CSN CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Subdirección de Protección Radiológica Ambiental

Intercomparación analítica entre laboratorios de radiactividad ambiental 2025 (Espectro gamma)

Revisión 1

Noviembre 2026

EVALUACIÓN DEL EJERCICIO DE INTERCOMPARACIÓN 2025 ENTRE LABORATORIOS DE MEDIDA DE RADIACTIVIDAD AMBIENTAL

(Espectro gamma)

Dr. José Antonio Suárez Navarro (CIEMAT)
Dña. Miriam Herbella Blázquez (CSN)
Dña. Adriana Ortiz Gómez (CSN)
D. José Antonio Trinidad Ruiz (CSN)
Dña. Sofía Luque Heredia (CSN)

Índice

1. INTRODUCCIÓN 6

2. GESTIÓN DE LOS ESPECTROS 6

3. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS 8

3.1. PREPARACIÓN DEL PATRÓN 8

3.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA PROBLEMA 8

4. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS 9

5. ESTADÍSTICA UTILIZADA PARA ESTUDIAR LOS RESULTADOS 10

6. EVALUACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE LOS RADIONUCLEIDOS GAMMA PRESENTES EN LA MUESTRA 12

6.1. ^{134}Cs 12

6.1.1. Fotopicos seleccionados por los laboratorios 16

6.1.2. Fotopico de 563,246 keV 17

6.1.3. Fotopico de 569,330 keV 18

6.1.4. Fotopico de 604,720 keV 19

6.1.5. Fotopico de 795,86 keV 20

6.1.6. Fotopico de 801,950 keV 21

6.1.7. Fotopico de 1167,94 keV 23

6.1.8. Fotopico de 1365,194 keV 23

6.2. ^{152}Eu 24

6.2.1. Fotopicos seleccionados por los laboratorios 28

6.2.2. Fotopico de 121,782 keV 29

6.2.3. Fotopico de 244,697 keV 30

6.2.4. Fotopico de 344,279 keV 32

6.2.5. Fotopico de 778,904 keV 33

6.2.6. Fotopico de 867,380 keV 34

6.2.7. Fotopico de 964,079 keV 35

6.2.8. Fotopico de 1085,837 keV 36

6.2.9. Fotopico de 1089,737 keV 38

6.2.10. Fotopico de 1112,948 keV 38

6.2.11. Fotopico de 1085,013 keV 40

7. CONCLUSIONES 41

8. ANEXO VI. LISTADO DE LABORATORIOS PARTICIPANTES 42

1. INTRODUCCIÓN

Este informe recoge los resultados del ejercicio voluntario sobre análisis de un espectro para la determinación de la concentración de actividad de diferentes radionucleidos presentes en una muestra acuosa. La muestra fue medida en uno de los detectores de la Unidad de Radiactividad Ambiental y Vigilancia Radiológica del CIEMAT. Por otra parte, en ese mismo detector se realizó la medida del patrón para las dos calibraciones necesarias para la determinación de la concentración de actividad de los radionucleidos presentes: (i) calibración de la energía en función del canal y (ii) calibración de la eficiencia en función de la energía.

Este documento describe y detalla la organización, ejecución y evaluación del ejercicio intercomparativo, exponiendo las conclusiones más relevantes.

2. GESTIÓN DE LOS ESPECTROS

Las instrucciones de este ejercicio intercomparativo voluntario se recogieron en las bases técnicas de la intercomparación. Las instrucciones fueron las que se detallan a continuación:

"Este ejercicio intercomparativo incluye un nuevo ensayo consistente en el análisis de un espectro gamma. Los participantes dispondrán de 3 ficheros: patrón (PAT-CSN.CNF), fondo (FONDO-CSN.CNF) y muestra (MED-CSN.CNF), tanto en formato CNF para Genie 2000 como en formato TKA. Los usuarios de Genie 2000 podrán enviar directamente el fichero "muestra" (MED-CSN.CNF) con el formato "Espectro_XX" siendo XX el número del laboratorio asignado por el organizador de la intercomparación. Los usuarios de otro tipo de software deberán rellenar las 2 pestañas de la hoja Excel "Espectro_XX". El fichero Excel contiene 2 hojas: Actividades y Picos. La hoja Actividades contiene 4 columnas en las que el participante deberá incorporar las actividades, incertidumbres y LID (en Bq) de los radionucleidos, como si se tratasen de un resultado final. La hoja Picos se rellenará con los datos para cada fotopico utilizado para determinar la actividad de la hoja Actividades. Por ejemplo, si existiera ^{60}Co, deberían aparecer los datos para el fotopico de 1173 keV y 1332 keV. Esto permitirá realizar un análisis de los datos aportados por el participante. Los participantes que tengan que rellenar la hoja Excel deberán completar todos los datos solicitados para poder realizar el posterior análisis estadístico de los mismos.

Las actividades necesarias para realizar la calibración en energía y en eficiencia se adjuntan en la primera pestaña del documento MS Excel "Espectro_XX.xlsx" que además contiene las dimensiones de la geometría utilizada. Las actividades tanto del patrón como de la muestra se expresan en Bq totales para facilitar el cálculo."

Por tanto, los laboratorios recibieron los siguientes ficheros:

1. **PAT-CSN**: este fichero contenía el espectro del patrón utilizado para realizar la calibración en energía (energía en función del canal) y calibración en eficiencia (eficiencia en función de la energía). El fichero fue enviado en dos formatos diferentes: (i) CNF o propio del software Genie 2000, y (ii) TKA que contiene una enumeración de las cuentas para cada canal.
2. **FONDO-CSN:** que contenía el fondo del equipo utilizado en este ejercicio intercomparativo. Al igual que ocurriera con el patrón, se suministraron los mismos formatos de ficheros: CNF y TKA.
3. **MED-CSN**: este fichero contenía la medida de la muestra y fue entregado en los mismos formatos que el patrón y el fondo, esto es CNF y TKA.

4. **Espectro_XX**: una hoja de Microsoft Excel que permitía cumplimentar la información necesaria para evaluar el ejercicio (Figura 1).

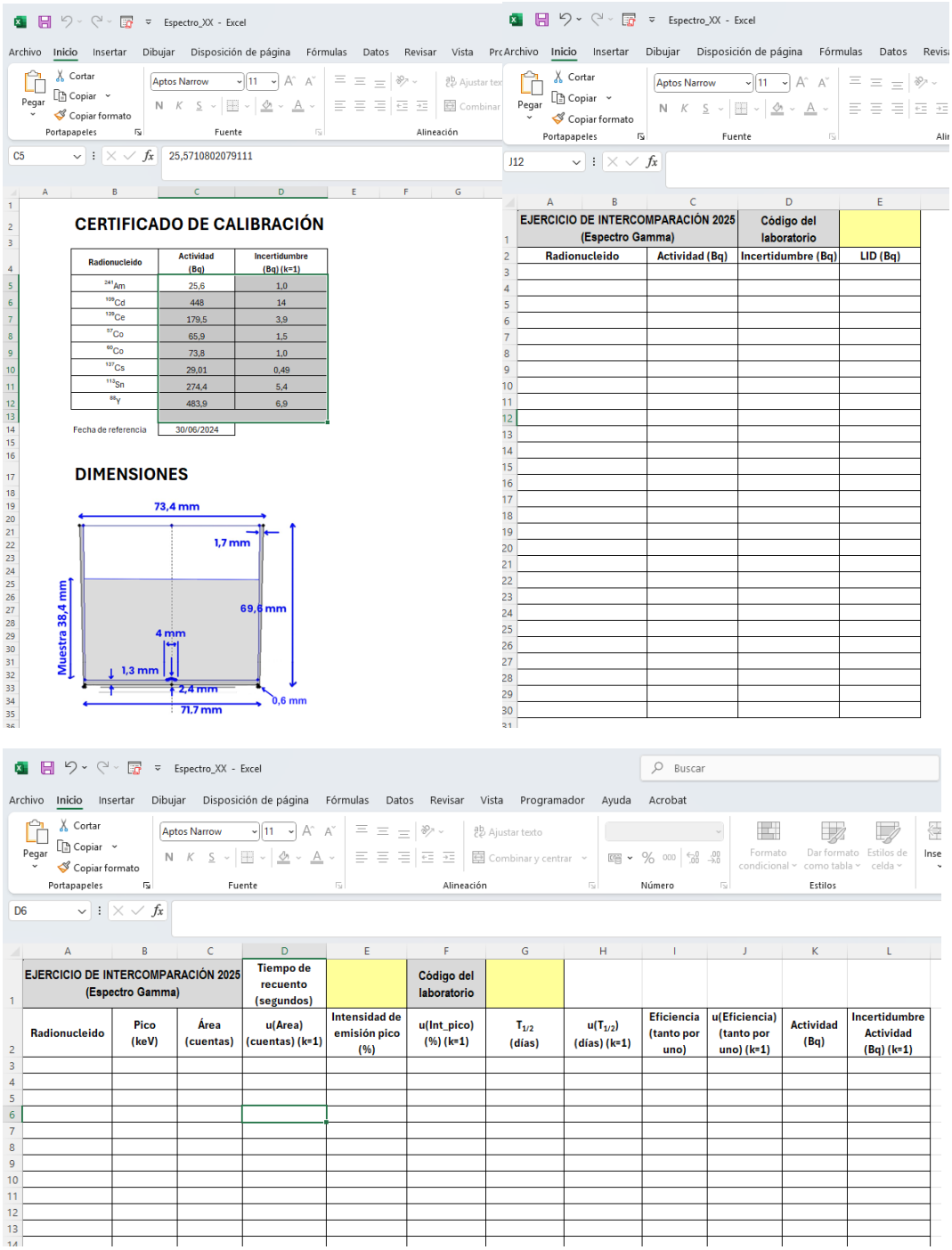

Figura 1. Fichero Microsoft Excel enviado a los diferentes laboratorios para cumplimentar la información necesaria para evaluar el ejercicio intercomparativo: a) datos del patrón utilizado, b) datos de los radionucleidos detectados en el análisis y c) información de las líneas espectrales utilizadas.

3. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

3.1. PREPARACIÓN DEL PATRÓN

La preparación de las muestras se realizó adicionando una cantidad conocida de un cóctel gamma suministrado por el Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes del CIEMAT a una disolución acuosa de HNO_3 1 M preparada con agua desionizada. La cantidad de patrón fue medida mediante gravimetría, utilizando un picnómetro. La Tabla 1 muestra los radionucleidos adicionados, su actividad y la incertidumbre asociada a la actividad para un factor de cobertura k=1. La fecha de referencia de las actividades fue el 30/06/2024.

Tabla 1. Actividad de los radionucleidos utilizados para la calibración del detector utilizado en este ejercicio intercomparativo.

Radionucleido	Actividad (Bq)	Incertidumbre (Bq) (k=1)
^{241}Am	25,6	1,0
^{109}Cd	448	14
^{139}Ce	179,5	3,9
^{57}Co	65,9	1,5
^{60}Co	73,8	1,0
^{137}Cs	29,01	0,49
^{113}Sn	274,4	5,4
^{88}Y	483,9	6,9

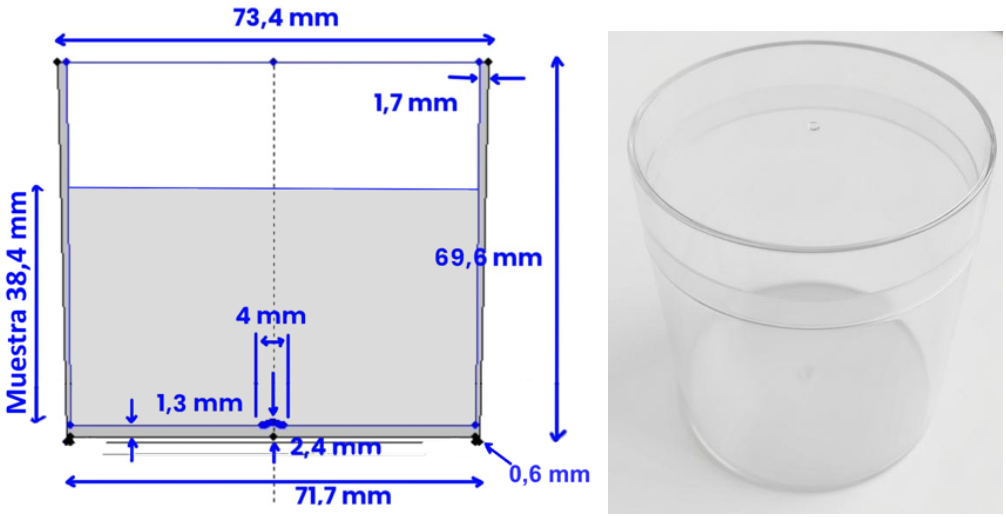

Figura 2. Dimensiones e imagen de la geometría utilizada en este ejercicio intercomparativo junto con una imagen real de la misma.

3.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA PROBLEMA

La preparación de la muestra problema se realizó mediante gravimetría de igual forma que en el caso del patrón. Las disoluciones utilizadas para la preparación de la muestra problema fueron dos disoluciones de actividad conocida de ^{134}Cs y ^{152}Eu suministradas

por el LMRI del CIEMAT. Las concentraciones de actividad de los dos radionucleidos problema fueron:

- **^{134}Cs**: 1,17 ± 0,34 Bq
- **^{152}Eu**: 2,166 ± 0,036 Bq

4. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

La evaluación del desempeño de los laboratorios se realizó a partir de la mediana de los resultados de los laboratorios. La actividad añadida no se utilizó para evaluar debido a que tanto el ^{152}Eu como el ^{134}Cs sufren suma de coincidencias verdaderas y realmente no afecta a la evaluación final del ejercicio. La puntuación de cada laboratorio se realizó mediante el parámetro z_{score} que viene dado por la expresión 1:

$$z_{score} = \frac{A_{lab} - ML}{\sigma_p \cdot ML} \quad (1)$$

donde,
A_{lab} es la actividad informada por cada participante, en Bq;
ML es la mediana, en Bq;
σ_p es la desviación estándar del ejercicio establecida como "adecuada al fin".

El valor de σ_p seleccionado para realizar la evaluación fue del 10%, que es el valor habitualmente utilizado en los ejercicios intercomparativos para los emisores gamma presentes en la muestra. La mediana (ML) se determinó mediante la expresión (2)

$$ML = \begin{cases} x_{\{\frac{p+1}{2}\}} & para\ p\ impar \\ \frac{x_{\{p/2\}} + x_{\{1+p/2\}}}{2} & para\ p\ par \end{cases} \quad (2)$$

donde,
x es el valor que ocupa la posición indicada y p el número de valores a considerar (resultados de actividad enviados por los laboratorios participantes), ordenados de menor a mayor. La incertidumbre de la mediana fue determinada a partir de la desviación absoluta de mediana (MADe) que se determina a partir de las expresiones 3 y 4:

$$d_i = |x_i - ML| \quad (3)$$

$$MADe = 1{,}483\ ML(d_i) \quad (4)$$

donde,
d_i es la diferencia absoluta entre la concentración de actividad i y la mediana;
x_i es la concentración de actividad de cada valor;
ML es la mediana de las concentraciones de actividad consideradas;
$ML(d_i)$ es la mediana de las diferencias absolutas.

La evaluación del ejercicio se realizó mediante los criterios que figuran en la Tabla 2.

***Tabla 2**. Criterios de evaluación del ejercicio intercomparativo.*

CRITERIO	EVALUACIÓN
$-2 \leq z \leq 2$ $P \leq 2 \cdot \sigma_p$	SATISFACTORIA (S)
$-2 \leq z \leq 2$ $P > 2 \cdot \sigma_p$	DUDOSA (D)
z < -2 o z >2	NO SATISFACTORIA (N/S)

5. ESTADÍSTICA UTILIZADA PARA ESTUDIAR LOS RESULTADOS

El análisis de los resultados de los diferentes laboratorios se ha realizado utilizando la estadística descriptiva de MS Excel y programas realizados en Python en el entorno de Google Colab. Se han determinado los parámetros numéricos de cada distribución: media aritmética, error típico de la media, mediana, diferencia porcentual entre la media y la mediana, rango, coeficiente de variación en tanto por ciento, sesgo estandarizado, curtosis y tipo de distribución. Los gráficos que se han utilizado fueron de cinco tipos:

i) gráfico de caja y bigotes;
ii) histograma con la función de probabilidad para la distribución (FPD);
iii) gráfico de residuos para los intervalos 1 y 2 sigma;
iv) gráfico QQ-Plot;
v) dendrograma.

La Figura 3 muestra las 3 posibles formas de la distribución de los resultados: asimétrica negativa, simétrica y asimétrica positiva.

