

Factores que influyen en la dosimetría por resonancia paramagnética electrónica en cortes de uñas

Dubner, D.L.; Spinella, M.R. and Bof, E.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DOSIMETRÍA POR RESONANCIA PARAMAGNÉTICA ELECTRÓNICA EN CORTES DE UÑAS

Dubner, D.L.^{1,♦}; Spinella, M.R.¹ and Bof, E.²

¹ Autoridad Regulatoria Nuclear, Argentina

² Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina

RESUMEN

La técnica de medición de radicales libres por Resonancia Paramagnética Electrónica (RPE) en esmalte dental es un método ya establecido de dosimetría de personas expuestas en emergencias radiológicas.

La dosimetría basada en análisis por RPE en uñas, actualmente en desarrollo, tiene la ventaja de la facilidad en la obtención de la muestra. Un factor limitante en la técnica es la superposición de la señal radio-inducida (SRI) con una señal mecánicamente inducida (SMI-I) debida a una deformación elástica durante la recolección de las muestras, unida a una señal (SMI-II) debida a una deformación plástica del material. Las mismas pueden reducirse con un tratamiento previo con agua. Las curvas de calibración para estimar dosis en una situación accidental deben tener características de universalidad, es decir representar la variabilidad que puede hallarse en distintos individuos. Por ello, los primeros estudios destinados a la obtención de dichas curvas se dedicaron al análisis de los factores que provocan tal variabilidad y afectan la exactitud de las mismas. Se estudiaron las amplitudes que presentan SMI-I y SMI-II antes y después del tratamiento con agua, así como la influencia del número de cortes de las uñas en dicha amplitud. Se efectuó una comparación de la reducción obtenida en los diferentes casos y de los comportamientos inter e intraindividual. Con dichos datos se determinó la situación óptima de medición en el sistema y se obtuvieron espectros de irradiación a diferentes dosis que permitieron construir curvas de calibración en distintas muestras. Se presenta el análisis de los resultados.

Palabras claves: Resonancia Paramagnética Electrónica (RPE), Dosimetría, Uñas.

ABSTRACT

The technique based on the detection of ionizing radiation –induced radicals by EPR in tooth enamel is an established method for the dosimetry of exposed persons in radiological emergencies.

Dosimetry based on EPR spectral analysis of fingernail clippings, currently under development, has the practical advantage of the easier sample collection.

A limiting factor is that overlapping the radiation induced signal (RIS), fingernails have shown the presence of two mechanically induced signals, called MIS1 and MIS2, due to elastic and plastic deformation respectively, at the time of fingernails cutting.

With a water treatment, MIS1 is eliminated while MIS2 is considerably reduced.

The calibration curves needed for radiation accident dosimetry should have “universal” characteristics, ie. Represent the variability that can be found in different individuals.

Early studies were directed to the analysis of factors affecting the development of such universal calibration curves.

The peak to peak amplitude of the signal before and after the water treatment as well as the effect of size and number of clippings were studied. Furthermore, the interpersonal and intrapersonal variability were analyzed.

Taking into account these previous studies, the optimal conditions for measurement were determined and EPR spectra of samples irradiated at different doses were used for the developing of dose-response curves.

This paper presents the analysis of the results.

Key Words: Electronic Paramagnetic Resonance (EPR), Dosimetry, Fingernails.

♦ Email: ddubner@arn.gob.ar

1. Introducción

La técnica de EPR para la medición de dosis absorbida fue reportado por Brady et ál. en 1968 (1) y subsecuentemente empleada para la reconstrucción dosimétrica en sobrevivientes de Hiroshima y Nagasaki, poblaciones de la antigua Unión Soviética, el accidente de Chernobyl y en víctimas de accidentes como los de Lilo, Turquía, Chile y otros.

