemente sensible para detectar partes por billones de rastros de oligómeros de la bolsa de polietileno que Gonella había usado para envolver los hilos de Raes. El instrumento en MCMS está equipado con una fuente pulsada que tiene un tiempo resolución de 100 ns, y produce una serie de espectros de masas mientras que la muestra se calienta. Sin embargo, fue imposible citar una muestra precisa y absoluta de temperatura cuando microfibras individuales estaban siendo analizadas, solo temperaturas de muestra relativas podían ser comparadas. Siete muestras diferentes fueron sometidas a múltiples análisis en MCMS. Los resultados fueron corregidos con blancos del instrumento. Perfluoroqueroseno fue utilizado como un calibrante interno, su espectro fue abstraído por el instrumento de la computadora. Se midieron las corrientes iónicas totales (TIC).

Algunas de las muestras provienen de áreas de aparentes de flujos de sangre, algunos de áreas quemadas, uno ("el hilo de Zina") era un segmento de hilo completo que había sido retirado del área de la imagen del talón, uno provenía de un área de imagen pura, uno provenía de una mancha de agua en un área de imagen, y varios fueron reproducciones modernas de la antigua tecnología de lino. Sra. Kate Edgerton (fallecida), hizo las reproducciones de lino crudo según relatos históricos de tecnología antigua. Para obtener data replicada, algunos de los análisis de pirólisis/ms tenían que ser realizados con fibras individuales de 10-15 micrometros de diámetro con 5-6 mm de largo. Comparado con las fibras extraídas de las cintas de muestreo, había un amplio material de la muestra de Raes, que debería ser representativo de todo el área de muestreo de Raes/radiocarbono.

En el momento en que se analizaron las muestras, el objetivo de STURP era probar si la imagen había sido pintada. Los resultados de los análisis de pirolisis/ms demostraron ser consistentes con una variedad de observaciones y datos independientes [2] demostrando que la imagen no fue el resultado de un material aplicado. Con esa conclusión establecida, las docenas de conjuntos de datos de pirolisis/ms ahora pueden ser reanalizados para comparar muestras desde el área de radiocarbono con muestras de la tela principal.

La celulosa se piroliza para producir hidroximetilfurfural (masa 126), que comienza a deformarse en una reacción en serie para producir furfural (masa 96). Furfural es siempre un producto menor de la descomposición de la celulosa. Fibras de lino de la parte principal del

sudario no mostró significativa evolución del producto hasta temperaturas relativamente altas (probablemente alrededor de 260 °C), pero los productos contenían ambos fragmentos esperados (Fig. 4). Las pentosas no producen hidroximetilfurfural. También se pirolizan mucho más rápido a menores temperaturas que la celulosa. Cuando los primeros productos de pirolisis aparecieron durante el calentamiento, las fibras de Raes mostraron una señal para furfural en la masa 96 (figura 5). No hubo señal en la masa 126. Estos resultados demuestran que el recubrimiento de goma en las muestras de Raes y de radiocarbono es una pentosa. Ninguna puede ser detectada en ninguna fibra de la parte principal del sudario.

Incidentalmente, los espectros de pirólisis/ms de muestras de aparentes manchas de sangre mostraron picos de hidroxiprolina en la masa 131, un producto de pirólisis de proteínas animales.

El hecho de que la vainillina no pueda ser detectada en la lignina en las fibras del sudario, el lienzo de los pergaminos del Mar Muerto y otros linos muy viejos indican que el sudario es bastante antiguo. Una determinación de la cinética de la pérdida de vainillina sugiere que el sudario está entre 1300- y 3000 años de edad. Incluso permitiendo errores en las mediciones y suposiciones sobre las condiciones de almacenamiento, es poco probable que la tela sea tan joven como 840 años.