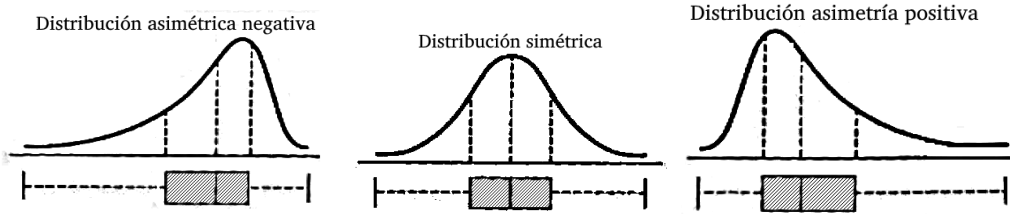

***Figura 3**. Tipos de distribución: asimétrica negativa, simétrica y asimétrica positiva.*

En el caso de la forma de la distribución se consideran 3 posibles casos: mesocúrtica, leptocúrtica y platicúrtica (Figura 4).

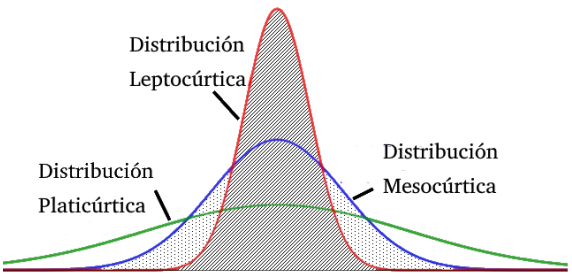

***Figura 4**. Tipos de distribución según la curtosis: mesocúrtica, leptocúrtica y platicúrtica.*

Los parámetros que permiten cuantificar la asimetría y la forma de la distribución son el sesgo estandarizado y la curtosis, respectivamente. El sesgo estandarizado es una medida de la asimetría de una distribución, y cuyo valor puede ser positivo o negativo:

- Una asimetría negativa indica que la cola está en el lado izquierdo de la distribución, que se extiende hacia valores más negativos.
- Un sesgo positivo indica que la cola se encuentra en el lado derecho de la distribución, que se extiende hacia valores más positivos.
- Un valor de cero indica que no hay asimetría en la distribución, lo que significa que la distribución es perfectamente simétrica.

La **curtosis** es una medida de si una distribución tiene o no colas pesadas o ligeras en relación con una distribución normal.

- La curtosis de una distribución normal es 0.
- Si una determinada distribución tiene una curtosis inferior a 0, se dice que es platicúrtica, lo que significa que tiende a producir menos valores atípicos y menos valores anómalos que la distribución normal.
- Si una determinada distribución tiene una curtosis superior a 0, se dice que es leptocúrtica, lo que significa que tiende a producir más valores atípicos que la distribución normal.

Los resultados atípicos se definen como aquellos valores que se encuentran fuera del rango $Q_1 - 1{,}5 \times RIQ$ y $Q_3 + 1{,}5 \times RIQ$, pero dentro del rango $Q_1 - 3 \times RIQ$ y $Q_3 + 3 \times RIQ$, representándose como un círculo de color naranja en el gráfico de caja y bigotes. Por otra parte, los resultados anómalos (extremos) son aquellos valores fuera del rango $Q_1 - 3 \times RIQ$ y $Q_3 + 3 \times RIQ$, representados en color rojo en los gráficos de caja y bigotes.

6. EVALUACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE LOS RADIONUCLEIDOS GAMMA PRESENTES EN LA MUESTRA

6.1. ^{134}Cs

La evaluación del desempeño obtenida por los 20 laboratorios participantes se detalla en la Tabla 3.

***Tabla 3**. Evaluación del desempeño para la actividad del ^{134}Cs.*

Radionucleido:		^{134}Cs		
Actividad añadida:		1,17	0,34	Bq
Mediana	1,082	**MADe(%)**	10,55	

Laboratorio	Actividad (Bq)	Incertidumbre (k=2) (Bq)	LID (Bq)	z-Score
6	1,05	0,22	0,08	-0,30
10	1,29	0,08	0,09	1,92
11	1,17	0,05	0,07	0,81
12	2,36	0,08	0,31	11,82
16	0,99	0,10	0,10	-0,85
17	1,06	0,04	0,00	-0,17
19	0,98	0,03	0,00	-0,96
22	1,25	0,08	0,07	1,57
24	1,23	0,04	0,13	1,36
26	1,10	0,09	0,24	0,17
27	1,55	0,05	0,11	4,29
28	0,96	0,10	0,12	-1,13
29	1,14	0,14	0,05	0,54
32	1,05	0,07	0,04	-0,30
33	1,13	0,04	0,09	0,43
35	1,02	0,08	0,10	-0,57
38	1,03	0,03	0,11	-0,52
39	1,03	0,03	0,07	-0,45
40	0,95	0,08	0,13	-1,22
41	1,15	0,05	0,07	0,61

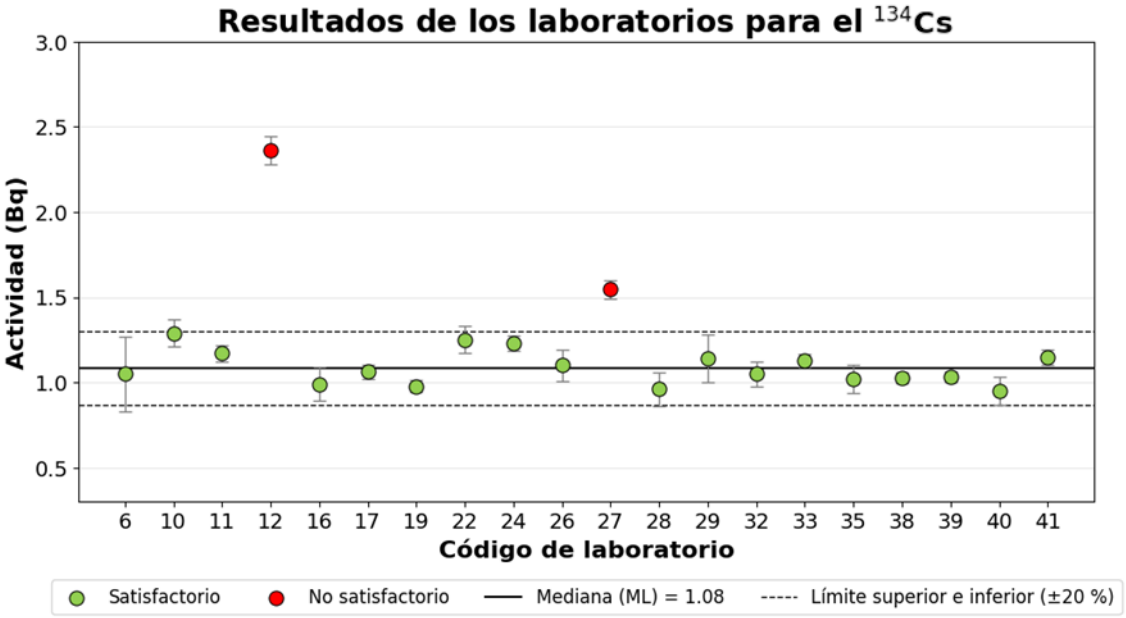

Figura 5. *Resultados obtenidos por los laboratorios para el ^{134}Cs.*

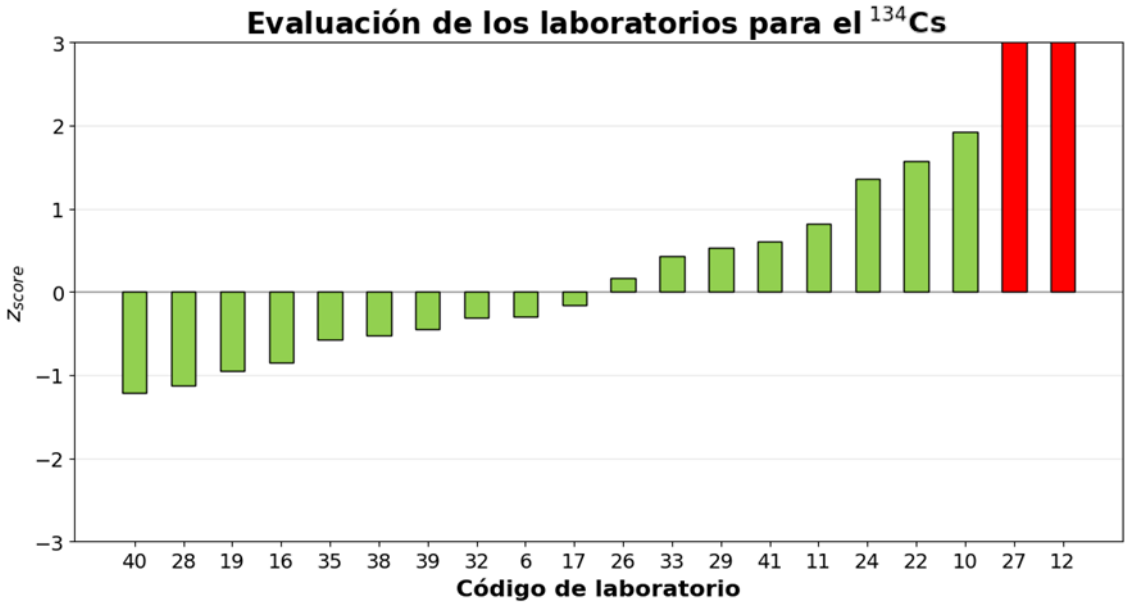

Figura 6. *Evaluación de los laboratorios para el ^{134}Cs.*

La

Figura 5 muestra los resultados obtenidos por los diferentes laboratorios en la determinación de la actividad del ^{134}Cs. Por otra parte, la Figura 6 muestra la evaluación obtenida por los laboratorios para el ^{134}Cs. El porcentaje de laboratorios con una evaluación satisfactoria fue 90%, siendo el restante 10% para evaluaciones no satisfactorias. La Tabla 4 muestra cómo existió una elevada diferencia entre la media y la mediana de la distribución al existir un sesgo positivo acusado (sesgo estandarizado de 2,96). Asimismo, la distribución obtuvo un valor de curtosis de 8,68 indicando un tipo de distribución leptocúrtica.

***Tabla 4**. Parámetros estadísticos de la distribución de los resultados de la actividad del ^{134}Cs.*

Parámetro	Valor (Bq kg^{-1})
1. Número de laboratorios	20
2. Media aritmética (Bq kg^{-1}) (k=1)	1,17 ± 0,07
3. Mediana (Bq kg^{-1})	1,08
4. Diferencia Media-Mediana (%)	8,52 %
5. Rango (Bq kg^{-1})	[0,9-2,4]
6. Coeficiente de variación	26,61 %
7. Sesgo estandarizado	2,96
8. Curtosis	8,68
9. Tipo de distribución	Leptocúrtica

La forma de la distribución y el sesgo se reflejaron tanto en el gráfico de caja y bigotes (Figura 7) como el histograma con la función de densidad de probabilidad (Figura 8). La gráfica de caja y bigotes mostró cómo los resultados de los laboratorios 12, 28 y 40 eran anómalos. El resto de laboratorios mostraron una elevada precisión que se confirma tanto con el valor de la curtosis como de la forma de la caja y los bigotes.

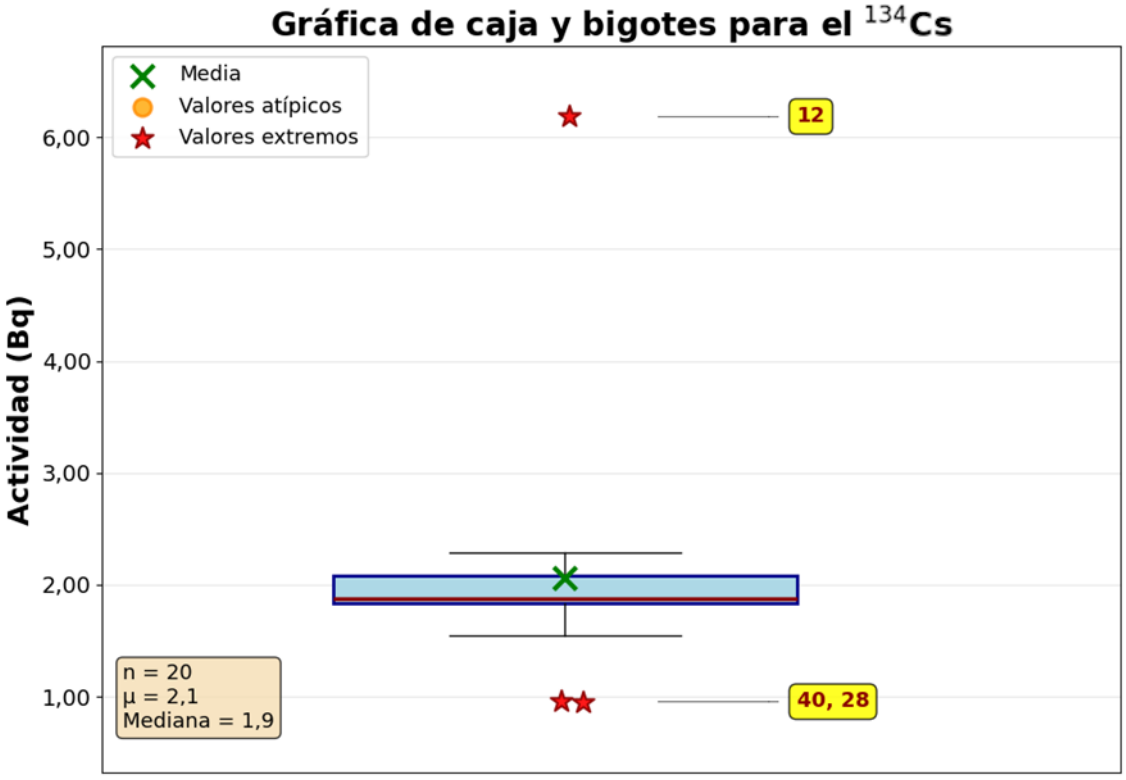

***Figura 7**. Gráfica de caja y bigotes para los resultados de actividad del ^{134}Cs.*

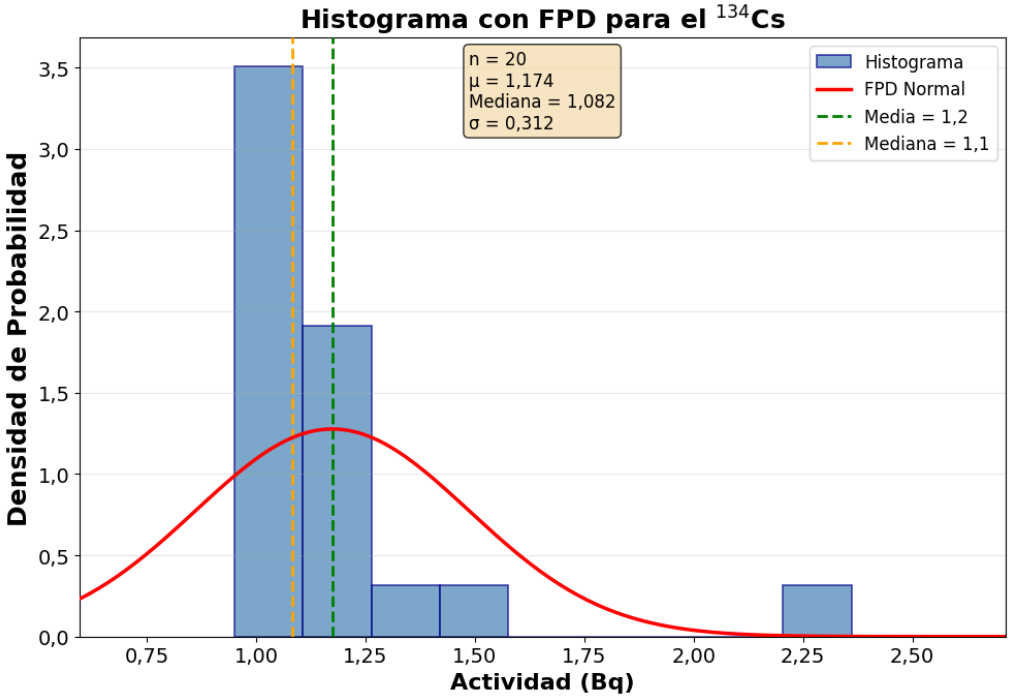

Figura 8. *Histograma con la función FPD para los resultados de la actividad del ^{134}Cs.*

La Figura 9 muestra el gráfico QQ-Plot en el que se observa que la distribución de los resultados de ^{134}Cs no siguió una distribución normal.