Dada la perdurabilidad de la señal radioinducida en esmalte dental, obtenido de diente aislado, esta matriz se usó mayormente en estudios epidemiológicos y para la estimación retrospectiva de dosis (2, 3). En vista de las limitaciones para la obtención de muestras de diente aislado, se buscaron aplicaciones de EPR no invasivas o mínimamente invasivas y que provean estimaciones rápidas de dosis clínicamente significativas, estando en estudio actualmente medición de diente “in vivo” y la medición de fragmentos de uñas. Para la medición “in vivo” hacen falta espectrómetros especialmente diseñados, mientras que la medición en uñas puede realizarse con los mismos equipos comerciales usados para diversas prácticas de RPE como dosimetría de alanina, etc. (4, 5).

La estimación retrospectiva en esmalte dental ha sido ya reconocida como un método confiable para la estimación individual de dosis (6,7). En el caso de uñas, resultados preliminares y protocolos de trabajo en desarrollo indican que aunque la perdurabilidad de la señal es menor y el rango de dosis aplicable no es tan amplio, las mediciones en fragmentos de esta matriz presentan ventajas que validan su aplicación como dosímetro biofísico:

- a) Los límites de detección logrados hasta el momento (2Gy) son válidos para dosis clínicamente significativas.
- b) Proveen información de por lo menos 4 regiones del cuerpo.

Sin embargo, presenta al menos dos problemas para el desarrollo de una técnica dosimétrica operable:

- a) La presencia de dos señales que se solapan con la señal radioinducida (RIS) Estas señales mecánicamente inducidas, generadas en el corte para la obtención de la muestra, reciben el nombre de MIS1 y MIS2 y son debidas a una deformación elástica y una deformación plástica de las uñas, respectivamente.
- b) La radiosensibilidad y la dependencia de las RIS con la dosis se encontró que es variable con el tratamiento al que son sometidas y las condiciones de almacenamiento de las muestras.

Con respecto al primer inconveniente, estudios llevados a cabo por Romanyukha et ál. (8), Trompier et ál. (9) y Reyes et ál. (10), han demostrado que el tratamiento con agua elimina la MIS1 y reduce considerablemente la MIS2 aunque podría reducir la RIS entre 5-10%.

En cuanto a la variabilidad interpersonal y con las condiciones de tratamiento, se podrían construir curvas de calibración universal, siempre que se respeten protocolos muy estrictos que permitan controlar esas diferencias o, si eso no es posible, recurrir a la construcción de curvas de calibración individual por reirradiación de la muestra.

2. Materiales y Métodos

Las mediciones se llevaron a cabo en el equipo BRUKER EMX, con imán de 10” y fuente de alimentación de 2,7 kW de potencia, perteneciente al Laboratorio de Dosimetría de Altas Dosis de la CNEA.

Las muestras consisten en fragmentos de uñas de mano colectadas de diversos donantes de ambos sexos, las que fueron mantenidas a temperatura ambiente antes de la medición y hasta su procesamiento.

Las irradiaciones se realizaron con un irradiador Gamma Cell (Co-60) a una tasa de dosis de 0,4 Gy/min en un rango de dosis: 2-35Gy.

El procesamiento de las muestras consistió en cortarlas en fragmentos de 1-2 mm de ancho por 4-7 mm de largo (4 a 6 fragmentos por muestra), obtención del peso y medición en el espectrómetro, antes y/o después de su tratamiento con agua. Para el tratamiento con agua se las sumerge en agua destilada durante 10 min, se las deja secar al aire 5 min, se pesa y se repite el tratamiento una vez más. Estas muestras se miden inmediatamente o son mantenidas a -20°C hasta el momento de su medición.

3. Resultados

El primer objetivo consistió en la identificación de la señal radioinducida (Fig. 1) y la optimización de los parámetros de medición: Potencia de microonda: 1mW, Amplitud de modulación: 5G, modulación de alta frecuencia: 100 kHz; constante de tiempo: 81,92 ms, Tiempo de barrido: 41,93 s, N° de barridos: 10.

