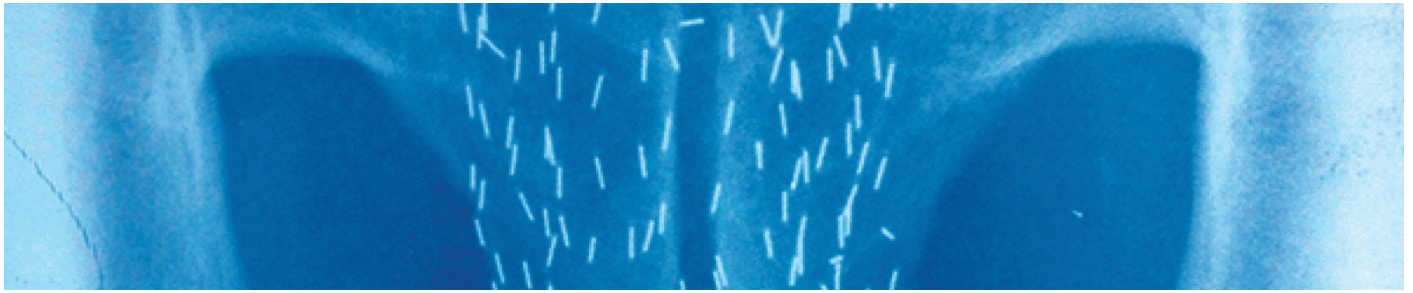


Investigación original



Verificación de dosimetría en braquiterapia con películas radiocrómicas

Dosimetry verification in brachytherapy using radiochromic films

DOI 10.65183/revind.e17.04

Ph. D. Daniel F. Aguirre R. ^{1A}

1 Sociedad de Lucha Contra el Cáncer (SOLCA) Núcleo de Loja

Fecha recepción: 12-03-2026

Fecha aceptación: 20-03-2026

Fecha publicación: 02-07-2026

Resumen

La verificación independiente de la dosis en braquiterapia es un aspecto fundamental para garantizar la seguridad y exactitud de los tratamientos. El objetivo de este estudio fue desarrollar y evaluar un método experimental para la verificación dosimétrica utilizando películas radiocrómicas, con el fin de comparar la respuesta experimental con las dosis calculadas por el sistema de planificación. Para el estudio se empleó una fuente de Ir-192 acoplada a un sistema de braquiterapia HDR y un fantoma de agua sólida en el que se colocaron 84 tiras de película radiocrómica distribuidas a diferentes profundidades con respecto al aplicador. Las películas fueron irradiadas con diferentes prescripciones de dosis. Posteriormente, las películas se escanearon a 600 ppp en un escáner de alta resolución y las imágenes obtenidas se analizaron mediante el software ImageJ con análisis multicanal RGB. A partir de perfiles de intensidad de píxel, se determinaron valores mínimos de intensidad, que fueron normalizados respecto a una referencia para obtener la intensidad relativa asociada a cada dosis. Los resultados mostraron una relación creciente entre la intensidad relativa y la dosis absorbida. En aire, los valores promedio de intensidad relativa mostraron desviaciones estándar bajas que indican buena reproducibilidad. En agua sólida se observó una disminución de la intensidad relativa con el aumento de la profundidad, consistente con la atenuación de la radiación. Se concluye que el uso de películas radiocrómicas constituye una herramienta confiable para la verificación dosimétrica en braquiterapia HDR y puede emplearse como método complementario de control de calidad en la práctica clínica.

Palabras clave:

Braquiterapia, película, radiocrómicas, dosimetría, análisis

A E-mail: daguirre@solcaloja.med.ec

 ORCID iD: 0000-0003-2822-6573

Abstract

Independent dose verification in brachytherapy is essential to ensure the safety and accuracy of treatments. The aim of this study was to develop and evaluate an experimental method for dosimetric verification using radiochromic film, in order to compare the experimental response with the doses calculated by the treatment planning system. An Ir-192 source coupled to an HDR brachytherapy system and a solid-water phantom were used. Eighty-four strips of radiochromic film were placed in the phantom at varying depths relative to the applicator. The films were irradiated with different dose prescriptions. Subsequently, the films were scanned at 600 dpi using a high-resolution scanner, and the resulting images were analyzed using ImageJ software with multi-channel RGB analysis. Minimum intensity values were determined from pixel intensity profiles and normalized to a reference to obtain the relative intensity associated with each dose. The results showed an increasing relationship between relative intensity and absorbed dose. In air, the average relative intensity values showed low standard deviations, indicating good reproducibility. In solid water, a decrease in relative intensity was observed with increasing depth, consistent with radiation attenuation. It is concluded that the use of radiochromic films is a reliable tool for dosimetric verification in HDR brachytherapy and can be used as a complementary quality control method in clinical practice.

Keywords:

Brachytherapy, film, radiochromic, dosimeter, analysis

INTRODUCCIÓN

Para validar cuán perfecta es la distribución de dosis calculada por el sistema de planificación BrachyVision, es necesario asegurarse de que la cantidad de dosis entregada al paciente se puede medir o comprobar. Para la verificación se utilizan películas radiocrómicas con base en la recomendación de la AAPM⁽¹⁾, que fueron irradiadas con diferentes cantidades de dosis. En el presente caso, debido a su respuesta simétrica a la radiación⁽²⁾, se utilizaron películas Gafchromic EBT3, que han sido utilizadas como una referencia válida y certificada a lo largo de los años⁽³⁾. Este tipo de películas EBT3 son fundamentales para braquiterapia con Ir192 y su energía⁽⁴⁾, y se justifica su uso con versiones anteriores, como EBT2⁽⁵⁾. El objetivo, al irradiar las láminas, fue obtener diferentes escalas de grises en las películas radiocrómicas y, por medio de análisis de imágenes, comprobar la escala de grises de las películas irradiadas. Se revisó la respuesta a la radiación como también a la saturación de dosis.

METODOLOGÍA

El presente trabajo se basó en el documento "Verification of Brachytherapy Dosimetry with Radiochromic Film" de Shumer et al., (1999)⁽⁶⁾. La metodología propuesta, basada en la de Pérez (2014)⁽⁷⁾, se acopla a nuestras condiciones particulares, dado lo cual se procedió a realizar varias medidas ocupando una guía fija para la ubicación de la fuente de Ir192⁽⁸⁾, que incluye al Gammamed⁽⁹⁾, fantasmas de agua sólida⁽¹⁰⁾, película radiocromática Gaf-

chromic™ EBT3 con rango de dosis desde 200 cGy a 1000 cGy, escáner EPSON Expression⁽²²⁾, programa ImageJ⁽¹⁶⁾ y diferentes distancias a la fuente medidas con regla.