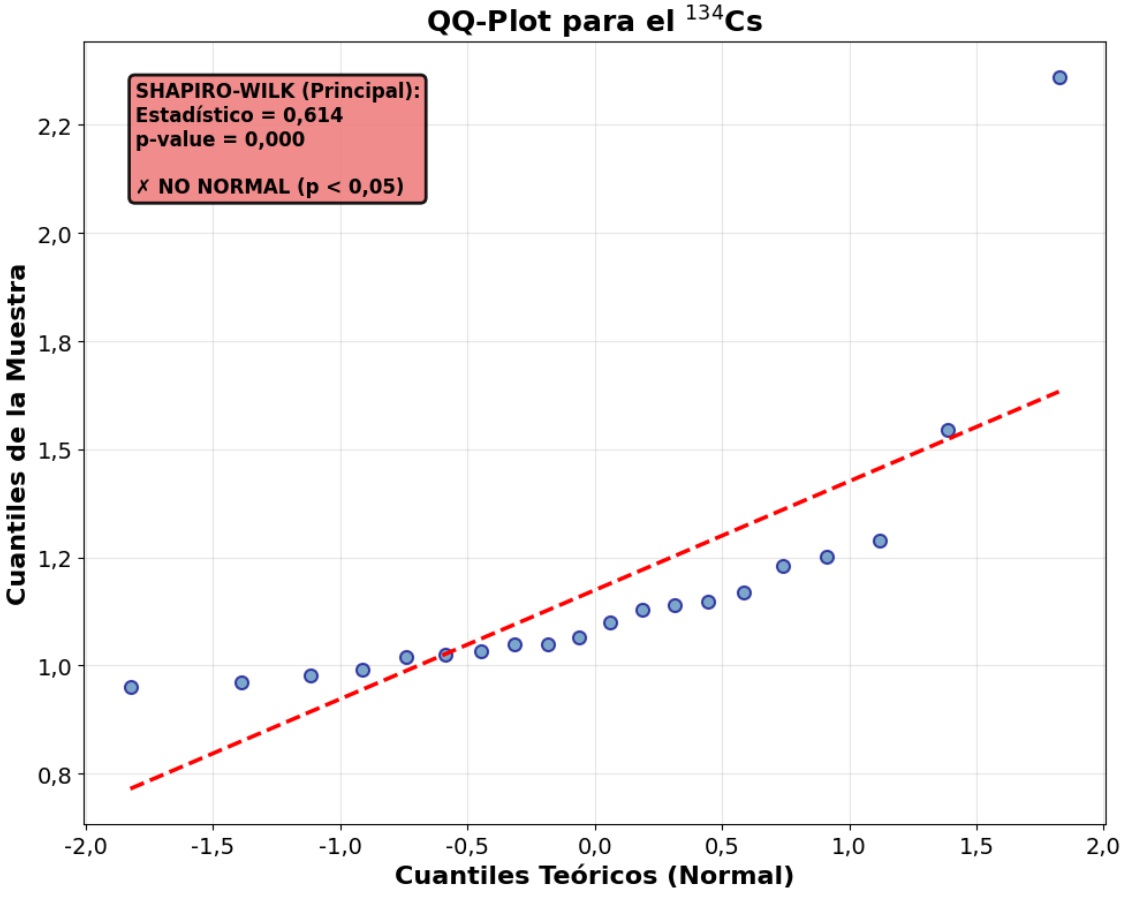

Figura 9*. Gráfico QQ-Plot para los resultados del ^{134}Cs.*

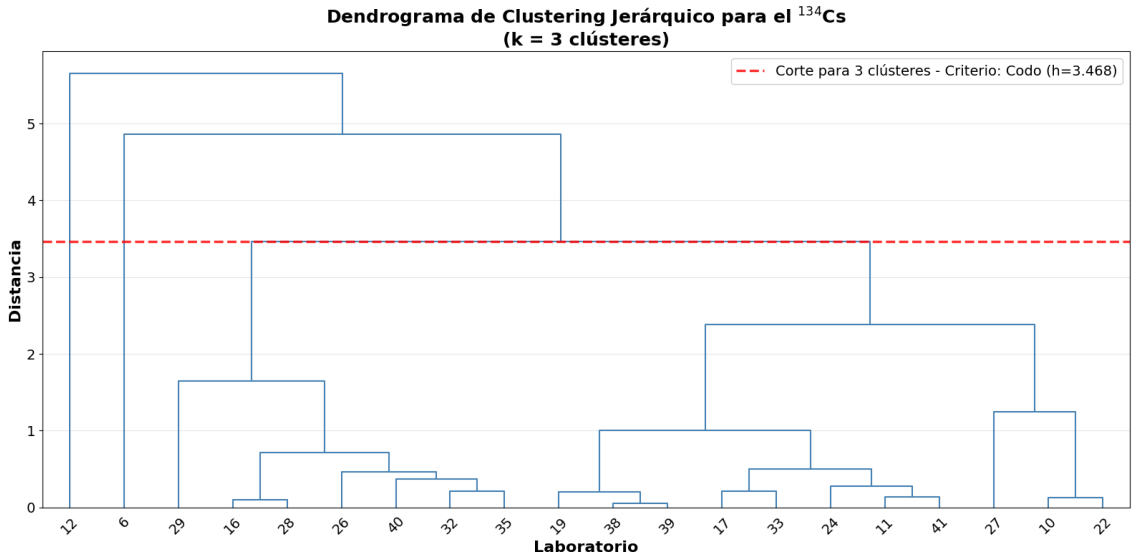

***Figura 10**. Dendrograma de Clustering jerárquico para los resultados de la actividad de ^{134}Cs.*

Por tanto, los resultados muestran una elevada precisión para los resultados que estuvieron dentro de la distribución. Los laboratorios que quedaron fueron del rango intercuartílico: 12, 28 y 40.

6.1.1. Fotopicos seleccionados por los laboratorios

Los fotopicos utilizados por los laboratorios para analizar la concentración de actividad del ^{134}Cs fueron los siguientes (las energías son las tomadas de la web https://www.lnhb.fr/home/nuclear-data/nuclear-data-table/) (Tabla 5).

***Tabla 5**. Energías y probabilidades de emisión (%) para los principales fotopicos del ^{134}Cs*

Energía (keV)	Probabilidad de emisión (%) (k=1)
563,246	8,342 (15)
569,330	15,368 (21)
604,720	97,63 (8)
795,86	85,47 (9)
801,950	8,694 (16)
1167,94	1,791 (5)
1365,194	3,019 (8)

La Figura 11 muestra las energías seleccionadas por los diferentes laboratorios que participaron en la determinación de la actividad del ^{134}Cs, para cada energía se contabiliza el número de laboratorios que la utilizaron. Las tres energías más utilizadas por los laboratorios fueron: 569,33 keV (12 laboratorios), 604,72 keV (17 laboratorios) y 795,86 keV (15 laboratorios). Hay que tener en cuenta que algunos laboratorios no suministraron esta información, por lo que no se pudieron completar los datos para los 20 laboratorios participantes.

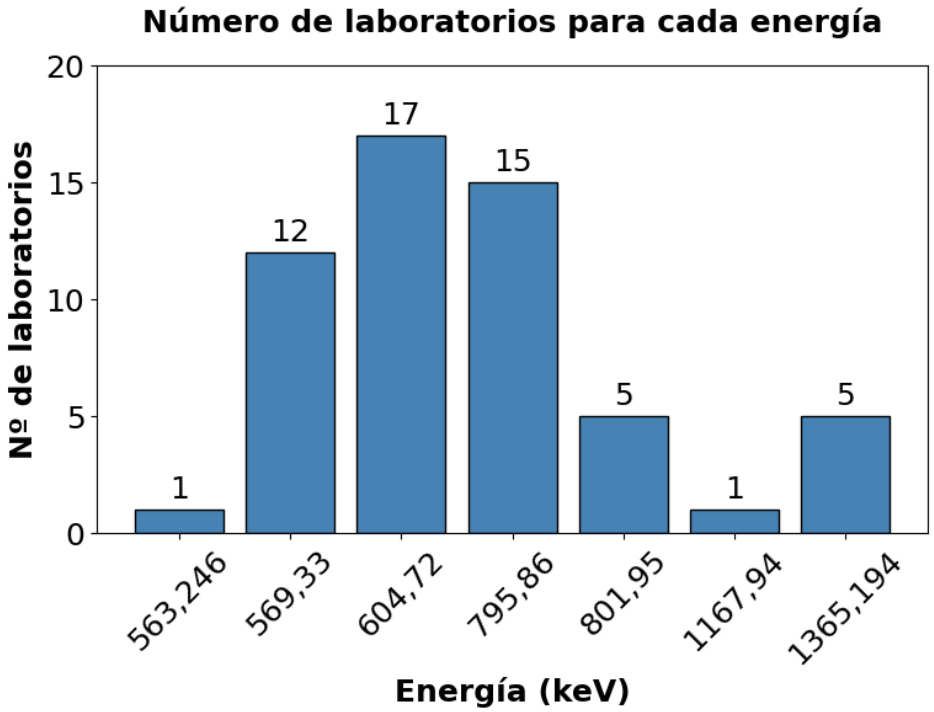

***Figura 11**. Energías seleccionadas por los diferentes laboratorios participantes en la determinación de la actividad del ^{134}Cs.*

6.1.2. Fotopico de 563,246 keV

La Figura 12 muestra el área en cuentas, la probabilidad de emisión (%), la eficiencia en tanto por uno y la actividad del fotopico para la energía de 563,246 keV del ^{134}Cs. Esta energía fue utilizada únicamente por el laboratorio 32. La probabilidad de emisión (%) fue la mostrada en la web https://www.lnhb.fr/home/nuclear-data/nuclear-data-table/. La actividad fue inferior a la mediana de 1,082 Bq.

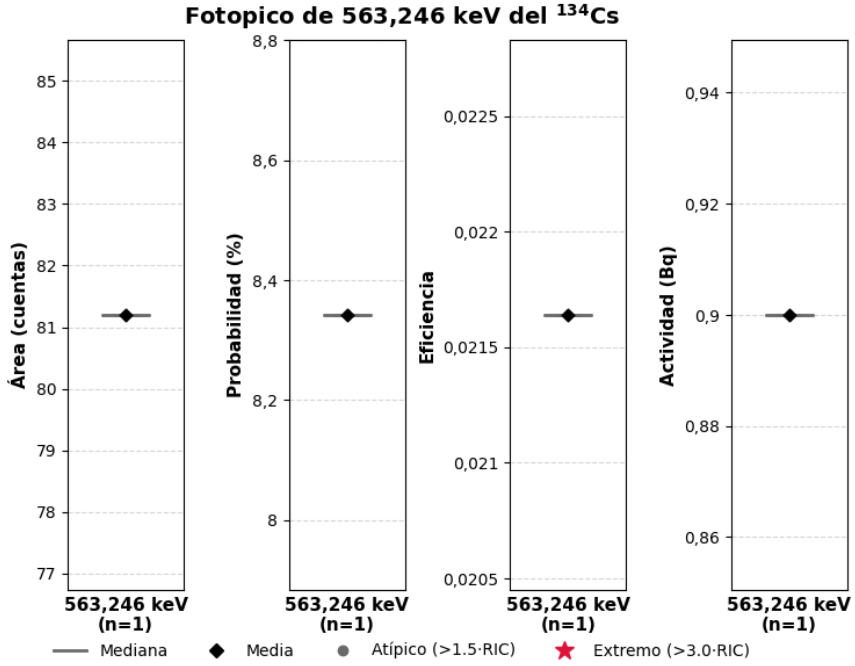

***Figura 12**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 563,246 keV del ^{134}Cs.*

6.1.3. Fotopico de 569,330 keV

La Figura 13 muestra el área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 569,330 keV del ^{134}Cs. La Figura 14 muestra los mismos datos pero sin considerar ni los valores atípicos ni los anómalos.

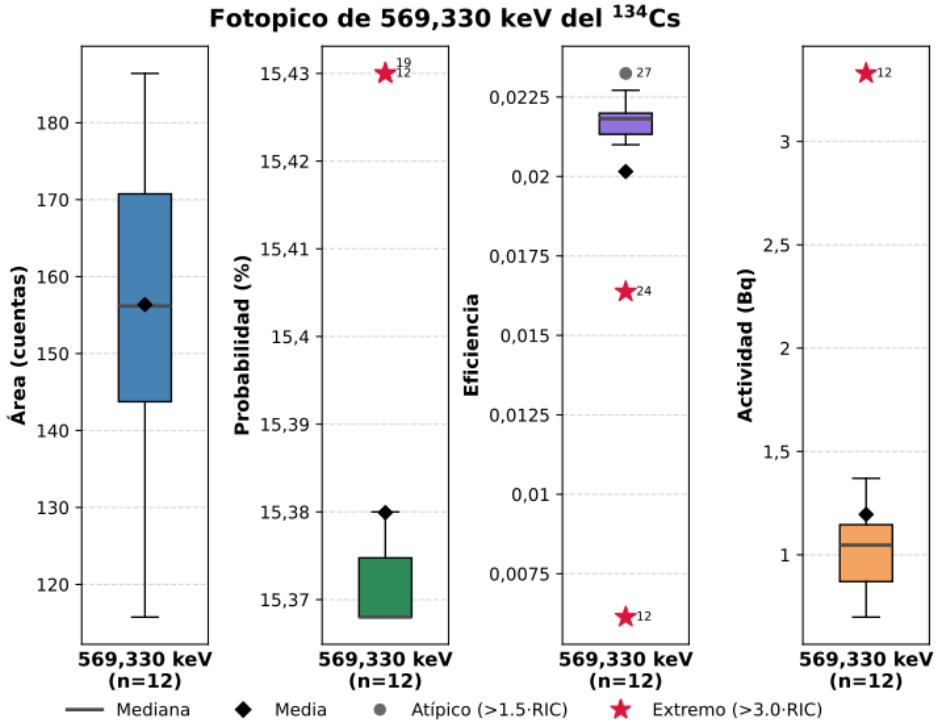

***Figura 13**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 569,330 keV del ^{134}Cs.*

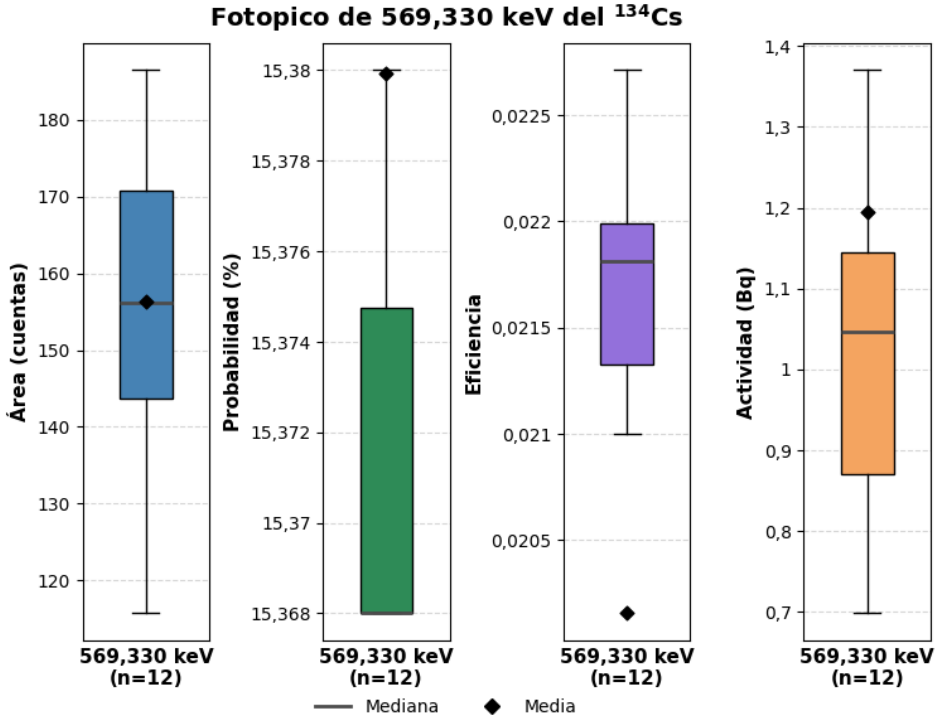

***Figura 14**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 569,330 keV del ^{134}Cs sin valores atípicos ni anómalos.*

La Figura 13 y Figura 14 muestran que las áreas obtenidas por los 12 laboratorios para el fotopico de 569,330 keV tuvieron una elevada dispersión. La probabilidad de emisión tuvo dos valores muy separados del resto correspondientes a los laboratorios 12 y 19. Sin embargo, la diferencia respecto de la mediana fue muy pequeña, lo que no pone en riesgo los análisis obtenidos por estos laboratorios. Por otra parte, las eficiencias obtenidas por los laboratorios 12 y 24 estuvieron muy alejadas del resto de laboratorios. Por esta razón, el laboratorio 12 obtuvo una actividad mucho mayor que el resto de laboratorios. Estos resultados hicieron que la media de las eficiencias fuera más baja que la mediana y la media de las actividades más alta que la mediana.

6.1.4. Fotopico de 604,720 keV

La Figura 15 muestra el área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 604,720 keV del ^{134}Cs. La Figura 16 muestra los mismos datos pero sin considerar ni los valores atípicos ni los anómalos.