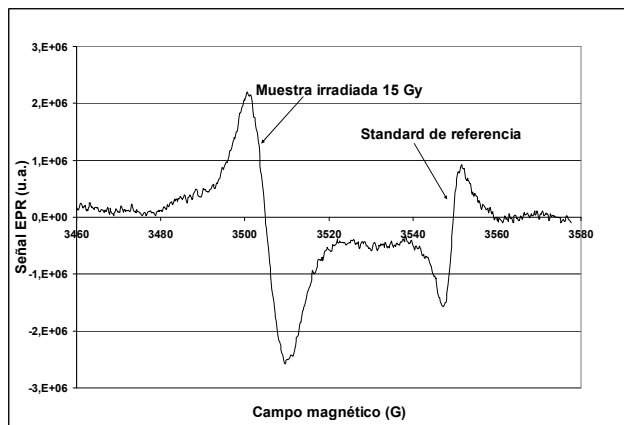


Figura 1. Identificación de la señal radioinducida

En la Fig. 2 se observa la señal MIS1 en la muestra sin irradiar en la misma posición del campo magnético (G) que la señal radioinducida observada en Fig. 1.

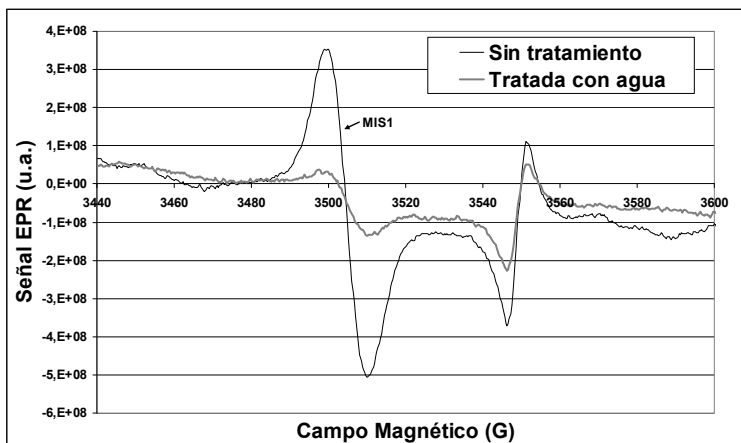


Figura 2. Variación de la señal sin irradiar antes y después del tratamiento con agua

Después del tratamiento de las muestras con agua, se observó una disminución marcada de la MIS1 en hasta un factor 10 (Fig. 2).

Con el fin de determinar el número de fragmentos a usar en cada medición, se efectuaron pruebas con distinto número de cortes para determinar la variación de las señales MIS2 con el número de piezas. Se probaron 2, 4, y 6 fragmentos. Se observó menor variabilidad en la amplitud de la señal, normalizada por peso, al medir con 4 y 6 fragmentos, siendo recomendable utilizar un número de fragmentos dentro de este rango (Fig. 3).

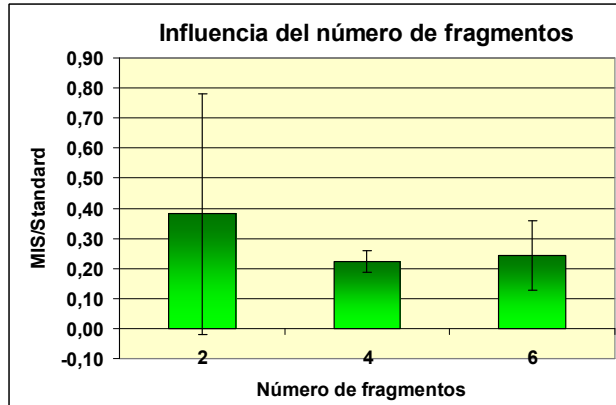


Figura 3. Amplitud de la señal MIS 2 respecto del standard, para distinto nº de fragmentos

Dado que para la construcción de una curva de calibración universal sería necesario conocer las variaciones interpersonales de esta señal de fondo, se analizó su comportamiento en un grupo de 10 personas (identificadas por letras) observándose un valor de MIS/Standard: $0,21 \pm 0,09$ (Fig. 4). Con respecto a la variabilidad intrapersonal presentamos como ejemplo los valores correspondientes a conjuntos de uñas obtenidos de las dos manos de una persona, MIS2/Standard: $0,27 \pm 0,06$ (Fig. 5).