Una capa de goma/tinte/mordiente es fácil de observar en hilos de Raes y radiocarbono. Ninguna otra parte del sudario muestra tal recubrimiento. La evolución térmica temprana del furfural durante los análisis de pirolisis/ms, la solubilidad relativamente fácil en agua, el color amarillo formado con yodo y la fácil hidrólisis sugiere goma Arábica. La goma Arábica se obtiene de Acacia Senegal y se compone de unidades de azúcares pentosas. Su presencia como un componente principal en los revestimientos en las muestras de Raes y radiocarbono no es una sorpresa, porque ha sido durante mucho tiempo un vehículo común en pinturas al temple. La muestra de radiocarbono había sido teñida. El teñido fue, probablemente, hecho intencionalmente en material prístino de reemplazo para que coincida con el color del paño viejo de color sepia. La goma, probablemente, tiene la misma edad que Raes y el hilo de radiocarbono y no debería tener efecto en la determinación de la edad. En cualquier caso, esta goma soluble en agua y fácilmente hidrolizada hubiera sido eliminada completamente por los procedimientos de limpieza utilizados en las muestras fechadas [1].

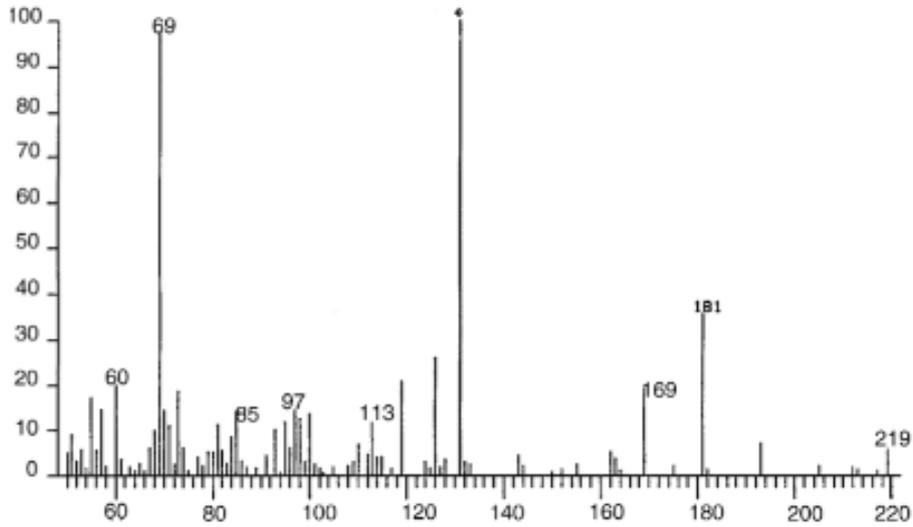


Fig. 4. Un espectro de masas obtenido a partir de la pirólisis de una fibra de la imagen del sudario. La muestra no produjo una cantidad significativa de furfural (masa 96) hasta que alcanzó temperaturas más altas; es decir, no contenía una cantidad significativa de azúcares pentosas. La ordenada muestra la intensidad relativa de iones para cada producto a esa temperatura, y la abscisa muestra la masa del ion.

El colorante encontrado en la muestra de radiocarbono no se usó en Europa antes de, aproximadamente, a.d. 1291 y no fue común hasta más de 100 años después [6]. La evidencia combinada de cinética química, química analítica, contenido de algodón, y de pirólisis/ms demuestra que el material del área de radiocarbono del sudario es significativamente diferente al de la tela principal. La muestra de radiocarbono, por lo tanto, no era parte de la tela original y es inválida para determinar la edad del sudario. Dado que las condiciones de almacenamiento a través de los siglos son desconocidas, una determinación más precisa de edad requerirá nuevos análisis de radiocarbono con varias muestras completamente caracterizadas y cuidadosamente preparadas.