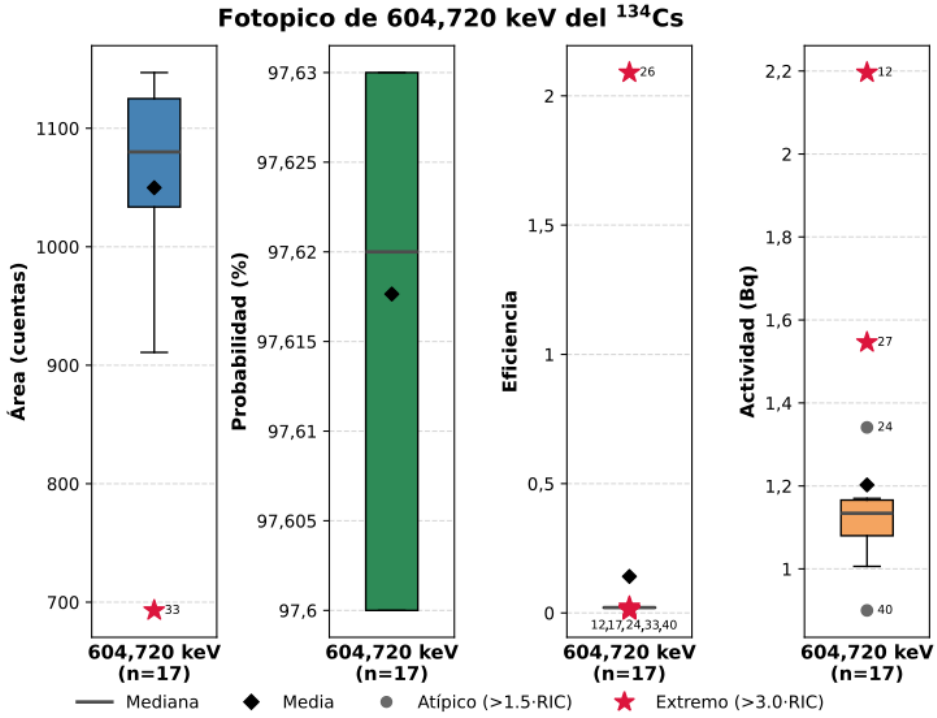

***Figura 15**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 604,720 keV del ^{134}Cs.*

Los resultados mostraron nuevamente una considerable variabilidad de las cuentas en el área del fotopico. La media (1050 cuentas) se situó por debajo de la mediana (1080 cuentas) por el resultado anómalo del laboratorio 33. La probabilidad de emisión fue equivalente para todos los laboratorios e igual a la de las tablas del LNHB de 97,63 (8)%. La eficiencia de nuevo tuvo varios valores anómalos con un sesgo positivo del resultado 26 y sesgo negativo para los laboratorios 12, 17, 24, 33 y 40. La actividad media fue de 1,202 Bq y la mediana 1,134 Bq. La mediana fue equivalente a la que se obtuvo para la actividad del ^{134}Cs (1,082 ± 10,55%).

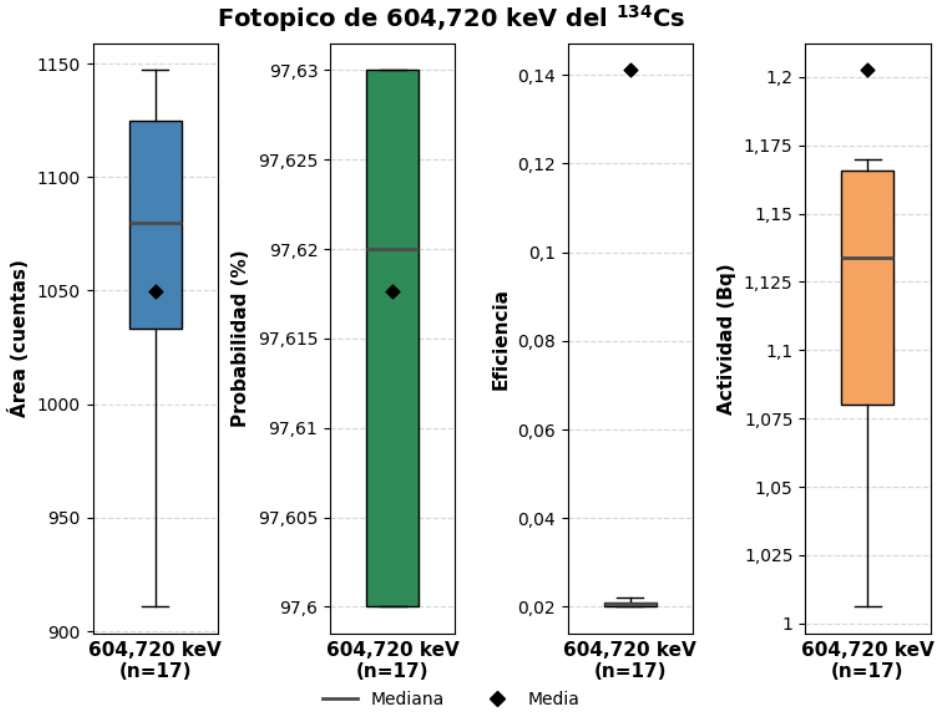

***Figura 16**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 604,720 keV del ^{134}Cs sin valores atípicos ni anómalos.*

6.1.5. Fotopico de 795,86 keV

La Figura 17 muestra el área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 795,86 keV del ^{134}Cs. La Figura 18 muestra los mismos datos, pero sin considerar ni los valores atípicos ni los anómalos.

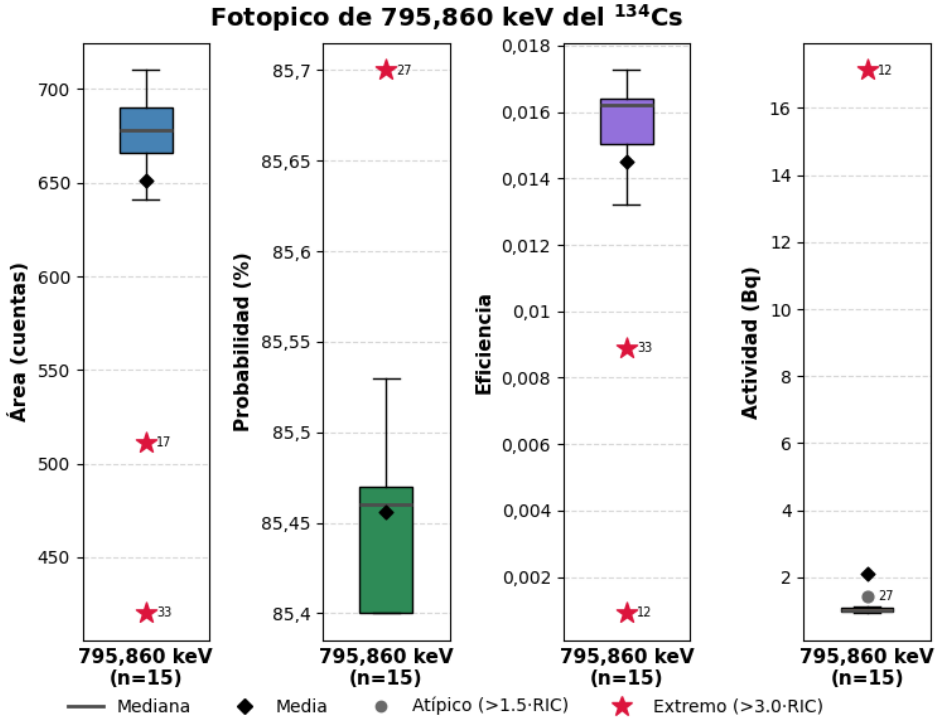

***Figura 17**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 795,86 keV del ^{134}Cs.*

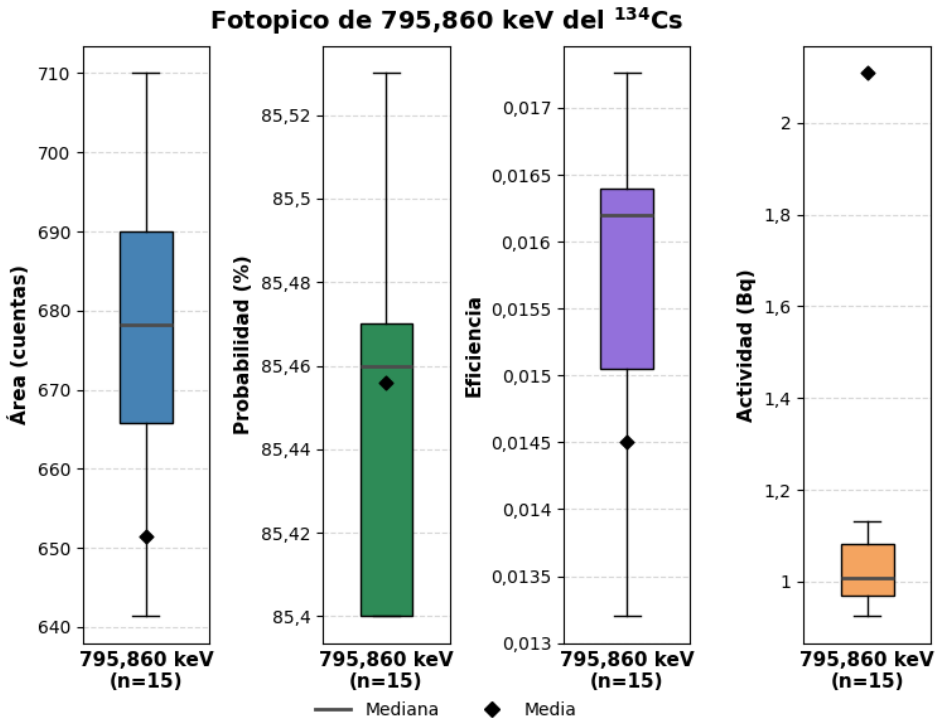

***Figura 18**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 795,86 keV del ^{134}Cs sin valores atípicos ni anómalos.*

Los resultados de los laboratorios mostraron de nuevo una elevada dispersión en la determinación del área del fotopico de 795,86 keV. El valor de la probabilidad de emisión elegida es igual que la del valor del LNHB de 85,47 (9)%. Sin embargo, las eficiencias de los laboratorios 12 y 33 fueron más bajas respecto a los restantes laboratorios. Esto hizo que la actividad obtenida por el laboratorio 12 fuera muy elevada. La media de las actividades de los laboratorios fue 2,108 Bq y la mediana 1,008 Bq que fue menor que la actividad final para el ^{134}Cs que fue 1,082 ± 10,55%.

6.1.6. Fotopico de 801,950 keV

La Figura 19 muestra el área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 801,950 keV del ^{134}Cs. La Figura 20 muestra los mismos datos, pero sin considerar ni los valores atípicos ni los anómalos. El fotopico de 801,950 keV fue utilizado únicamente por 5 laboratorios. La probabilidad de emisión del fotopico según el LNHB es 8,694 (16)%. Las áreas tuvieron un valor medio de 72,35 cuentas y una mediana de 77,6. Los resultados de los laboratorios 17 y 27 fueron anómalo y atípico. Estas discrepancias también se reprodujeron para la eficiencia y la actividad de este fotopico cuya mediana fue 1,133 que era muy similar a la actividad final del ejercicio 1,082 ± 10,55% Bq.

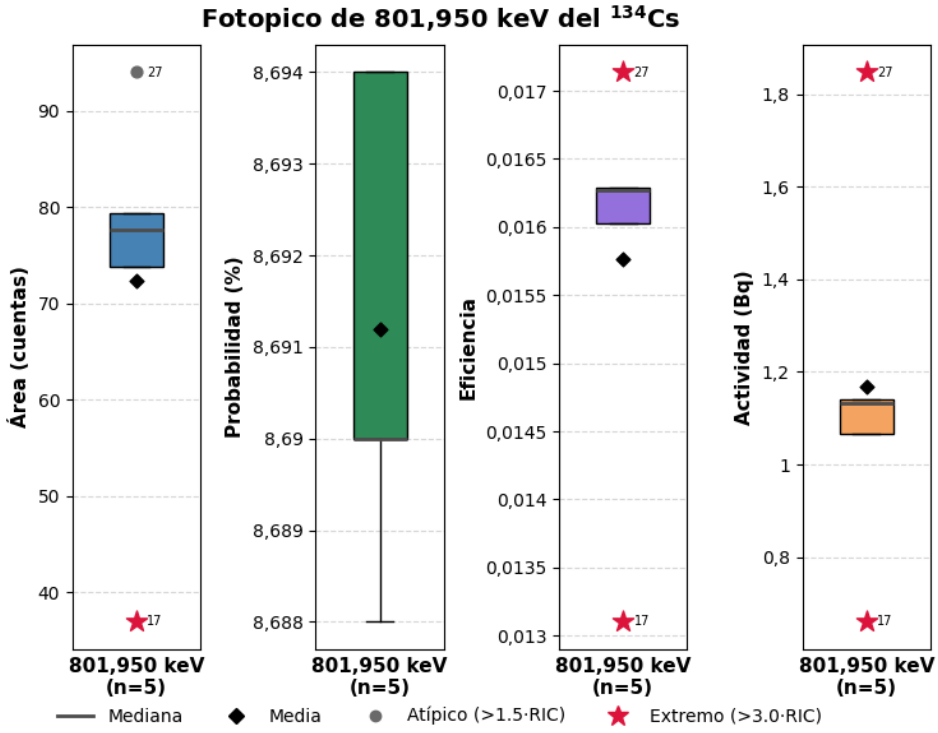

***Figura 19**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 801,950 keV del ^{134}Cs.*

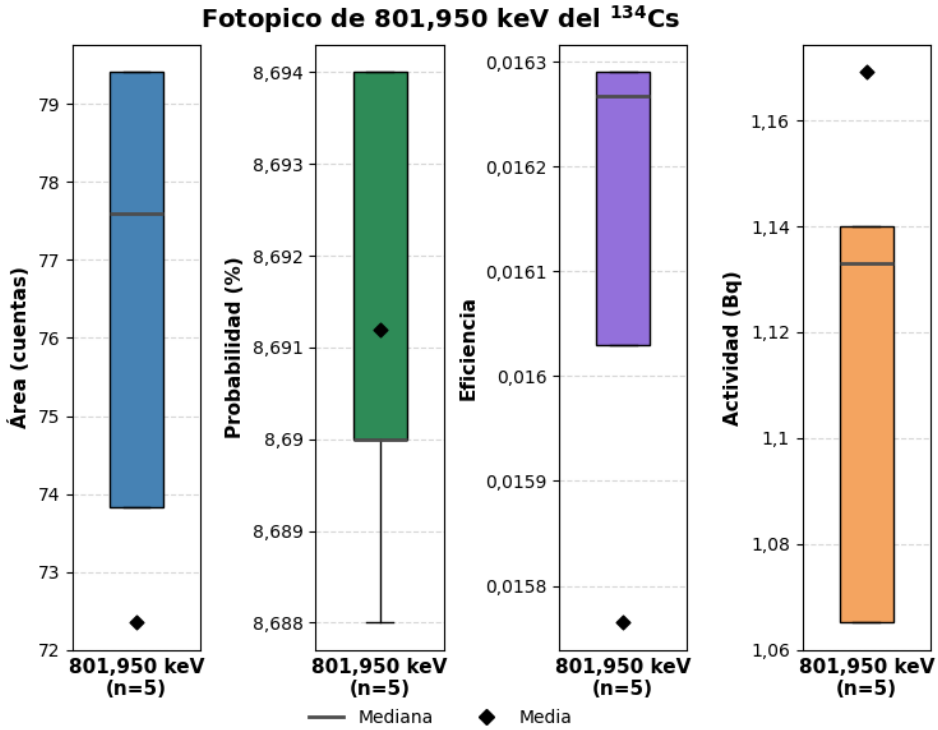

***Figura 20**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 801,950 keV del ^{134}Cs sin valores atípicos ni anómalos.*

6.1.7. Fotopico de 1167,94 keV

La Figura 21 muestra el área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 1167,94 keV del ^{134}Cs. La Tabla 6 muestra los mismos datos, pero sin considerar ni los valores atípicos ni los anómalos. El fotopico de 1167,94 keV solo fue utilizado por el laboratorio 12 que obtuvo un valor de 2,016 ± 21,26 Bq, con una incertidumbre muy elevada.