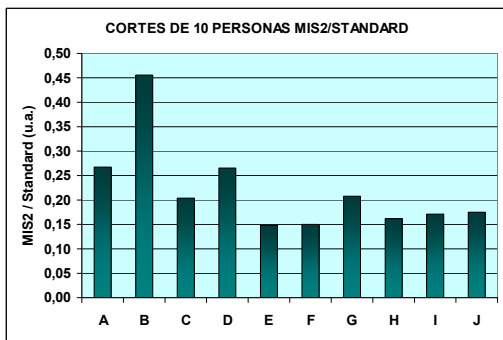


Figura 4. Variabilidad interpersonal: MIS2 / St

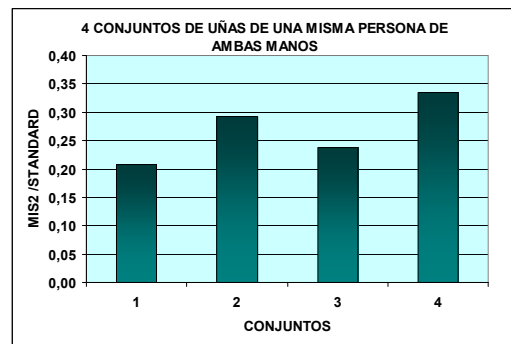


Figura 5. Variabilidad intrapersonal

Finalmente se analizó la respuesta a la irradiación con dosis aditivas sobre una misma muestra (Figs. 6-7). La Fig. 7 obtenida a partir de las amplitudes de la Fig. 6, muestra una línea de tendencia.

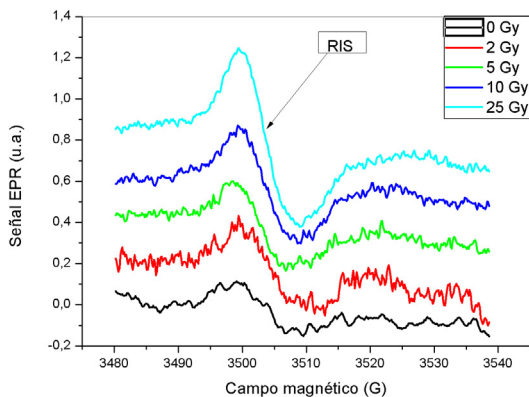


Figura 6. Espectros EPR de uñas tratadas con agua, reirradiadas hasta alcanzar 25 Gy

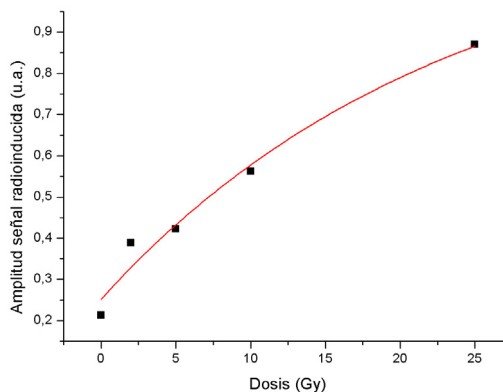


Figura 7. Dependencia con la dosis de la señal EPR en muestras tratadas con agua

4. Discusión

Las experiencias realizadas permitieron un mejor conocimiento del comportamiento de la matriz sin irradiar y su respuesta a la irradiación.