Los fantasmas de agua sólida se aseguraron con cinta adhesiva y se midieron las distancias. En el plano base se fijó la guía en la parte central correspondiente a la concavidad del fantoma de agua sólida, y se ubicaron 6 películas radiocrómicas por prescripción. Las películas 1 y 2 se colocaron de manera transversal iniciando en el borde de la guía a ambos lados, para establecer la distancia irradiada (Figura 1).

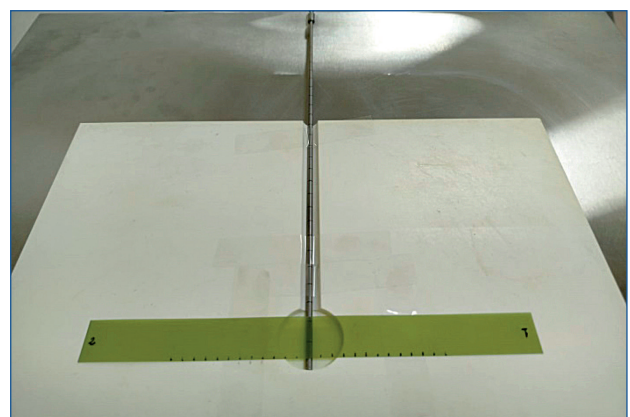


Figura 1. Fijación de guía en el centro del fantoma sólido hasta llegar al tope de la circunferencia, y en la zona cóncava para establecer la máxima profundidad de la guía. Se sujetó con cinta y se establecieron las medidas de las películas cada 0.5 cm.

Luego se colocó la película 3 sobre una lámina de PMMA de 1 cm de espesor y sobre la lámina que contiene al aplicador. Después se puso la película 4 sobre una lámina de PMMA de 1 cm de espesor sobre la película 3. Esto sería hacia arriba del aplicador. En el otro sentido, se ubicó la película 5 bajo la lámina que contiene al aplicador, y sobre una lámina PMMA de 0.5 mm de espesor.

Finalmente, la película 6 se situó debajo de la película 5 sobre una lámina PMMA de 1 cm de espesor. Todas las películas quedaron en el centro de las láminas de PMMA y la parte más larga de la película en dirección del aplicador. Esto se muestra en la figura 2. Las distancias a las que se encontró cada película del aplicador fueron las que se muestran en la figura 3.

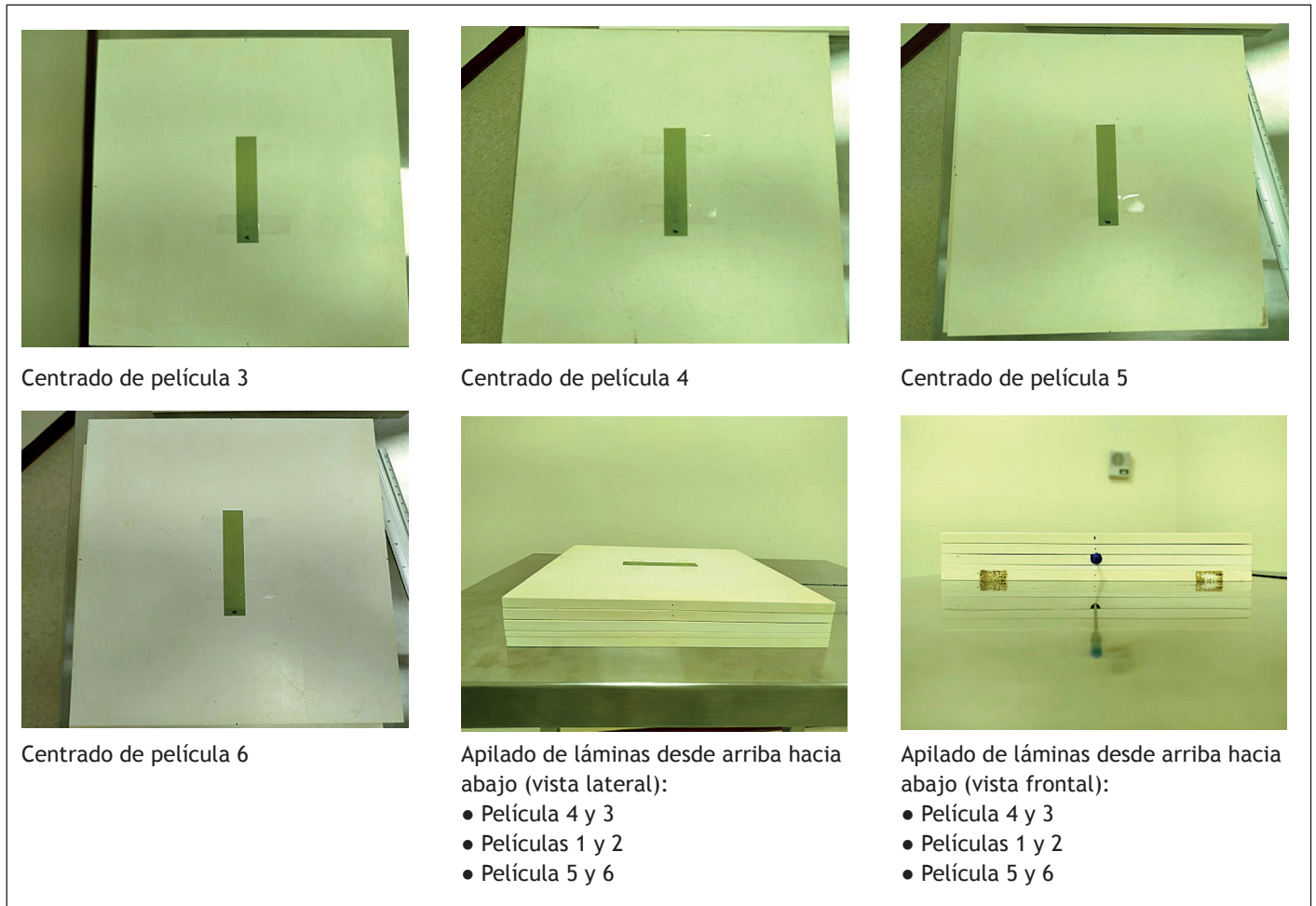


Figura 2. Profundidad de la guía en el fantoma de agua sólida. Se muestra el centrado y el apilado de las láminas con las películas aseguradas con cinta adhesiva.