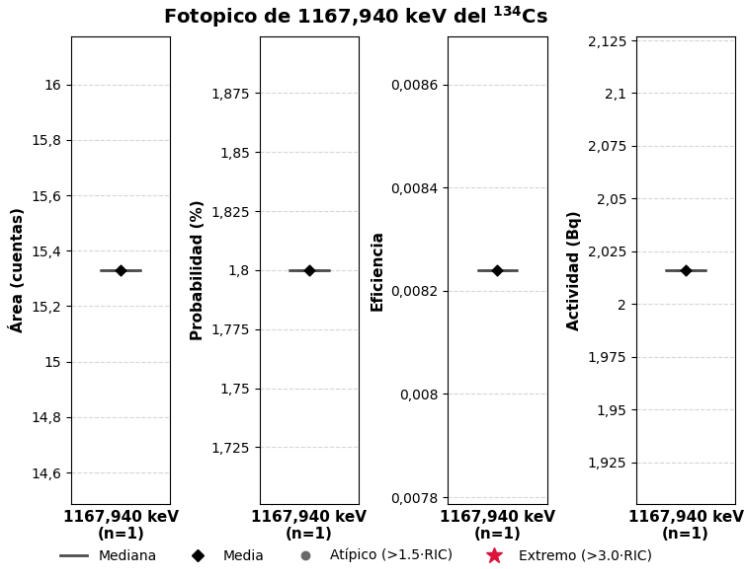

***Figura 21**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 1167,94 keV del ^{134}Cs.*

6.1.8. Fotopico de 1365,194 keV

La Figura 22 muestra el área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 1365,194 keV del ^{134}Cs. Cinco laboratorios utilizaron este fotopico. El laboratorio 17 y el 33 obtuvieron áreas más separadas que los restantes laboratorios. La mediana de la actividad fue 2,327 Bq que fue mucho mayor que la mediana de la actividad final del ^{134}Cs de 1,082 Bq.

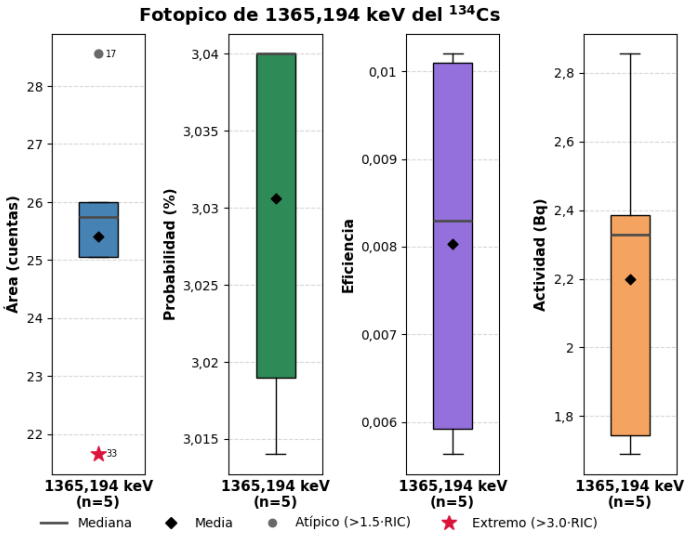

***Figura 22**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 1365,194 keV del ^{134}Cs.*

6.2. ^{152}Eu

La evaluación del desempeño obtenida por los 20 laboratorios participantes para el ^{152}Eu se detalla en la Tabla 6. La Figura 23 muestra los resultados obtenidos por los laboratorios en la determinación de la actividad del ^{152}Eu. La Figura 24 muestra la evaluación obtenida por los laboratorios en la determinación de la actividad del ^{152}Eu. El 95% de los laboratorios participantes obtuvo una evaluación satisfactoria, mientras que sólo el laboratorio 12 obtuvo una evaluación no satisfactoria.

***Tabla 6**. Evaluación del desempeño para la actividad del ^{152}Eu.*

Radionucleido:		^{152}Eu		
Actividad añadida:		2,166	0,036	Bq
Mediana	1,947	**MADe(%)**	8,54	

Laboratorio	Actividad (Bq)	Incertidumbre (k=2) (Bq)	LID (Bq)	z-Score
6	1,95	0,43	0,19	0,02
10	2,23	0,22	0,19	1,45
11	1,83	0,10	0,16	-0,60
12	6,19	0,36	1,17	21,77
16	1,87	0,08	0,30	-0,40
17	2,13	0,07	0,00	0,92
19	1,84	0,06	0,00	-0,55
22	2,07	0,18	0,24	0,64
24	2,29	0,07	0,16	1,77
26	2,21	0,19	0,54	1,35
27	2,19	0,09	0,44	1,26
28	1,89	0,14	0,15	-0,29
29	1,85	0,23	0,10	-0,50
32	1,87	0,11	0,05	-0,40
33	1,86	0,06	0,15	-0,46
35	1,87	0,16	0,24	-0,37
38	1,81	0,04	0,13	-0,72
39	1,94	0,06	0,17	-0,02
40	2,15	0,16	0,04	0,10
41	2,01	0,09	0,40	0,31

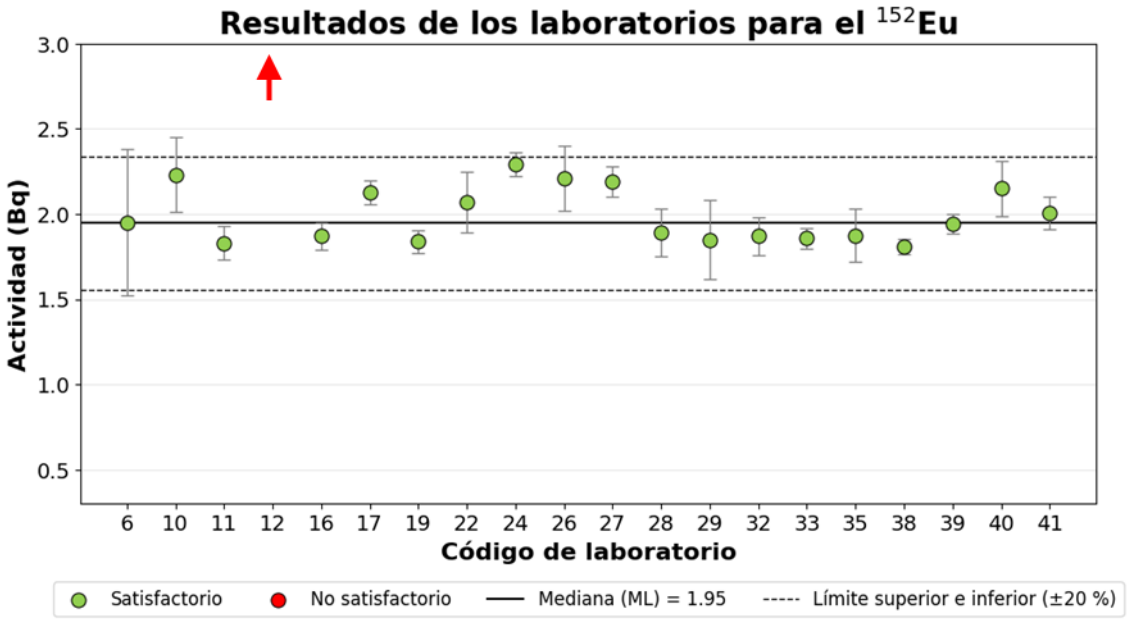

***Figura 23**. Resultados obtenidos por los laboratorios en la determinación de la actividad del ^{152}Eu.*

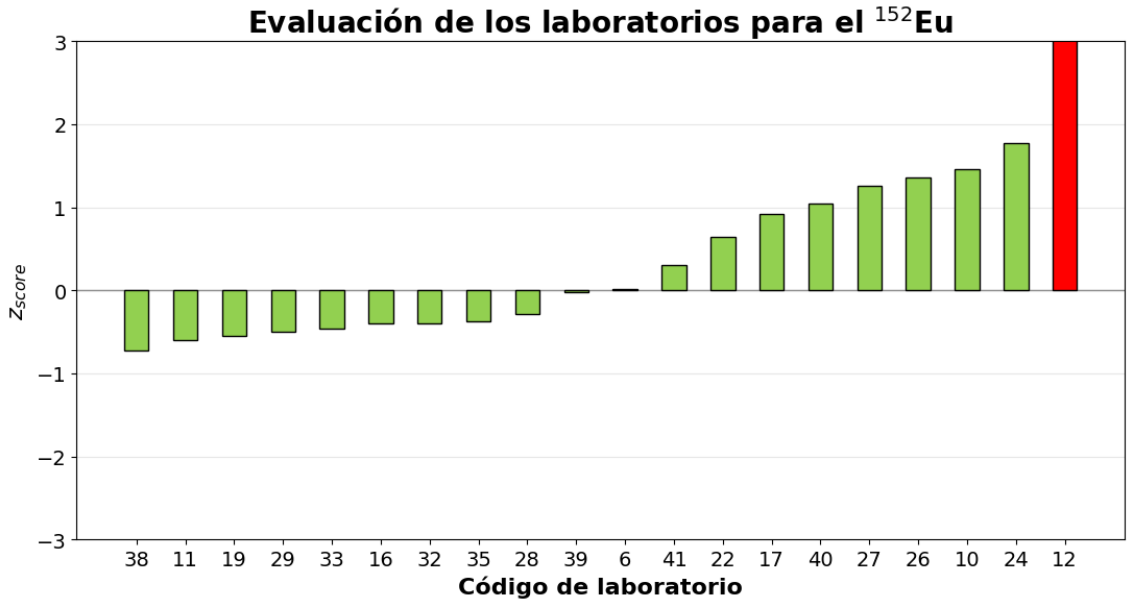

***Figura 24**. Evaluación obtenida por los laboratorios en la determinación de la actividad del ^{152}Eu.*

La Tabla 7 muestra los parámetros estadísticos de la distribución de los resultados del ^{152}Eu. El número de laboratorios participantes fue 20, la diferencia entre la media y la mediana fue del 13,13% con un coeficiente de variación del 43,16%. La distribución mostró un elevado sesgo positivo provocado por el resultado del laboratorio 12 que fue el único que obtuvo una evaluación no satisfactoria (sesgo estandarizado de 3,95).

El gráfico de caja y bigotes (Figura 25) mostró cómo el resultado del laboratorio 12 fue anómalo respecto del de los restantes laboratorios. Asimismo, la distribución de los resultados de la actividad del ^{152}Eu fue leptocúrtica con un acusado sesgo positivo tal y como mostraron los valores del sesgo estandarizado y curtosis de la Tabla 7. Por esta razón, la distribución de los resultados de los laboratorios no siguió una distribución normal tal y como mostró el gráfico QQ-Plot (Figura 27). Finalmente, el dendograma

mostró la elevada diferencia entre el resultado del laboratorio 12 respecto de los restantes laboratorios al igual que el resultado obtenido por el laboratorio 6.

***Tabla 7**. Parámetros estadísticos de la distribución de los resultados del ^{152}Eu*

Parámetro	Valor (Bq kg^{-1})
1. Número de laboratorios	20
2. Media aritmética (Bq kg^{-1}) (k=1)	2,20 ± 0,21
3. Mediana (Bq kg^{-1})	1,95
4. Diferencia Media-Mediana (%)	13,13 %
5. Rango (Bq kg^{-1})	[1,8-6,2]
6. Coeficiente de variación	43,16 %
7. Sesgo estandarizado	3,95
8. Curtosis	14,10
9. Tipo de distribución	Leptocúrtica

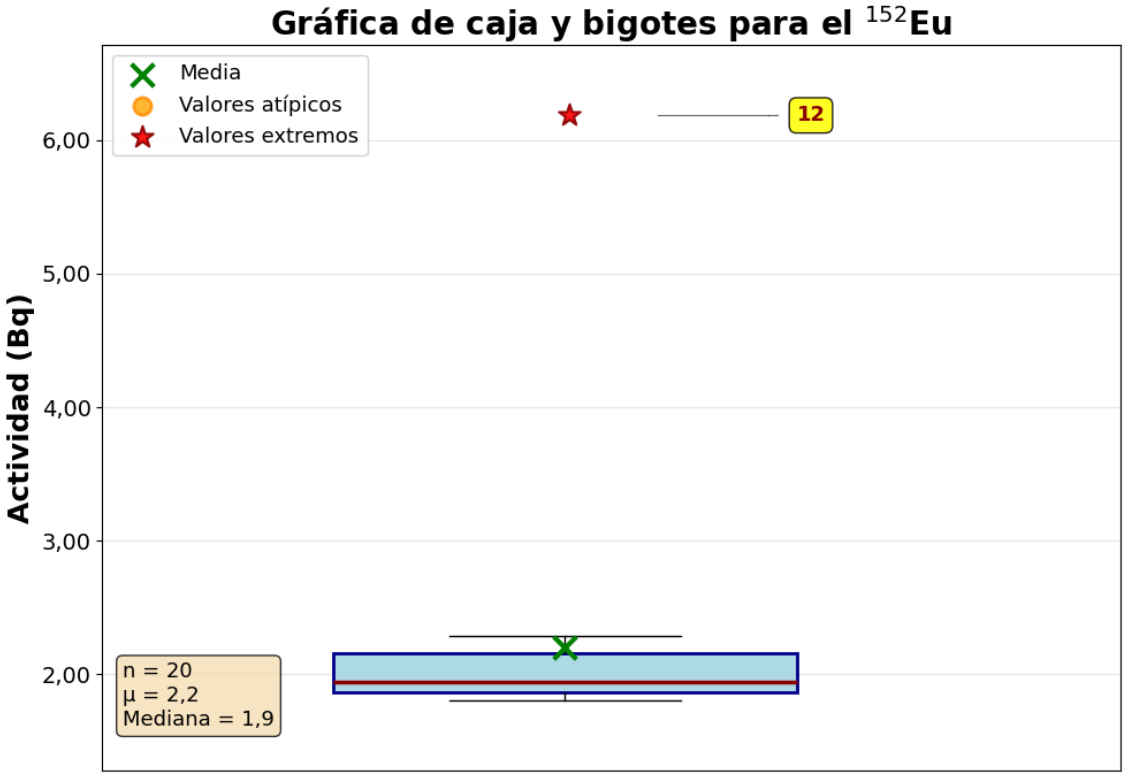

***Figura 25**. Gráfico de caja y bigotes para los resultados de los laboratorios en la determinación de la actividad del ^{152}Eu.*