Como se planteó en la introducción, superar el problema presentado por las señales de fondo implica la aplicación de un procedimiento meticuloso en el cual todas las muestras deberían tener el mismo tamaño y número de cortes, y el mismo tratamiento con agua previo a la medición y aun así persisten diferencias intrínsecas. En este caso las variaciones introducidas por el estrés mecánico estarán minimizadas. Sería posible desarrollar una curva de calibración “universal”, que puede describirse con la siguiente fórmula

$$A = I_{\max} (1 - \exp(-(D + D_{E0})/D_0)) \quad (1)$$

donde A es la amplitud pico a pico de la RIS (respuesta en dosis EPR), I_{\max} es el valor máximo factible (nivel de saturación), D es la variable dosis, D_0 es la dosis característica de saturación, y D_{E0} es el valor de dosis residual (offset) existente en una muestra no irradiada.

Las mediciones de EPR en una muestra cuya dosis debe ser determinada, proveerán un valor de RIS más su fondo intrínseco. Luego basados en la curva de calibración usada, puede obtenerse una estimación D_E . La Dosis recibida puede determinarse a partir de ella como:

$$D_x = D_E - D_{E0} \quad (2)$$

Si la colección de un tipo de muestra representativa no es posible, una aproximación alternativa consiste en la reirradiación de la muestra con tres a cinco dosis como la presentada en la figura 7. En este caso la señal EPR (cantidad A en la ecuación anterior) debería ser medida después de cada irradiación. Un ajuste de los resultados obtenidos utilizando la ecuaciones (1) y (2) y una curva adicional de D_0 vs D_{E0} permitiría determinar D_x .

Si bien el comportamiento de la señal EPR en uñas es complejo, este estudio muestra la posibilidad de desarrollar curvas dosis-respuesta para ser usadas como una herramienta complementaria para la estimación de dosis en un escenario de emergencia radiológica.

Agradecimientos: Queremos reconocer la valiosa asistencia brindada durante el desarrollo de estos estudios de la Dra. Ana Gennaro de la Universidad Nacional del Litoral y de Julián Varela Taja de Comisión Nacional de Energía Atómica. Además agradecemos ampliamente la colaboración de todos los donantes de uñas.

REFERENCIAS

- [1] Brady, J.M. et ál., Health Phys 15,43-47,1968.
- [2] Simom, S. et ál., Radiat. Meas. 42(4-5), 948-971, 2007.
- [3] Kleinerman, R.A. et ál., Radiat. Res.166(1 Pt 2), 287-302, 2006.
- [4] Alexander, G.A. et ál., Radiat. Meas 42(4-5), 972-996, 2007.
- [5] Swartz, H.M., Radiat. Meas. 42(6-7), 1075-1108, 2007.
- [6] IAEA Tecdoc-1331, 2002.
- [7] ICRU Report 68, 2002.
- [8] Romanyukha, A. et ál., Radiat. Meas. 42(6-7), 1110-1113, 2007.
- [9] Trompier, F. et ál., Radiat. Meas. (6-7), 1085-1088, 2007.
- [10] Reyes, R.A., et ál., Radiat. Environ. Biophys.4, 515-26, 2008.



FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DOSIMETRÍA POR RESONANCIA PARAMAGNÉTICA ELECTRÓNICA EN CORTES DE UÑAS

D. Dubner¹, M.R. Spinella¹, E. Bof²

¹Autoridad Regulatoria Nuclear, Gcia. Apoyo Científico Técnico, Av. Libertador 8250 Ciudad Autónoma de Buenos Aires, CP 1429, Argentina

²Comisión Nacional de Energía Atómicas, Lab. Dosimetría de Altas Dosis, Av. Libertador 8250 Ciudad Autónoma de Buenos Aires, CP 1429, Argentina

1. Resumen

La técnica de medición de radicales libres por Resonancia Paramagnética Electrónica (RPE) en esmalte dental es un método ya establecido de dosimetría de personas expuestas en emergencias radiológicas.