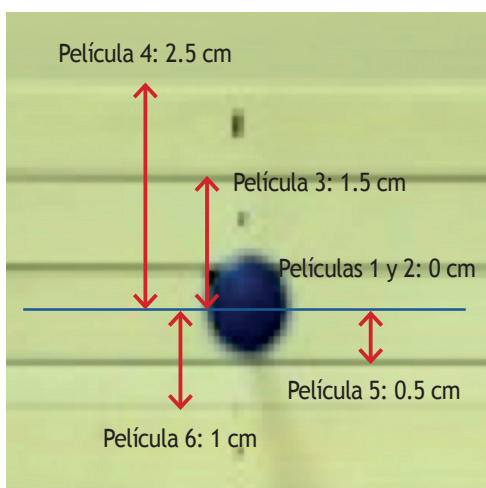


Figura 3: Se muestra la posición del aplicador y la distancia a la que se encuentra cada película.

En el caso de las películas 1 y 2, se considera la distancia cero, ya que la película se encuentra en contacto con el aplicador tal y como se muestra en la figura 1.

Para la toma de datos con una dosis (D) de 100 cGy, primero se establece el cálculo de tasa de dosis ($\dot{D}$) con la finalidad de obtener el tiempo (t) que se aplica al equipo Gammamed, dependiendo de la actividad (A) existente de la fuente de Ir192 con su constante gamma (Γ) utilizando una distancia (d) base en el día de la prueba. La fórmula se muestra en la ecuación 1 donde, aplicando

para una distancia de 0.5 cm, una actividad de 4.051 Ci, una constante gamma de 0.135 [mSv · m²/h/GBq], una conversión de 1 Ci por cada 37 GBq, el tiempo en segundos es:

$$t = \frac{D}{\dot{D}} = \frac{D}{\frac{A \cdot \Gamma}{d^2}} = \frac{D \cdot d^2}{A \cdot \Gamma} \quad [1]$$

$$t = \frac{100}{\dot{D}} = \frac{100}{\frac{A \cdot \Gamma}{d^2}} = \frac{100 [\text{cGy}] \cdot 0.005^2 [\text{m}^2]}{4.051 [\text{Ci}] \cdot \frac{37 [\text{GBq}]}{1 [\text{Ci}]} \cdot 0.135 \left[\frac{\text{mSv} \cdot \text{m}^2}{\text{h} \cdot \text{GBq}} \right] \cdot 0.1 \left[\frac{\text{cSv}}{\text{mSv}} \right] \cdot \frac{1 [\text{h}]}{3600 [\text{s}]} = 4.45 [\text{s}]$$

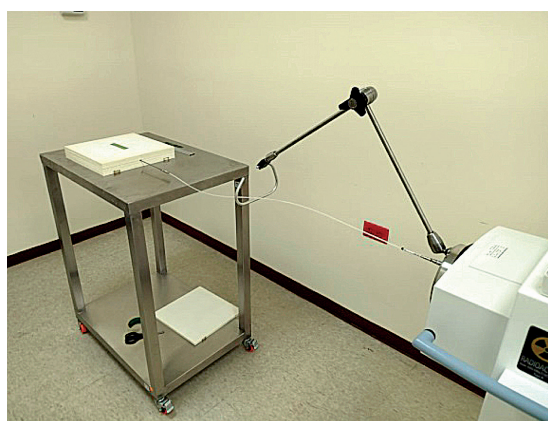
El valor de 4.45 segundos fue el que se ingresó al Gam-mamed para la irradiación con el fin de obtener 100 cGy a 0.5 cm de la fuente. El cálculo de tiempo realizado para todas las prescripciones se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Tiempo de exposición a 0.5 cm de la fuente para encontrar la dosis prescrita.

Dosis (cGy)	Actividad (Ci)	Tiempo (s)
100	4.051	4.45
200	3.902	9.24
300	3.902	13.85
400	3.902	18.47
500	3.902	23.09
600	3.902	27.71
700	3.902	32.32
1000	3.866	46.61
2000	3.866	93.21
3000	3.866	139.82
4000	3.866	186.43
5000	3.866	233.03
6000	3.866	279.64
7000	3.866	326.24

Posteriormente:

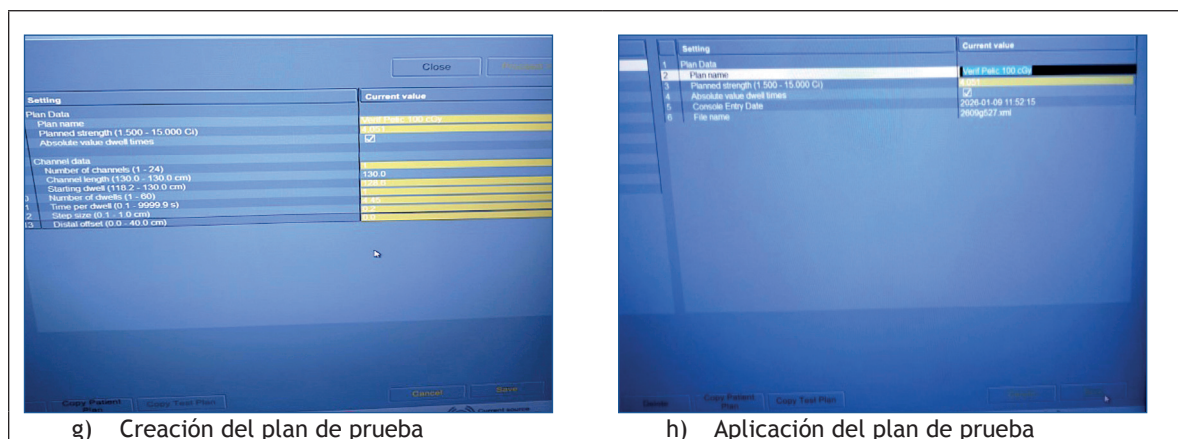
1. Se instaló la guía del aplicador al indexador, considerando una distancia de 130 cm de viaje de la fuente de Ir192 desde el indexador hasta la punta del aplicador (Figura 4 a).
2. Para establecer el centro se estableció la distancia de 128.6 cm, que es el espacio en donde nos encontramos en la mitad de las películas 1 y 2.
3. Para indicarlo, se crea un plan con el nombre Verif Pelic 100 cGy en el que se indica la actividad (4.051 Ci en figura 4b), y en sus características se consideró:
 - a. valores absolutos para el movimiento de la fuente,
 - b. el uso de un solo canal,
 - c. la longitud del canal (130 cm),
 - d. dónde empezó la actividad de la fuente (128.6 cm),
 - e. el número de movimientos, que en este caso solo es uno,
 - f. el tiempo de permanencia en segundos para la actividad actual (4.45 s),
 - g. el tamaño de paso (0.2 cm) y
 - h. el ajuste del movimiento de la fuente en cero centímetros. Todo esto se muestra en la figura 4c y 4d.