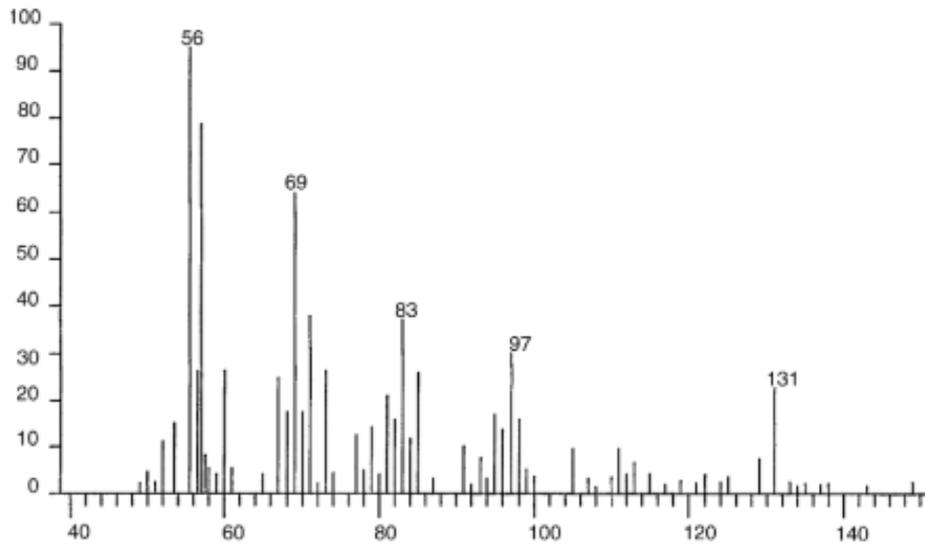


Fig. 5. Un espectro de masas de la pirólisis a baja temperatura de fibras de una muestra de Raes. Como se muestra por la señal en la masa 96 y la ausencia de una señal en masa 126, la muestra contenía una cantidad significativa de pentosas. La ordenada muestra la intensidad relativa de iones para cada producto a esa temperatura, y la abscisa muestra la masa del ion.

Se eliminó una cantidad significativa de celulosa carbonizada durante una restauración del sudario en 2002 [10]. Material de quemaduras de diferentes ubicaciones a lo largo del manto fue guardado en contenedores separados. El carbono elemental podría ser completamente limpiado en ácido nítrico concentrado, eliminando así todo rastros de fibras extrañas, sebo de manejo repetido, y timol adsorbido de un procedimiento desafortunado para esterilizar el relicario del sudario en 1988. Además, las muestras separadas darían un "grupo" de fechas, siempre un procedimiento deseable en arqueología. Un nuevo análisis de radiocarbono debería ser realizado en el material carbonizado retenido de la restauración de 2002.

Reconocimientos

Deseo reconocer a Barrie Schwartz, el fotógrafo de registro para STURP, por la asistencia experta en la preparación de las figuras. Ninguno de los trabajos informados fue respaldado por ninguna parte del Gobierno de los Estados Unidos o cualquier otra organización de financiación. Todo el trabajo de microscopía y química húmeda se realizó en el laboratorio de origen del autor.

Referencias

- [1] P.E. Damon, D.J. Donahue, B.H. Gore, A.L. Hatheway, A.J.T. Jull, T.W. Linick, P.J. Sercel, L.J. Toolin, C.R. Bronk, E.T. Hall, R.E.M. Hedges, R. Housley, I.A. Law, C. Perry, G. Bonani, S. Trumbore, W. Woelfli, J.C. Ambers, S.G.E. Bowman, M.N. Leese, M.S. Tite, *Nature* 337 (1989) 611–615.
- [2] L.A. Schwalbe, R.N. Rogers, *Anal. Chim. Acta* 135 (1982) 3–49.
- [3] E.J. Jumper, A.D. Adler, J.P. Jackson, S.F. Pellicori, J.H. Heller, J.R. Druzik, *ACS Adv. Chem. Archaeol. Chem.* III 205 (1984) 447–476.
- [4] G. Raes, *Rivista Diocesana Torinese* (1976) 79–83.
- [5] R. Gilbert Jr., M. Gilbert, *Appl. Opt.* 19 (1980) 1930–1936.
- [6] B. Hochberg, *Handspinner's Handbook*, Windham Center, Norwalk, CT, 1980, pp. 1–4.
- [7] A.D. Adler, R. Selzer, F. DeBlase, In: D. Crispino (Ed.), *The Orphaned Manuscript*, Effata Editrice, Via Tre Denti, 1-10060 Cantalupa, Torino, Italy, 2002. pp. 93–102.
- [8] M.S. Benford, J.G. Marino, <http://www.shroud.com/pdfs/textevid.pdf>.
- [9] M.S. Benford, J.G. Marino, <http://www.shroud.com/pdfs/histsupt.pdf>.
- [10] G. Ghiberti, *Sindone le immagini 2002*, Opera Diocesana Preservazione Fede — Buona Stampa Corso Matteotti, 11-10121 Torino.