La dosimetría basada en análisis por RPE en uñas, actualmente en desarrollo, tiene la ventaja de la facilidad en la obtención de la muestra. Un factor limitante en la técnica es la superposición de la señal radioinducida (RIS) con una señal mecánicamente inducida (MIS-1) debida a una deformación elástica durante la recolección de las muestras, unida a una señal (MIS-2) debida a una deformación plástica del material. Las mismas pueden reducirse con un tratamiento previo con agua. Las curvas de calibración para estimar dosis en una situación accidental deben tener características de universalidad, es decir representar la variabilidad que puede hallarse en distintos individuos. Por ello, los primeros estudios destinados a la obtención de dichas curvas se dedicaron al análisis de los factores que provocan tal variabilidad y afectan la exactitud de las mismas. Se estudiaron las amplitudes que presentan MIS-1 y MIS-2 antes y después del tratamiento con agua, así como la influencia del número de cortes de las uñas en dicha amplitud. Se efectuó una comparación de la reducción obtenida en los diferentes casos y de los comportamientos inter e intraindividual. Con dichos datos se determinó la situación óptima de medición en el sistema y se obtuvieron espectros de irradiación a diferentes dosis que permitieron construir curvas de calibración en distintas muestras. Se presenta el análisis de los resultados.

3. Resultados

El primer objetivo consistió en la identificación de la señal radioinducida (Fig.1) y la optimización de los parámetros de medición: Potencia de microonda: 1mW, Amplitud de modulación: 5G, modulación de alta frecuencia: 100kHz; constante de tiempo: 81.92ms, Tiempo de barrido: 41.93s, N° de barridos: 10.

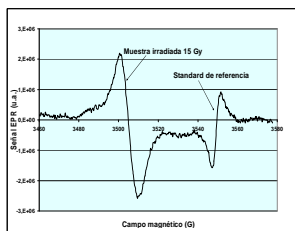


Figura 1. Identificación de la señal radioinducida.

Después del tratamiento de las muestras con agua, se observó una disminución marcada de la MIS-1 en hasta un factor 10 (Fig.2)

Con el fin de determinar el número de fragmentos a usar en cada medición, se efectuaron pruebas con distinto número de cortes para determinar la variación de las señales MIS-2 con el número de piezas. Se probaron 2, 4, y 6 fragmentos. Se observó menor variabilidad en la amplitud de la señal, normalizada por peso, al medir con 4 y 6 fragmentos, siendo recomendable utilizar un número de fragmentos dentro de este rango (Fig.3).

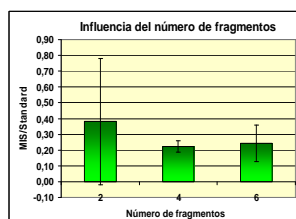


Figura 3. Amplitud de la señal MIS 2 respecto del standard, para distinto n° de fragmentos.

Finalmente se analizó la respuesta a la irradiación con dosis aditivas sobre una misma muestra (Fig. 6-7). La Fig.7 obtenida a partir de las amplitudes de la Fig.6, muestra una línea de tendencia.

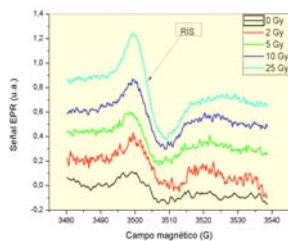


Figura 6. Espectros EPR de uñas tratadas con agua, reirradiadas hasta alcanzar 25 Gy.

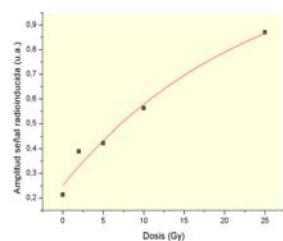


Figura 7. Dependencia con la dosis de la EPR en muestras tratadas con agua.

2. Materiales y Métodos

Las mediciones se llevaron a cabo en el equipo BRUKER EMX, con imán de 10" y fuente de alimentación de 2.7KW de potencia, perteneciente al Laboratorio de Dosimetría de Altas Dosis de la CNEA

Las muestras consisten en fragmentos de uñas de mano colectadas de diversos donantes de ambos sexos, las que fueron mantenidas a temperatura ambiente antes de la medición y hasta su procesamiento.