e) Instalación de la guía



f) Valor de actividad de la fuente



g) Creación del plan de prueba

h) Aplicación del plan de prueba

Figura 4: Instalación de la guía, valor de actividad de la fuente, valores de ingreso en la creación del plan y ejecución del plan.

Al finalizar la irradiación, se tomaron todas las películas y se las escaneó en un equipo EPSON Expression 13000X⁽¹¹⁾ a 600 ppp (píxeles por pulgada). En la figura 5 se muestra el antes y después de cada película escaneada.

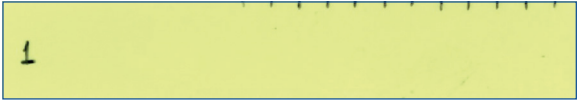
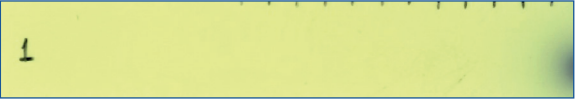
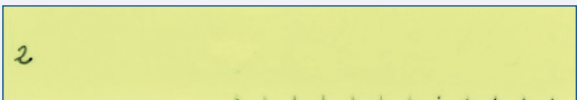
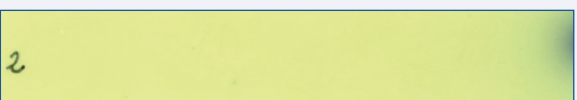
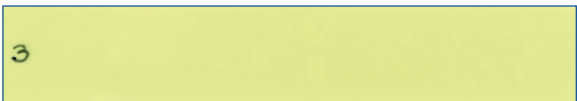
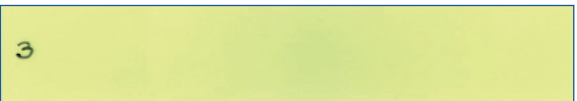
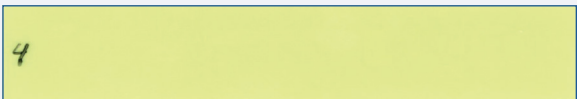
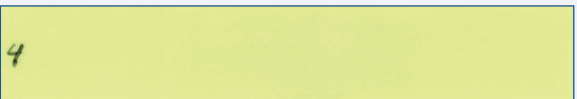
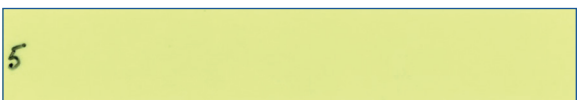
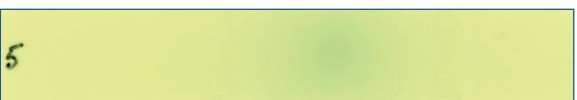
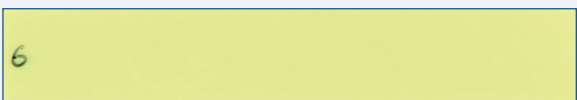
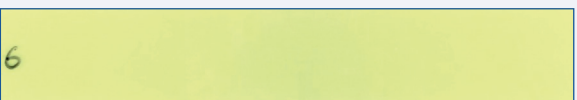
Antes de la irradiación	Luego de la irradiación	cm
		0
		0
		1.5
		2.5
		0.5
		1

Figura 5: Escaneo de las películas (1 a 6 de 84) antes y luego de la irradiación con la profundidad a la que se encontraron con relación al aplicador.

Las medidas de dosis se realizaron para las indicadas en la tabla 1, para lo cual previamente cada una de las tiras de película radiocrómica fue numerada y escaneada con el propósito de tener una imagen de referencia. El escaneo de todas las 84 tiras de película fue analizado con el programa Image J para establecer una escala de grises y un valor porcentual de referencia, con el que se contrastará los 84 valores luego de la irradiación.

Con los 84 valores se obtuvo la escala de grises y se consideró un promedio por cada valor. A continuación se muestra paso a paso cómo se encuentran los datos ingresados:

12. Se debe reconocer que dos de las láminas (las horizontales: 1 y 2) evaluaron la respuesta en aire, pues no existe un medio entre la fuente y la película.
13. El resto de las láminas (3, 4, 5 y 6) analizaron la respuesta de la radiación a través de agua sólida.

14. Las láminas se observaron de manera multicanal considerando los valores RGB ⁽¹³⁾.
15. Para establecer la referencia (REF) de cada lámina, previo a la irradiación, se dibujó un ROI cuadrado de 0.5 cm por medio del programa ImageJ.
16. Para determinar el valor de intensidad en cada distancia, desde el centro se delinearón perfiles por medio del programa ImageJ.
17. Los perfiles se trazaron de manera perpendicular a cada distancia de 0.5 cm en la imagen de la película, es decir, para 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 y 4.0 cm.
18. Cada perfil se dibujó por medio de la herramienta Plot Profile y se muestra en color negro (figura 6 gráfico de dos dimensiones). Debido al ruido que se tiene del perfil, se trazó una curva de ajuste por medio de un polinomio de octavo grado (color azul en figura 6 gráfico de dos dimensiones).
19. El objetivo fue encontrar el pixel más oscuro de la película escaneada, lo que se logró con el listado de valores del ajuste polinómico de octavo grado.