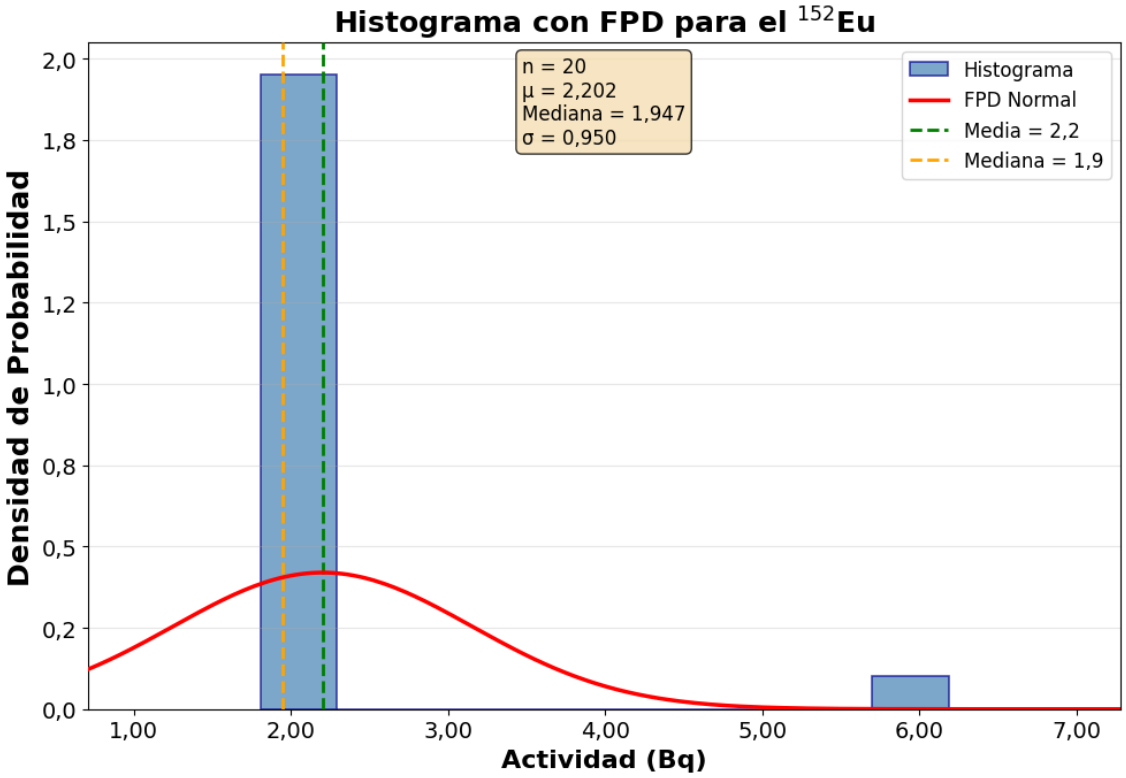

***Figura 26**. Histograma con FPD para los resultados obtenidos por los laboratorios para el ^{152}Eu.*

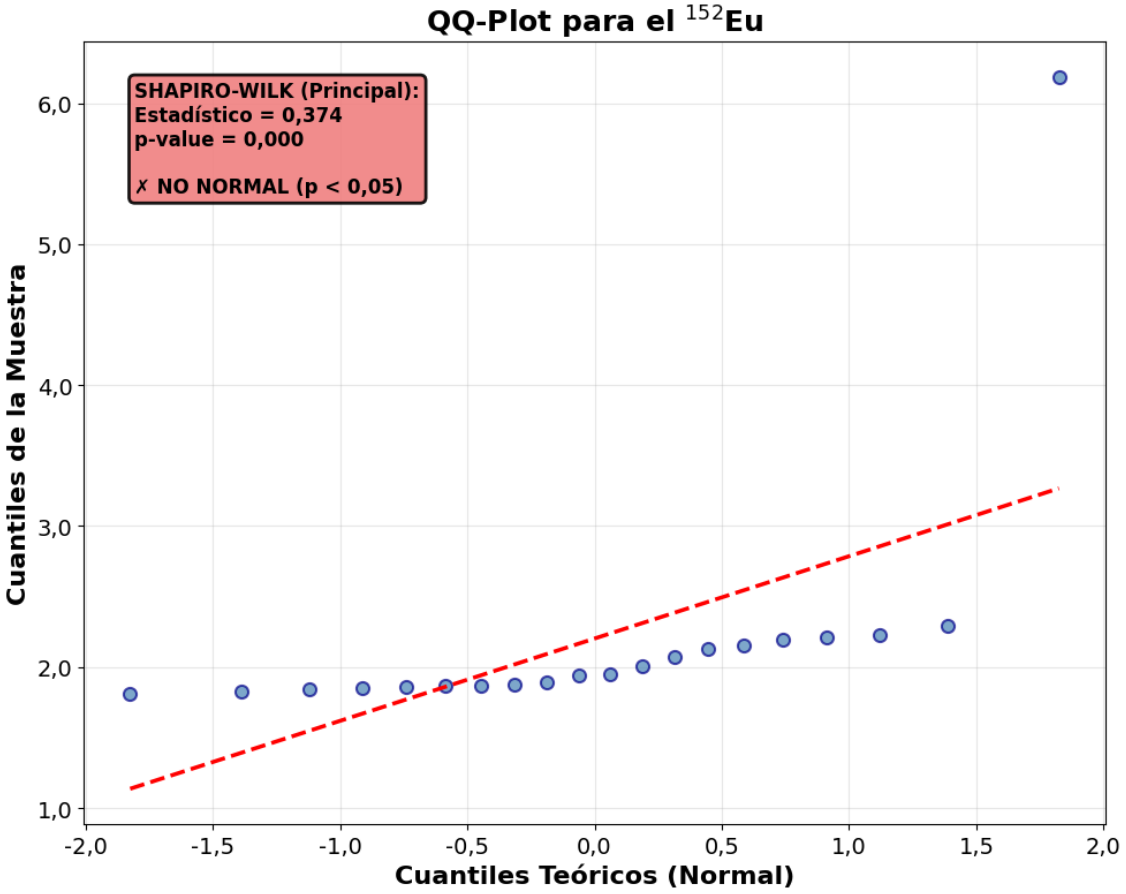

***Figura 27**. Gráfico QQ-Plot para los resultados obtenidos por los diferentes laboratorios de la determinación del ^{152}Eu.*

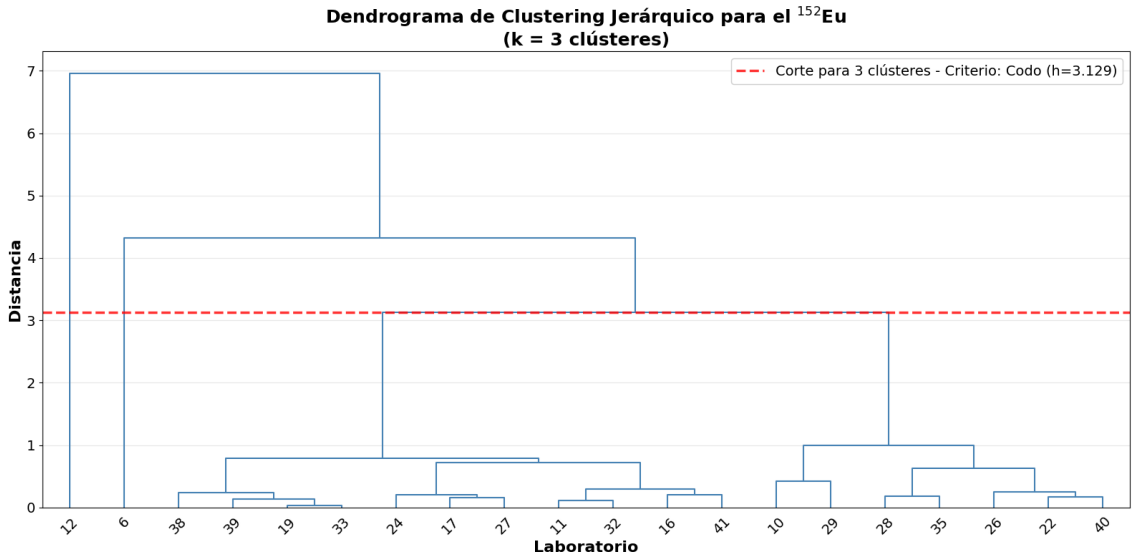

***Figura 28**. Dendrograma de Clustering jerárquico para los resultados de la actividad del ^{152}Eu.*

6.2.1. Fotopicos seleccionados por los laboratorios

Los fotopicos utilizados por los laboratorios para analizar la concentración de actividad del ^{152}Eu fueron los siguientes (las energías son las tomadas de la web https://www.lnhb.fr/home/nuclear-data/nuclear-data-table/) (Tabla 8).

***Tabla 8**. Energías (keV) y probabilidad de emisión para los principales fotopicos del ^{152}Eu.*

Energía (keV)	Probabilidad de emisión (%) (k=1)
121,7817	28,41 (13)
244,6974	7,55 (4)
344,2785	26,59 (12)
778,9045	12,97 (6)
867,380	4,243 (23)
964,079	14,50 (6)
1085,837	10,13 (6)
1089,737	1,73 (1)
1112,948	1,416 (9)
1408,013	20,85 (8)

La Figura 29 muestra el número de laboratorios que seleccionaron cada fotopico del ^{152}Eu. Algunos laboratorios seleccionaron los fotopicos de 39,52 keV, 40,11 keV y 45,48 keV que no se han tenido en cuenta en la evaluación ya que no eran fotopicos del ^{152}Eu. Los fotopicos seleccionados por la mayor parte de los laboratorios fueron: 121,782 keV, 344,279 keV y 1408,013 keV, seguidos por los fotopicos de 778,904 keV y 964,079 keV.

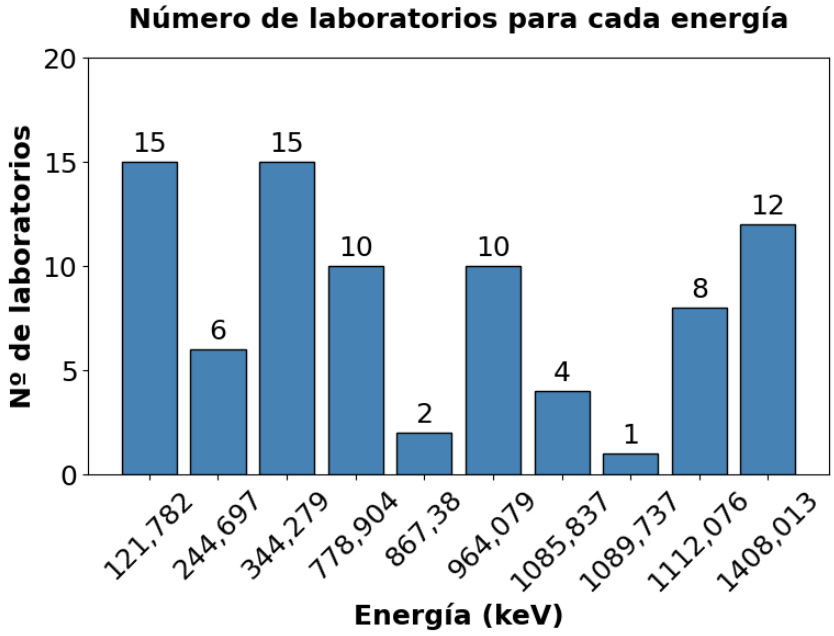

***Figura 29**. Número de laboratorios que seleccionaron cada fotopico del ^{152}Eu.*

6.2.2. Fotopico de 121,782 keV

La Figura 30 muestra el área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 121,782 keV del ^{152}Eu. La Figura 31 muestra los mismos datos, pero sin considerar ni los valores atípicos ni los anómalos.

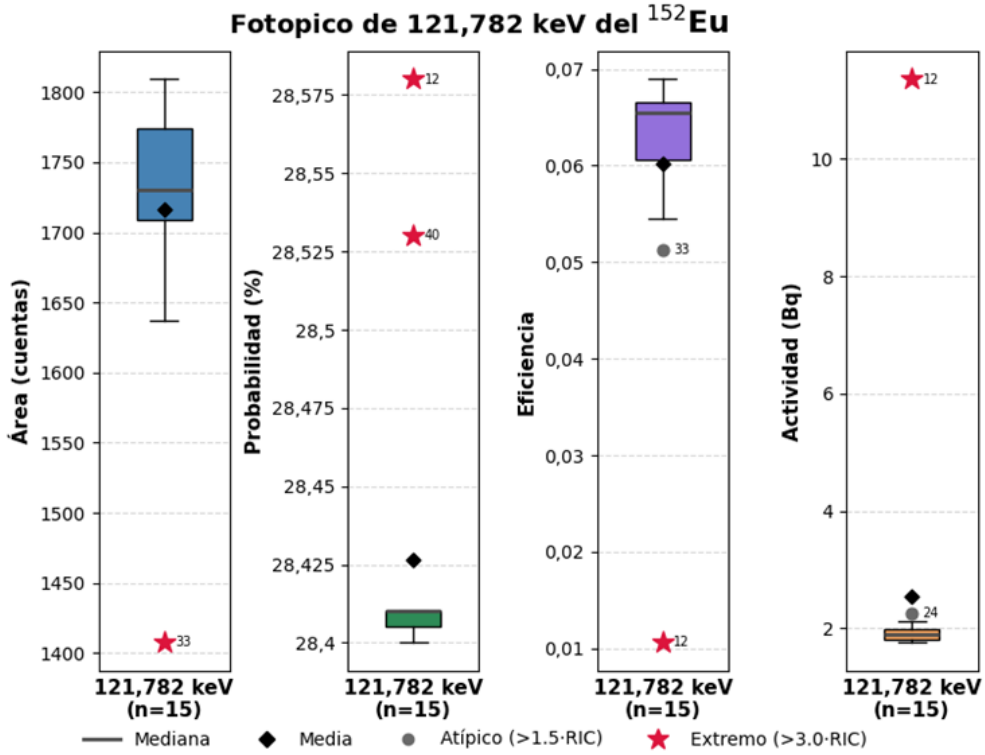

***Figura 30**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 121,782 keV del ^{152}Eu.*

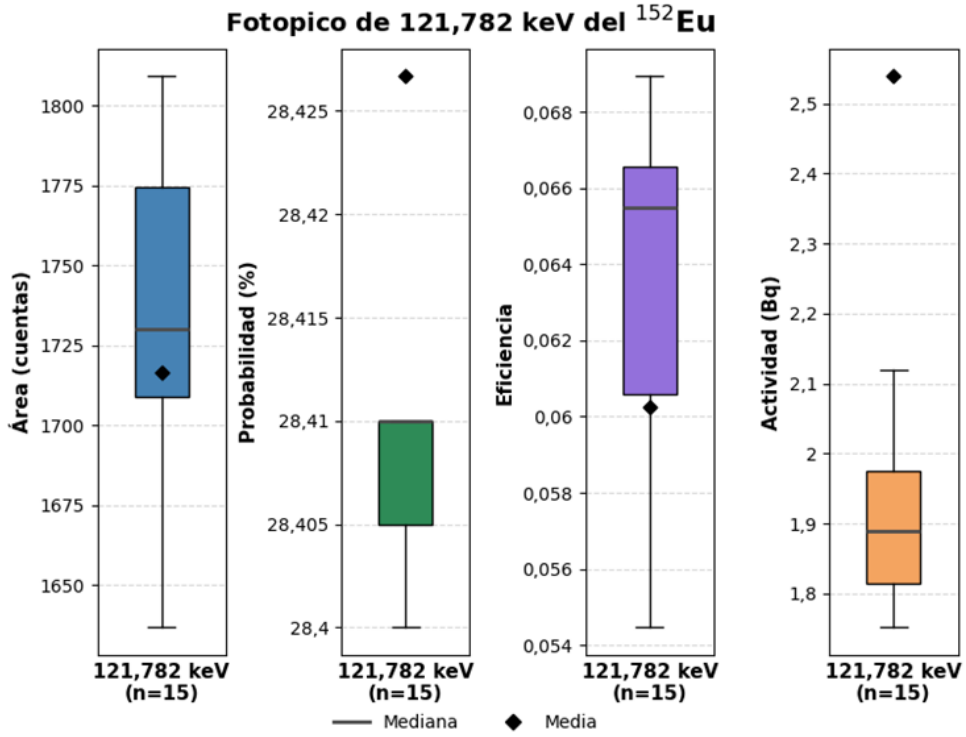

***Figura 31**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 121,782 keV del ^{152}Eu sin valores atípicos ni anómalos.*

Las áreas seleccionadas por los laboratorios tuvieron una mediana de 1730 y una media de 1716 mostrando un sesgo negativo en la distribución de los valores. Este sesgo se debió al área informada por el laboratorio 33 que fue inferior a la del resto de laboratorios. Por tanto, el área del fotopico de 121,782 keV mostró una variabilidad elevada con un rango de las cuentas del fotopico de 121,782 keV que varió entre 1637 y 1809 cuentas. Sin embargo, la probabilidad de emisión fue equivalente a la del LNHB con un valor de 28,43% que es equivalente al valor tabulado de 28,41 (13)%. Las eficiencias oscilaron entre 0,05446 y 0,06893 con un valor de mediana de 0,0655. El laboratorio 12 utilizó una eficiencia de 0,01059 muy inferior al resto. Esta eficiencia hizo que la actividad del laboratorio 12 fuera muy superior al resto de laboratorios. El resultado del laboratorio 24 obtuvo un valor atípico. La mediana de la actividad de este fotopico de 1,89 Bq fue equivalente a la actividad final del ejercicio para el ^{152}Eu que fue 1,947 (±85,4%) Bq.

6.2.3. Fotopico de 244,697 keV

La Figura 32 muestra el área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 244,697 keV del ^{152}Eu. La Figura 33 muestra los mismos datos, pero sin considerar ni los valores atípicos ni los anómalos. Seis laboratorios seleccionaron este fotopico para realizar sus determinaciones.

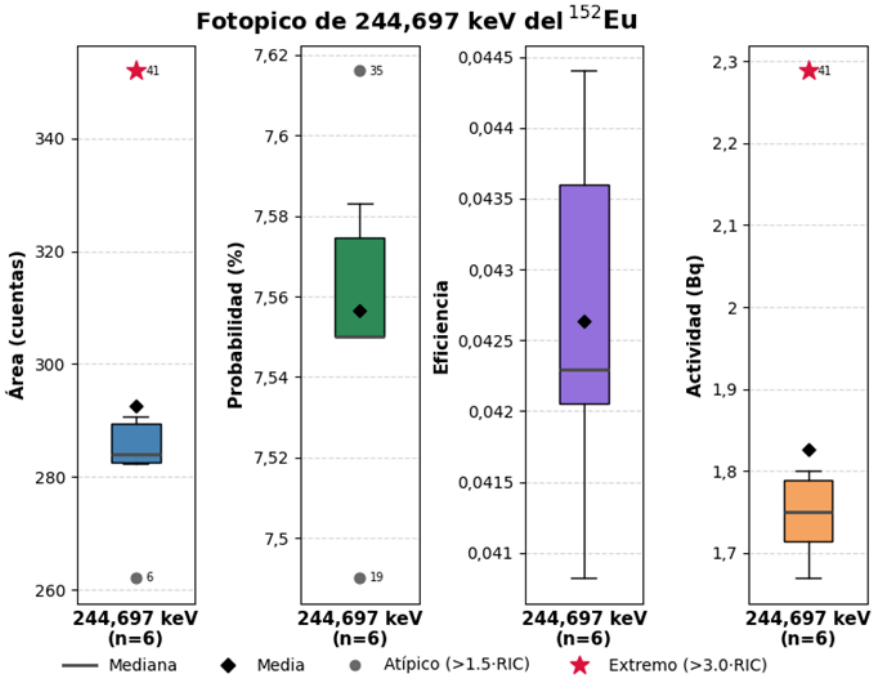

***Figura 32**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 244,697 keV del ^{152}Eu.*

Los resultados mostraron un rango de cuentas en el área del pico de 244,697 keV que varió entre 282,3 y 290,87 cuentas. El resultado del laboratorio 41 fue un valor anómalo y el del 6 atípico. Las probabilidades de emisión obtuvieron una mediana de 7,557% que es equivalente al valor tabulado de 7,55 (4)%. El rango de eficiencias también estuvo agrupado entre 0,04082 y 0,0444. Sin embargo, pese a que los valores estaban agrupados, el laboratorio 41 obtuvo un valor más elevado consecuencia del mayor recuento en este pico. La mediana de la actividad de este fotopico fue de 1,75 Bq que fue ligeramente inferior a la mediana de la actividad final del ^{152}Eu (1,947 ± 8,54%) Bq.