Las irradiaciones se realizaron con un irradiador Gamma Cell (Co-60) a una tasa de dosis de 0.4 Gy/min en un rango de dosis: 2-35Gy

El procesamiento de las muestras consistió en cortarlas en fragmentos de 1-2 mm de ancho por 4-7mm de largo (4 a 6 fragmentos por muestra), obtención del peso y medición en el espectrómetro, antes y/o después de su tratamiento con agua. Para el tratamiento con agua se las sumerge en agua destilada durante 10min, se las deja secar al aire 5min, se pesa y se repite el tratamiento una vez más. Estas muestras se miden inmediatamente o son mantenidas a -20°C hasta el momento de su medición.

En la Fig.2 se observa la señal MIS-1 en la muestra sin irradiar en la misma posición del campo magnético (G) que la señal radioinducida observada en Fig. 1.

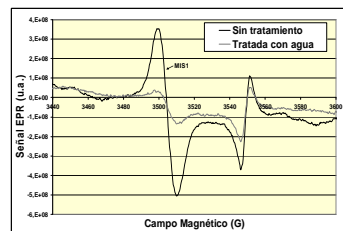


Figura 2. Variación de la señal sin irradiar antes y después del tratamiento con agua.

Dado que para la construcción de una curva de calibración universal sería necesario conocer las variaciones interpersonales de esta señal de fondo, se analizó su comportamiento en un grupo de 10 personas (identificadas por letras) observándose un valor de MIS/Standard: 0.21 ± 0.09 (Fig.4). Con respecto a la variabilidad intrapersonal presentamos como ejemplo los valores correspondientes a conjuntos de uñas obtenidos de las dos manos de una persona, MIS-2/Standard: 0.27 ± 0.06 (Fig. 5).

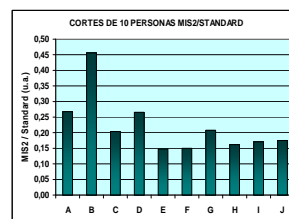


Figura 4. Variabilidad interpersonal: MIS2 / St.

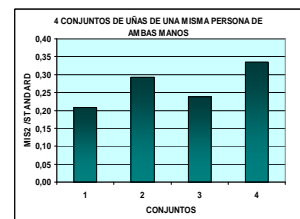


Figura 5. Variabilidad intrapersonal.

4. Discusión

Las experiencias realizadas permitieron ampliar el conocimiento de la matriz sin irradiar y su respuesta a la irradiación.

Superar el problema presentado por las señales de fondo implica la aplicación de un procedimiento metódico en el cual todas las muestras deberían tener el mismo tratamiento previo y aun así persistirían diferencias intrínsecas. Pero las variaciones introducidas por el estrés mecánico estarían minimizadas y sería posible desarrollar una curva de calibración "universal", que puede describirse con la siguiente fórmula

$$A = I_{Max} (1 - \exp(-(D + D_{E0}) / D_0))$$

donde A es la amplitud de la RIS, I_{Max} es el valor nivel de saturación, D es la variable dosis, D_0 es la dosis característica de saturación, y D_{E0} es el valor de dosis residual (offset) existente en una muestra no irradiada.

Las mediciones de EPR en una muestra cuya dosis debe determinarse, proveerán un valor de RIS más su fondo intrínseco. Luego basados en la curva de calibración puede obtenerse una estimación D_E y La Dosis recibida determinarse a partir de ella como: $D_i = D_E - D_{E0}$

Si bien el comportamiento de la señal EPR es complejo, este estudio muestra la posibilidad de desarrollar curvas dosis-respuesta para usarse como herramienta complementaria en la estimación de dosis en un escenario de emergencia radiológica.

Agradecimientos: Queremos reconocer la valiosa asistencia brindada durante el desarrollo de estos estudios de la Dra. Ana Gennaro de la Univ. Nacional del Litoral y de Julián Varela Taja de Comisión Nacional de Energía Atómica. Además agradecemos ampliamente la colaboración de todos los donantes de uñas.