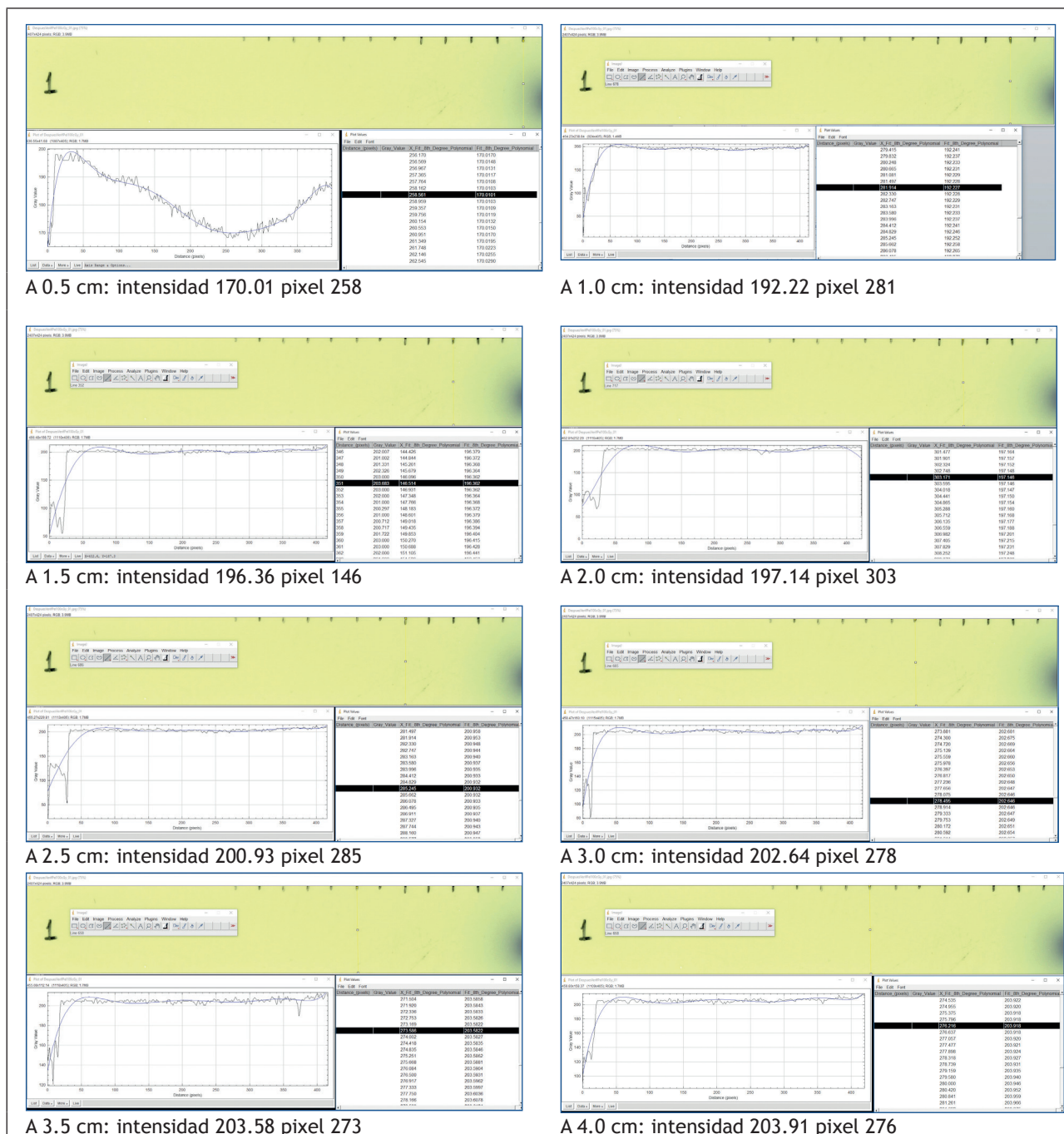


Figura 6: Resultado de trazo de perfiles y valor de intensidad mínimo por pixel para cada distancia de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 y 4.0 cm.

Para registrar el valor de intensidad del pixel del resto de láminas, se buscó el valor por medio de dos perfiles: uno paralelo al aplicador y central en la lámina, y otro, perpendicular al aplicador y central en la lámina. El resultado de ambos valores se promedió y se consideró como respuesta. Para mostrar el procedimiento, se consideró la película 3 y, como primer paso, se encontró la referencia (REF) por medio de un ROI cuadrado de 0.5 cm de lado, dibujado aproximadamente en la parte central, antes de ser irradiada la película.

Para encontrar el perfil paralelo al aplicador, se inició el trazo en el extremo derecho de la película escaneada y en la parte central de la lámina. Con la herramienta Plot Profile, se dibujó el perfil en negro y se creó una curva de ajuste en azul por medio de un polinomio de octavo grado, y en el listado de datos obtenido, se identificó el menor valor de intensidad y la correspondencia al pixel (Figura 7). Para el perfil perpendicular al aplicador, se siguió el mismo procedimiento. Se promedió los valores encontrados de forma paralela y transversal al aplicador (197.42 y 196.26) y se obtuvo el valor de 196.84, que se registra como respuesta.

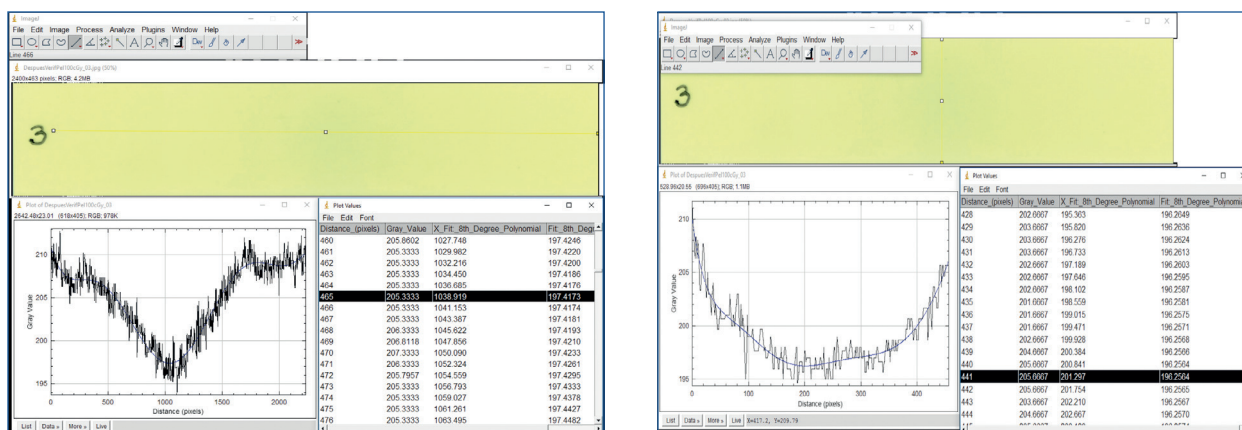


Figura 7: Resultado de aplicar la herramienta Plot Profile en la lámina 3 de manera perpendicular y paralela a la lámina.