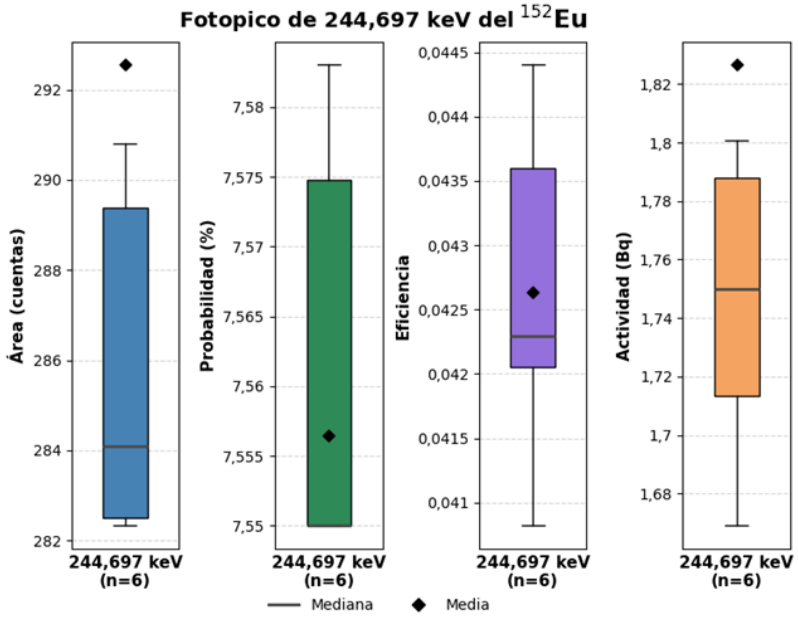

***Figura 33**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 244,697 keV del ^{152}Eu sin valores atípicos ni anómalos.*

6.2.4. Fotopico de 344,279 keV

La Figura 34 muestra el área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 344,279 keV del ^{152}Eu. La Figura 35 muestra los mismos datos, pero sin considerar ni los valores atípicos ni los anómalos. Quince laboratorios seleccionaron este fotopico para realizar sus determinaciones.

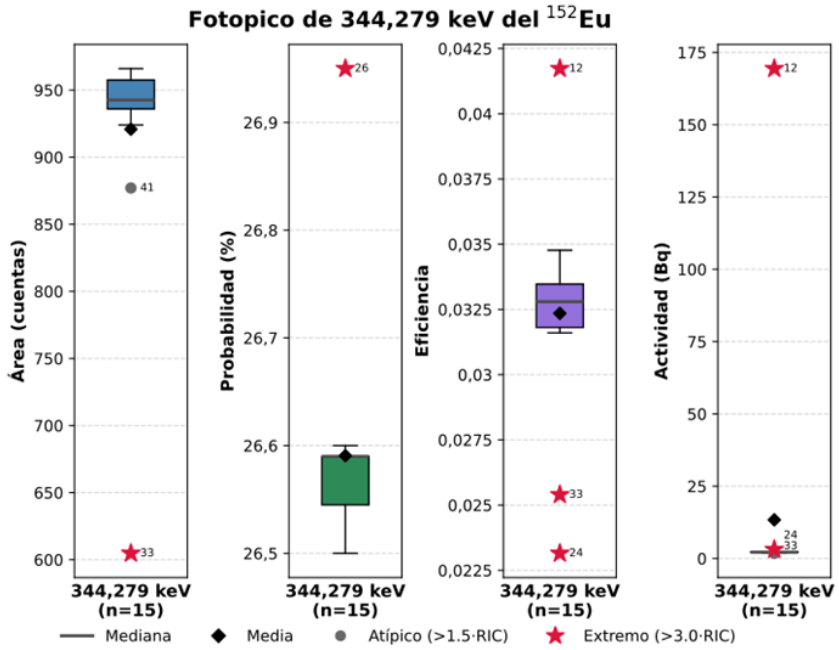

***Figura 34**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 344,279 keV del ^{152}Eu.*

El rango de las cuentas obtenidas por los laboratorios para el fotopico de 344,279 keV estuvo comprendido entre 924 y 966 cuentas (en el rango intercuartílico). Sin embargo, los resultados de los laboratorios 41 y 33 obtuvieron un valor atípico y un anómalo respectivamente. La mediana de la probabilidad de emisión fue de 26,59% que fue el mismo que el valor tabulado por el LNHB. Las eficiencias obtuvieron valores anómalos para los laboratorios 12, 24 y 33. Estas eficiencias hicieron que las actividades calculadas para este fotopico obtuvieran valores anómalos. La mediana de la actividad de este fotopico fue de 2,21 Bq que era superior a la mediana obtenida para la actividad final del ^{152}Eu de 1,947 Bq.

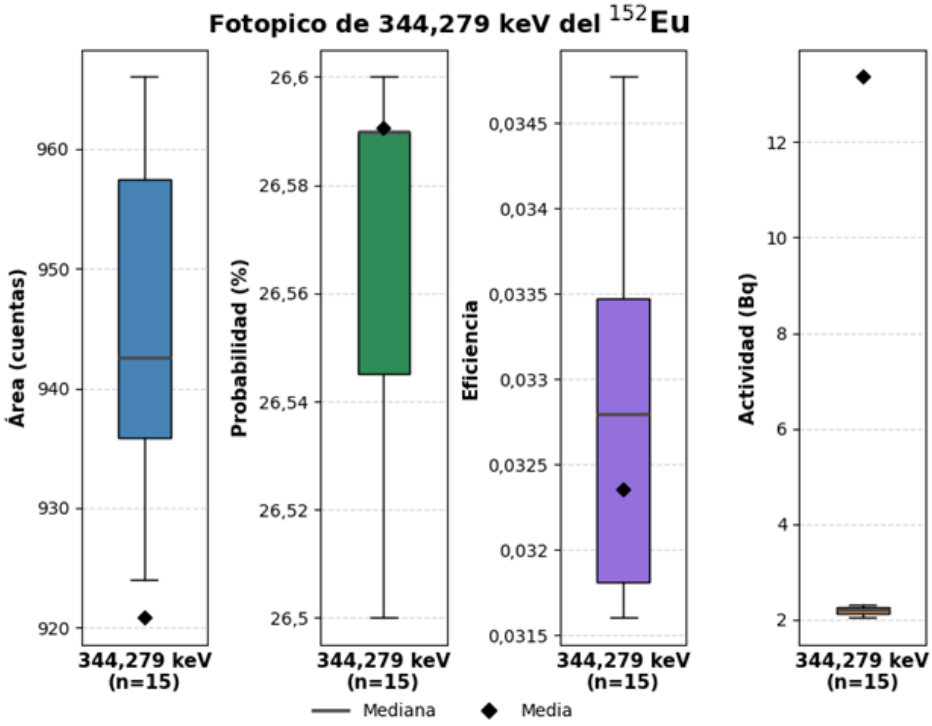

***Figura 35**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 344,279 keV del ^{152}Eu sin valores atípicos ni anómalos.*

6.2.5. Fotopico de 778,904 keV

La Figura 36 muestra el área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 778,904 keV del ^{152}Eu. La Figura 37 muestra los mismos datos, pero sin considerar ni los valores atípicos ni los anómalos. Diez laboratorios seleccionaron este fotopico para realizar sus determinaciones.

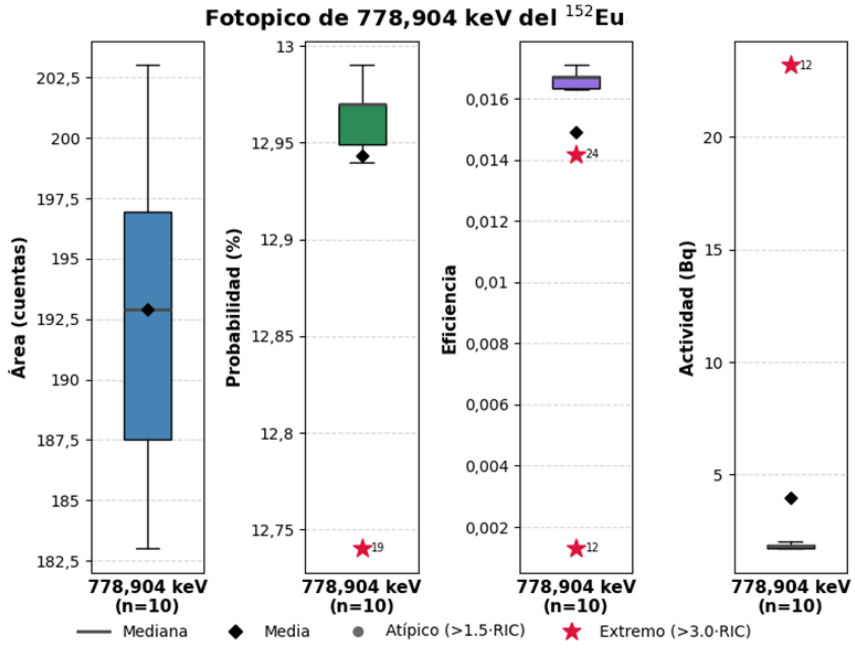

***Figura 36**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 778,904 keV del ^{152}Eu.*

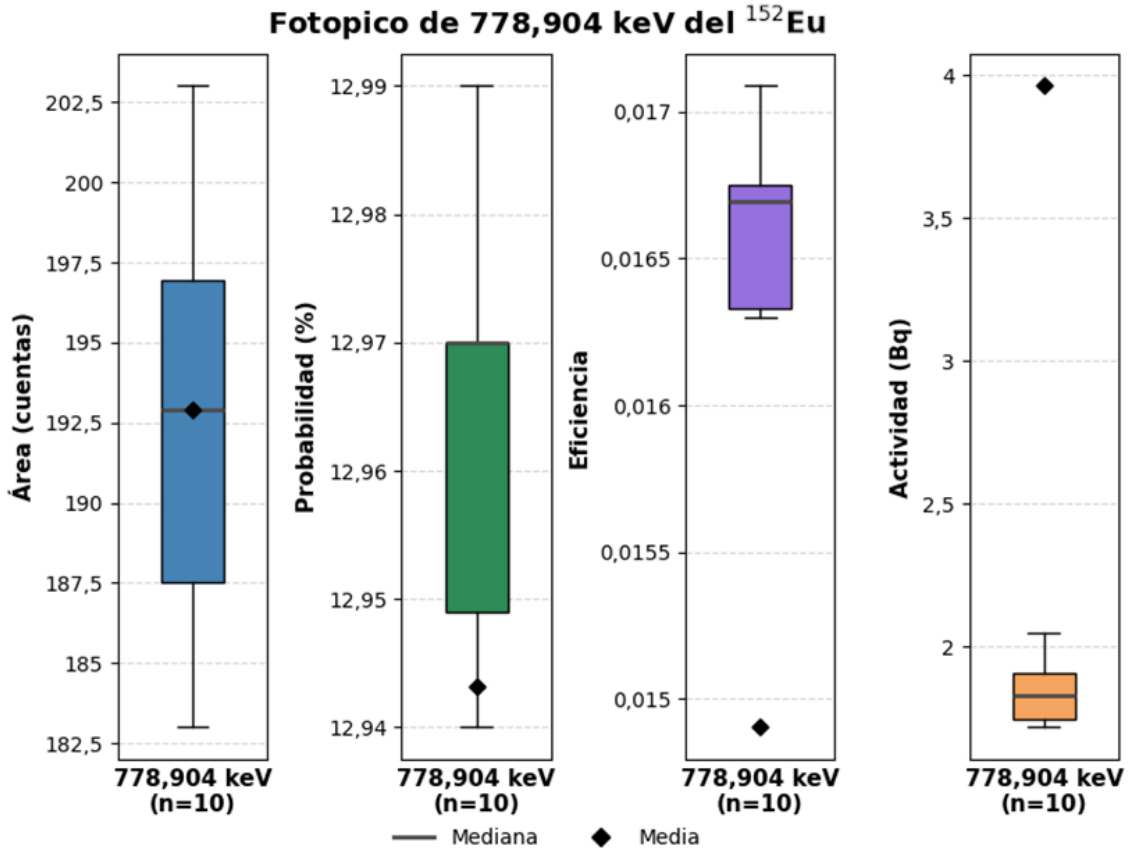

***Figura 37**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 778,904 keV del ^{152}Eu sin valores atípicos ni anómalos.*

El rango de las áreas del fotopico de 778,904 keV obtenido por los laboratorios varió entre 183 y 203 con una mediana de 192,9 cuentas. La mediana de las probabilidades de emisión fue 12,97% que fue igual a la del LNHB. El rango de la eficiencia utilizada por los laboratorios varió entre 0,0163 y 0,01709 en el rango intercuartílico. Sin embargo, los laboratorios 12 y 24 obtuvieron valores anómalos que produjeron que la actividad obtenida por el laboratorio 12 fuera muy superior al resto de los diez laboratorios. La mediana de la actividad de este fotopico fue de 1,827 Bq que fue equivalente a la actividad final del ^{152}Eu (1,947 ± 8,54% Bq).

6.2.6. Fotopico de 867,380 keV

La Figura 38 muestra el área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 867,380 keV del ^{152}Eu. Dos laboratorios seleccionaron este fotopico para realizar sus determinaciones. Los únicos laboratorios que utilizaron este fotopico fueron el 19 y el 24.

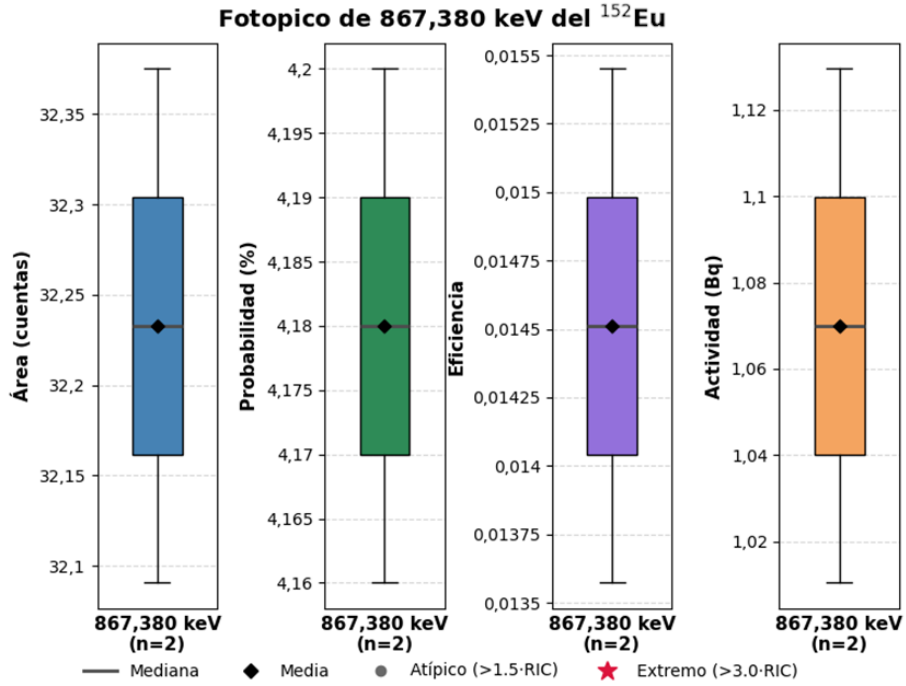

***Figura 38**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 867,380 keV del ^{152}Eu.*

La actividad media obtenida por los dos laboratorios participantes fue de 1,07 Bq que fue menor que la actividad final del ejercicio para el ^{152}Eu.

6.2.7. Fotopico de 964,079 keV

La Figura 39 muestra el área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 964,079 keV del ^{152}Eu. La Figura 40 muestra los mismos datos, pero sin considerar ni los valores atípicos ni los anómalos. Diez laboratorios seleccionaron este fotopico para realizar sus determinaciones.