La intensidad del pixel se registró con el valor obtenido dividido para la referencia y restado de la unidad. Esa nueva proporción es la intensidad que se percibe para la cantidad de dosis entregada y que se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Resultado de análisis de intensidad de pixel por medio de perfil a 0.5 cm para 100 cGy.

DOSIS 100 cGy			Intensidad de pixel a 0.5 cm			
Película	N°	REF	Medido	Porcentual (%)	1-%	Medio
Horizontal izquierdo	1	209	170.0	0.81	0.19	Aire
Horizontal derecho	2	210	171.8	0.82	0.18	Aire
0.5 cm inferior	5	207	183.5	0.89	0.11	Agua sólida

RESULTADOS

Los resultados se muestran en la tabla 3, tabla 4 y tabla 5.

Tabla 3. Datos relativos a la intensidad del pixel del escaneo de cada lámina restado de la unidad para dosis de 100 a 700 cGy. Se muestra el número de la lámina a la que corresponde (N°).

Distancia 0.5 cm	Dosis (cGy)													
	N°	100	N°	200	N°	300	N°	400	N°	500	N°	600	N°	700
Horizontal Izquierdo	1	0.19	7	0.35	13	0.42	19	0.45	25	0.69	31	0.54	37	0.60
Horizontal Derecho	2	0.18	8	0.27	14	0.39	20	0.48	26	0.54	32	0.59	38	0.56
0.5 cm inferior	5	0.11	11	0.05	17	0.22	23	0.29	29	0.35	35	0.54	41	0.42
1 cm inferior	6	0.04	12	0.08	18	0.1	24	0.12	30	0.17	36	0.20	42	0.23
1.5 cm superior	3	0.05	9	0.08	15	0.1	21	0.15	27	0.19	33	0.21	39	0.22
2.5 cm superior	4	0.01	10	0.03	16	0.02	22	0.04	28	0.08	34	0.06	40	0.08

Tabla 4. Datos relativos a la intensidad del pixel del escaneo de cada lámina restado de la unidad para dosis de 1000 a 7000 cGy. Se muestra el número de la lámina a la que corresponde (N°).

Distancia 0.5 cm	Dosis (cGy)													
	N°	1000	N°	2000	N°	3000	N°	4000	N°	5000	N°	6000	N°	7000
Horizontal izquierdo	43	0.65	49	0.77	55	0.80	61	0.81	67	0.81	73	0.83	79	0.84
Horizontal derecho	44	0.7	50	0.80	56	0.80	62	0.79	68	0.81	74	0.81	80	0.83
0.5 cm inferior	47	0.58	53	0.76	59	0.75	65	0.79	71	0.77	77	0.77	83	0.78
1.0 cm inferior	48	0.31	54	0.40	60	0.51	66	0.58	72	0.62	78	0.67	84	0.71
1.5 cm superior	45	0.26	51	0.39	57	0.46	63	0.51	69	0.55	75	0.59	81	0.64
2.5 cm superior	46	0.1	52	0.17	58	0.21	64	0.25	70	0.27	76	0.31	82	0.32

Para el caso de los valores obtenidos en el medio aire, que corresponde a las láminas horizontales, se los promedia, puesto que la distancia desde la fuente es la misma. El resultado de promediar esos valores se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Promedio de los valores calculados a 0.5 cm de cada lámina horizontal irradiadas en aire.

Distancia 0.5 cm							Dosis (cGy)							
	N°	100	N°	200	N°	300	N°	400	N°	500	N°	600	N°	700
Horizontal izquierdo	1	0.19	7	0.35	13	0.42	19	0.45	25	0.69	31	0.54	37	0.60
Horizontal derecho	2	0.18	8	0.27	14	0.39	20	0.48	26	0.54	32	0.59	38	0.56
Promedio		0.18		0.31		0.41		0.47		0.61		0.56		0.58
Desviación estándar		0.003		0.061		0.020		0.024		0.106		0.030		0.025

Distancia 0.5 cm							Dosis (cGy)							
	N°	1000	N°	2000	N°	3000	N°	4000	N°	5000	N°	6000	N°	7000
Horizontal izquierdo	43	0.65	49	0.77	55	0.8	61	0.81	67	0.81	73	0.83	79	0.84
Horizontal derecho	44	0.7	50	0.8	56	0.8	62	0.79	68	0.81	74	0.81	80	0.83
Promedio		0.68		0.79		0.80		0.80		0.81		0.82		0.84
Desviación estándar		0.04		0.015		0.002		0.015		0.006		0.013		0.004

Con los resultados de las tablas 3, 4 y 5, se obtuvo una gráfica logarítmica ascendente para cada valor de profundidad y de distancia. Luego, a estas gráficas, se les realizó un ajuste polinómico para encontrar una fórmula que estime el resultado porcentual que se debe lograr en una película radiocrómica para cuando sea irradiada. Se consideró que, al hacer un ajuste logarítmico, se obtuvo una fórmula con resultados de valores negativos, por lo que se debió hacer un ajuste racional polinómico⁽¹⁴⁾ teniendo en cuenta los potenciales errores sistemáticos por el escaneo⁽¹⁵⁾. Para el caso de la intensidad relativa en aire a 0.5 cm, correspondiente a los valores promedio de la tabla 5, se obtuvo la curva de la figura 8 y la ecuación 2 donde y corresponde a la intensidad del pixel y x a la dosis en Gy: $y = 6E - 6x^3 - 0.0008x^2 + 0.0356x + 0.3209$ [2]

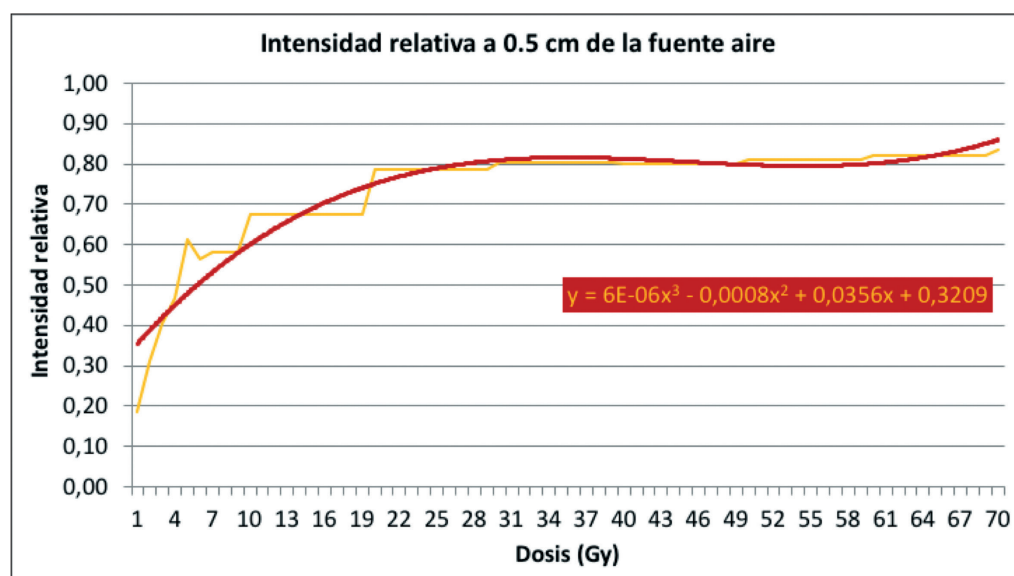


Figura 8. Interpolación de datos de intensidad relativa en agua sólida a 0.5 cm desde 100 a 7000 cGy.

Con el mismo procedimiento, se aplicó la intensidad relativa en agua sólida a una profundidad de 0.5, 1.0, 1.5 y 2.5 cm, correspondiente a los valores de la tabla 3 y 4, y se obtuvo las ecuaciones 3, 4, 5 y 6:

$$y = 7E - 6x^3 - 0.001x^2 + 0.0456x + 0.1188 \quad [3]$$

$$y = 1E - 6x^3 - 0.0003x^2 + 0.0198x + 0.06758 \quad [4]$$

$$y = 1E - 6x^3 - 0.0002x^2 + 0.0174x + 0.0714 \quad [5]$$

$$y = 2E - 7x^3 - 5E - 5x^2 + 0.007x + 0.016 \quad [6]$$

DISCUSIÓN

Los valores de intensidad obtenidos varían por la distancia y precisión de la respuesta de la película radiocrómica a la radiación. Esto se puede evidenciar en los valores obtenidos de las películas colocadas de manera horizontal a la izquierda y derecha del aplicador de forma transversal, en donde los resultados deberían ser iguales. Las diferencias que se obtienen tienen una desviación estándar máxima de 0.06 en el mayor caso y de 0.002 en el menor caso. Esto quiere decir que, debido a que los datos se presentan como proporción, la mayoría se encuentran fuertemente agrupados alrededor de la media, con lo que se determina valores consistentes, reflejando alta concordancia y baja variabilidad. Sin embargo, la relación que se obtenga por un valor proporcional de intensidad debe analizarse y corroborarse desde el punto de vista de la dosis.

Las tablas sirven como referencia, pero no como regla. Para tener mayores valores, se deberían crear múltiples planes de braquiterapia donde cada prescripción sea simulada previamente y el valor obtenido se compare con la tabla de valores de este estudio.

Las curvas resultantes se muestran con valores que podrían cambiar el comportamiento polinómico esperado debido, posiblemente, a que la intensidad de la película medida por el escáner haya cambiado su valor, ya sea por normalizar la imagen o por suciedad. A pesar de que las películas fueron tratadas con mucho cuidado, en algunos de los escaneos se evidencia la diferencia de intensidad, lo que podría llevar a un valor diferente entre la referencia tomada y la proporción que se calcula, lo que se aprecia como un error de efecto lateral ⁽¹²⁾.

Las curvas producidas fueron completadas por medio de interpolación con el fin de obtener la curva logarítmica

esperada. No obstante, al intentar ajustarla, existieron resultados negativos, por lo que una curva polinómica de tercer grado se ajusta mejor. Esto quiere decir que se debe evaluar el ajuste de curva como fórmula para su aplicación. Además, es necesario considerar y revisar tanto la curva de profundidad a aplicar como también los resultados de la tabla, dependiendo del valor de dosis usado ⁽¹⁸⁾.

Este método sirve como estándar para auditorías externas ⁽²⁰⁾ que se contemplan en un marco regulatorio internacional, que justifica la necesidad de este protocolo ⁽²¹⁾. En el contexto de auditorías externas, la implementación de metodologías basadas en películas radiocrómicas adquiere especial relevancia como herramienta independiente de verificación dosimétrica. Organismos como la International Atomic Energy Agency (IAEA) y la American Association of Physicists in Medicine (AAPM) recomiendan la incorporación de sistemas de control de calidad que permitan evaluar la exactitud de la dosis administrada en condiciones clínicas reales. En particular, los protocolos derivados del formalismo TG-43 establecen la necesidad de validar experimentalmente las distribuciones de dosis calculadas por los sistemas de planificación, especialmente en escenarios con altos gradientes de dosis, como los presentes en braquiterapia.

Asimismo, las auditorías dosimétricas independientes, como las promovidas por la IAEA, enfatizan la importancia de contar con métodos reproducibles, trazables y comparables entre instituciones. En este sentido, el uso de películas radiocrómicas permite realizar evaluaciones bidimensionales de alta resolución espacial, lo que facilita la detección de desviaciones geométricas o dosimétricas que podrían no ser evidentes mediante métodos convencionales. La estandarización de este tipo de protocolos no solo contribuye al cumplimiento de los

requisitos regulatorios internacionales, sino que también fortalece la cultura de seguridad del paciente y la mejora continua en los servicios de radioterapia.

Finalmente, este método se presenta como una herramienta robusta para procesos de verificación dosimétrica y auditorías externas en braquiterapia, pues se alinea con las recomendaciones internacionales en control de calidad en radioterapia. Su implementación contribuye a garantizar la exactitud en la entrega de dosis y a consolidar programas de aseguramiento de calidad basados en evidencia, que incrementen la confiabilidad de los tratamientos y la seguridad del paciente.

RECOMENDACIONES

- La cinta para adherir la película en las láminas PMMA nunca debe quedar sobre el área de análisis de la película, ya que el adhesivo puede introducir efectos de densidad óptica en el escáner.
- El uso de guantes es importante, pues las películas son sensibles a la grasa de la piel. Para tener una estabilización térmica por parte de las películas, se sugiere que se encuentren al menos 24 horas en la sala de tratamiento.

- Para separar distancias en las películas y asegurar reproducibilidad, se sugiere utilizar separadores calibrados.
- Debido a que la braquiterapia muestra gradientes de dosis muy pronunciados (ley del inverso del cuadrado), se sugiere realizar un análisis gamma con criterios de 3% / 2mm o 5% / 3 mm. Estos niveles de tolerancia son consistentes con las recomendaciones para controles de calidad en escenarios de alta complejidad mecánica y dosimétrica (23). Para este proceso se propone utilizar el programa PyMedPhys (22), estableciendo como criterio de éxito un índice gamma (17, 19) mayor al 90% o 95% de puntos aprobados, asegurando así la concordancia entre la planificación clínica en BrachyVision y la dosis entregada.

CONCLUSIÓN

Se validó un protocolo de dosimetría indirecta mediante el análisis de la densidad óptica en películas radiocrómicas. Este método permitió correlacionar los niveles de atenuación en la escala de grises con la fluencia de radiación, estableciendo una función de respuesta técnica para la caracterización precisa de diversas prescripciones de dosis.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Niroomand-Rad, A., et al. (1998). "Radiochromic film dosimetry: Recommendations of AAPM TG-55". Med. Phys. DOI: 10.1118/1.598407.
- (2) Battum, L. J., et al. (2016). "Characteristics of Gafchromic EBT3 radiochromic film". Med. Phys. DOI: 10.1118/1.4940351.
- (3) Devic, S. (2011). "Radiochromic film dosimetry: Past, present, and future". Phys. Med. DOI: 10.1016/j.ejmp.2010.10.001.
- (4) Brown, T. R., et al. (2012). "Energy dependence of Gafchromic EBT2 and EBT3". Med. Phys. DOI: 10.1118/1.4749929.
- (5) Reinhardt, S., et al. (2012). "Comparison of Gafchromic EBT2 and EBT3". Med. Phys. DOI: 10.1118/1.4730411.
- (6) Schumer W, Tobler M, Watson S. Verification of brachytherapy dosimetry with radiochromic film. Med Dosim. 1999;24(3):197-203. doi: 10.1016/s0958-3947(99)00021-9.
- (7) Perez-Azorin, J. F., et al. (2014). "A method for radiochromic film dosimetry in brachytherapy". Med. Phys. DOI: 10.1118/1.4871040.
- (8) Aldelaijan, S., et al. (2011). "Radiochromic film dosimetry of HDR 192Ir". Med. Phys. DOI: 10.1118/1.3621444.
- (9) Granero, D., et al. (2011). "A dosimetric study of the GammaMed HDR source". Med. Phys. DOI: 10.1118/1.3624479.

- (10) Richter, C., et al. (2013). "Water-equivalent phantom materials for brachytherapy". Phys. Med. Biol. DOI: 10.1088/0031-9155/58/22/8163.
- (11) Epson America Inc. Epson Expression 13000XL: Graphic Arts Scanner [Internet]. Los Alamitos (CA): Epson America Inc.; 2024 [citado 2026 Ene 29]. Disponible en: <https://epson.com/For-Work/Scanners/Graphic-Arts/Epson-Expression-13000XL-Scanner/p/E11C130001>
- (12) Schoenfeld, A. A., et al. (2014). "The lateral response artifact in radiochromic film dosimetry". Med. Phys. DOI: 10.1118/1.4891171.
- (13) Micke, A., et al. (2011). "Multichannel film dosimetry with non-uniformity correction". Med. Phys. DOI: 10.1118/1.3576378.
- (14) Lewis, D. F., et al. (2012). "A mathematical model for Gafchromic film response". Med. Phys. DOI: 10.1118/1.4725171.
- (15) Bouchard, H., et al. (2009). "A generic model for radiochromic film response". Phys. Med. Biol. DOI: 10.1088/0031-9155/54/9/020.
- (16) Ignacio, L., et al. (2015). "Evaluation of ImageJ for radiochromic film analysis". J. Appl. Clin. Med. Phys. DOI: 10.1120/jacmp.v16i2.5218.
- (17) Low, D. A., et al. (1998). "A technique for the quantitative evaluation of dose distributions". Med. Phys. DOI: 10.1118/1.598420.
- (18) Hussein, M., et al. (2013). "A patient-specific QA for HDR brachytherapy". Radiother. Oncol. DOI: 10.1016/j.radonc.2013.06.014.
- (19) Ebel, A., et al. (2015). "Global vs. Local Gamma Evaluation in Brachytherapy". Brachytherapy. DOI: 10.1016/j.brachy.2015.02.164.
- (20) Palmer, A. L., et al. (2013). "Radiochromic film for independent HDR brachytherapy QA". Phys. Med. Biol. DOI: 10.1088/0031-9155/58/7/2159.
- (21) Mijnheer, B., et al. (2013). "Quality assurance in brachytherapy: AAPM/ESTRO reports". Radiother. Oncol. DOI: 10.1016/j.radonc.2013.06.002.
- (22) Biggs D, Jennings B, Swatman R, et al. PyMedPhys: A community effort to develop an open-source medical physics library. J Open Source Softw. 2022;7(72):3355. doi: 10.21105/joss.03355.
- (23) Low DA, Moran JM, Dempsey JF, Dong L, Mutic S. Dosimetry tools and techniques for IMRT. Med Phys. 2011;38(3):1313-38. doi: 10.1118/1.3514138.

Como citar el presente artículo:

Aguirre D. Verificación de dosimetría en braquiterapia con películas radiocrómicas. Investigación original. Indexia. Agosto 2026.