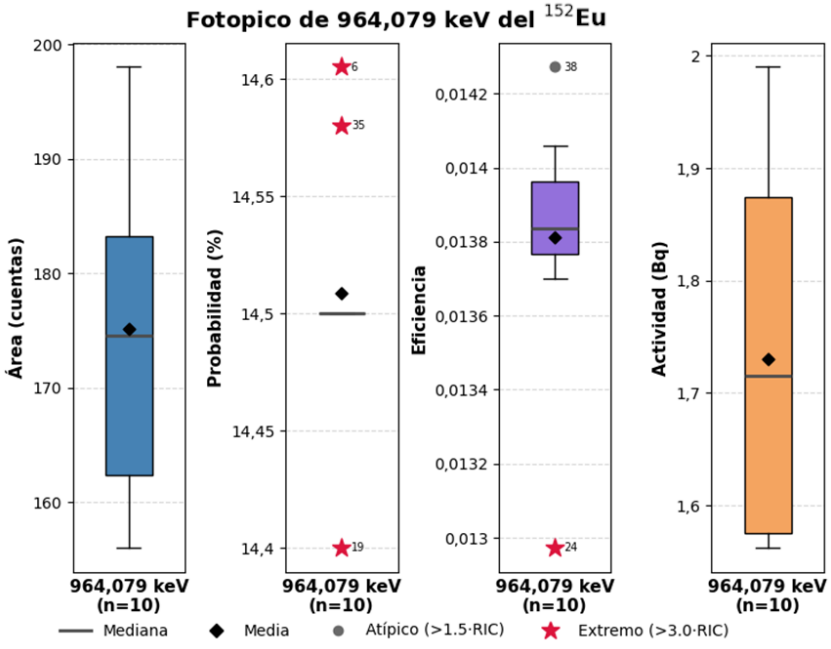

***Figura 39**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 964,079 keV del ^{152}Eu.*

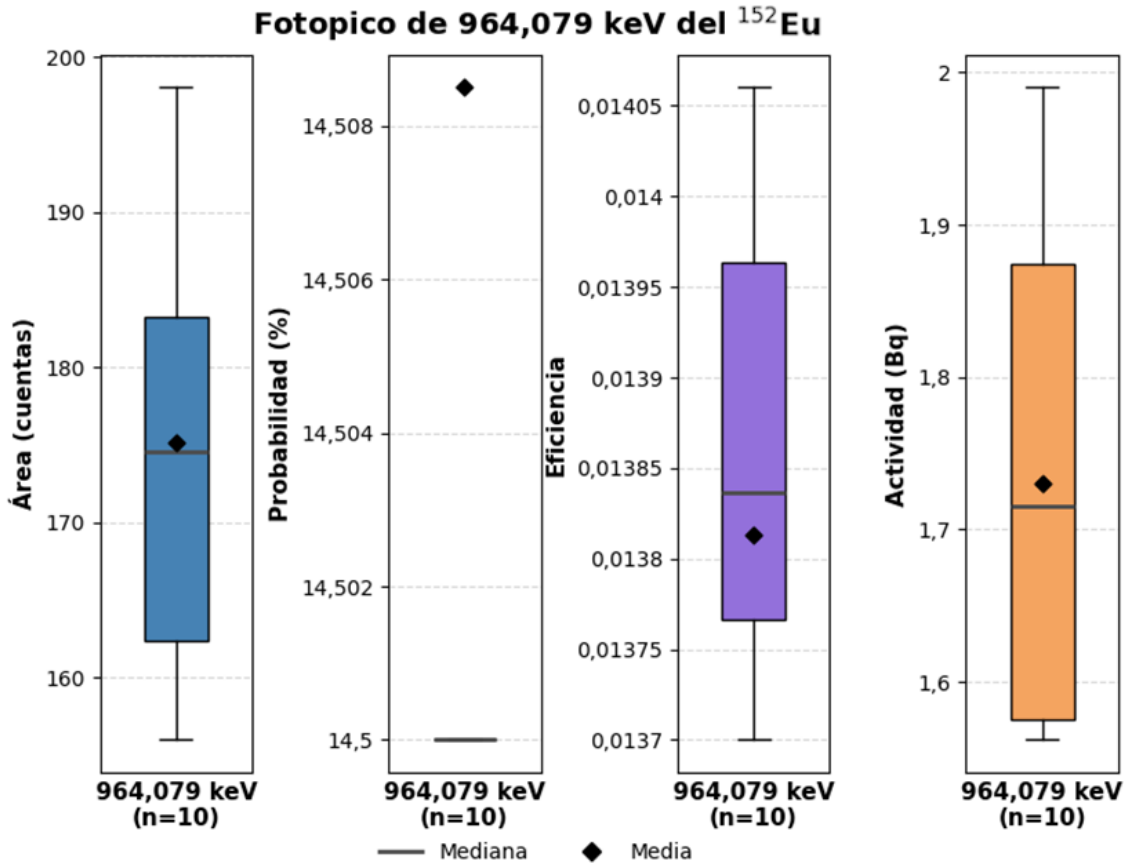

***Figura 40**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 964,079 keV del ^{152}Eu sin valores atípicos ni anómalos.*

El rango de cuentas obtenidas para el fotopico de 964,079 keV varió entre 156 y 198 cuentas. La mediana de las probabilidades de emisión fue de 14,5% que es igual al valor tabulado para este pico en las tablas del LNHB. La eficiencia del laboratorio 24 obtuvo un valor anómalo respecto del resto de laboratorios y el laboratorio 38 un valor atípico. Sin embargo, el rango de las eficiencias varió únicamente entre 0,0137 y 0,01406. Finalmente, la actividad del fotopico de 964,079 keV varió entre 1,562 Bq y 1,99 Bq, con un valor de mediana de 1,716 Bq que es ligeramente inferior al valor de la mediana obtenida para la evaluación final del ^{152}Eu.

6.2.8. Fotopico de 1085,837 keV

La Figura 41 muestra el área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 1085,837 keV del ^{152}Eu. La Figura 42 muestra los mismos datos, pero sin considerar ni los valores atípicos ni los anómalos. Cuatro laboratorios seleccionaron este fotopico para realizar sus determinaciones.

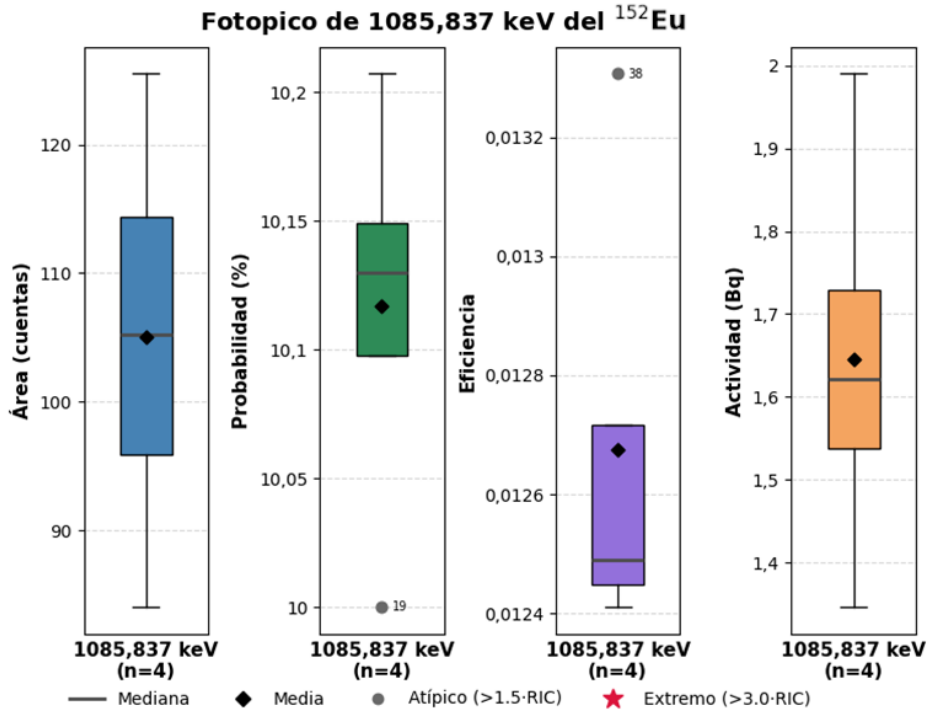

***Figura 41**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 1085,837 keV del ^{152}Eu.*

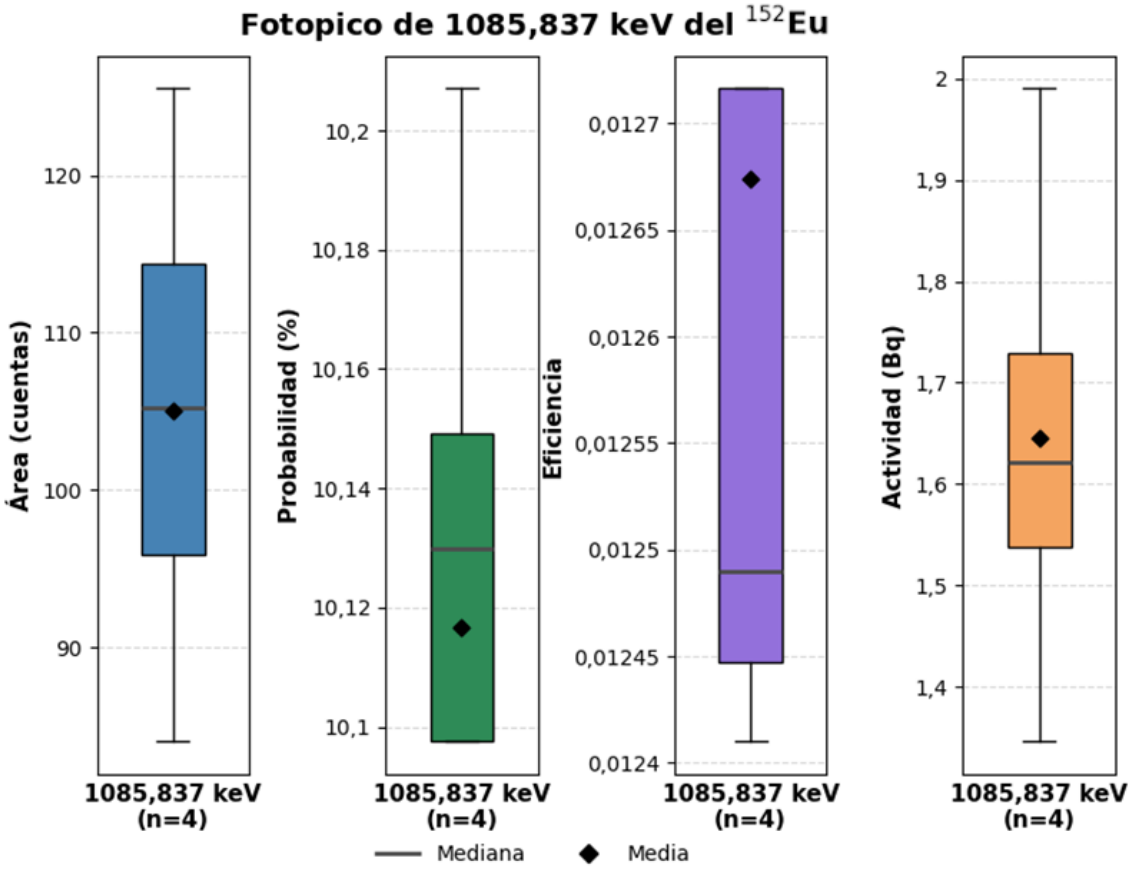

***Figura 42**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 1085,837 keV del ^{152}Eu sin valores atípicos ni anómalos.*

Las cuentas obtenidas por los laboratorios oscilaron entre 84 y 125,5 cuentas. Aunque el laboratorio 19 tuvo un valor atípico en la probabilidad de emisión seleccionada, la mediana fue 10,13% que es igual al valor tabulado por el LNHB de 10,13 (6)%. La eficiencia calculada varió entre 0,01241 y 0,01252 dentro del rango intercuartílico con un valor atípico para el laboratorio 38 que fue de 0,013306. La mediana de la actividad del fotopico de 1085,837 keV fue de 1,622 Bq que fue inferior a la mediana del valor de la actividad final del ejercicio (1,947 ± 8,54%) Bq.

6.2.9. Fotopico de 1089,737 keV

La Figura 43 muestra el área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 1085,737 keV del ^{152}Eu del único laboratorio que utilizó el fotopico de 1089,737 keV (laboratorio 35).

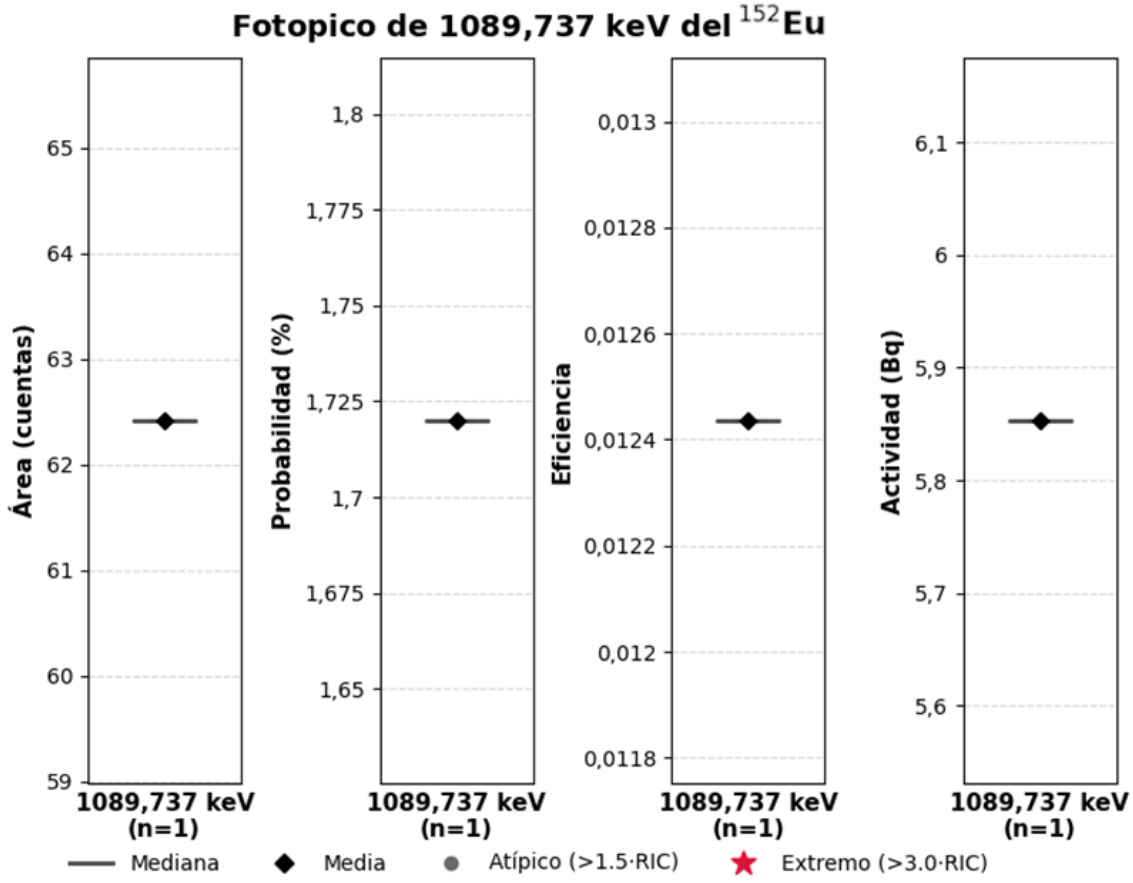

***Figura 43**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 1085,837 keV del ^{152}Eu.*

6.2.10. Fotopico de 1112,948 keV

La Figura 44 muestra el área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 1112,076 keV del ^{152}Eu. La Figura 45 muestra los mismos datos, pero sin considerar ni los valores atípicos ni los anómalos. Ocho laboratorios seleccionaron este fotopico para realizar sus determinaciones.

Las áreas del fotopico de 1112,076 keV obtenidas por los laboratorios variaron entre 151,8 y 176 cuentas. La mediana de la probabilidad de emisión del fotopico fue de 13,41% que fue igual que la tabulada en el LNHB de 13,41 (6)%. Las eficiencias de los laboratorios 12

y 38 fueron anómalas respecto de los restantes laboratorios. El rango de la eficiencia sin considerar estos valores anómalos varió entre 0,0121 y 0,01243 mostrando poca dispersión. El laboratorio 12 obtuvo también un valor anómalo para la actividad de este fotopico. La mediana de la actividad fue de 2,016 Bq que fue superior a la actividad final del ejercicio para el ^{152}Eu (1,947 ± 8,54%) Bq.

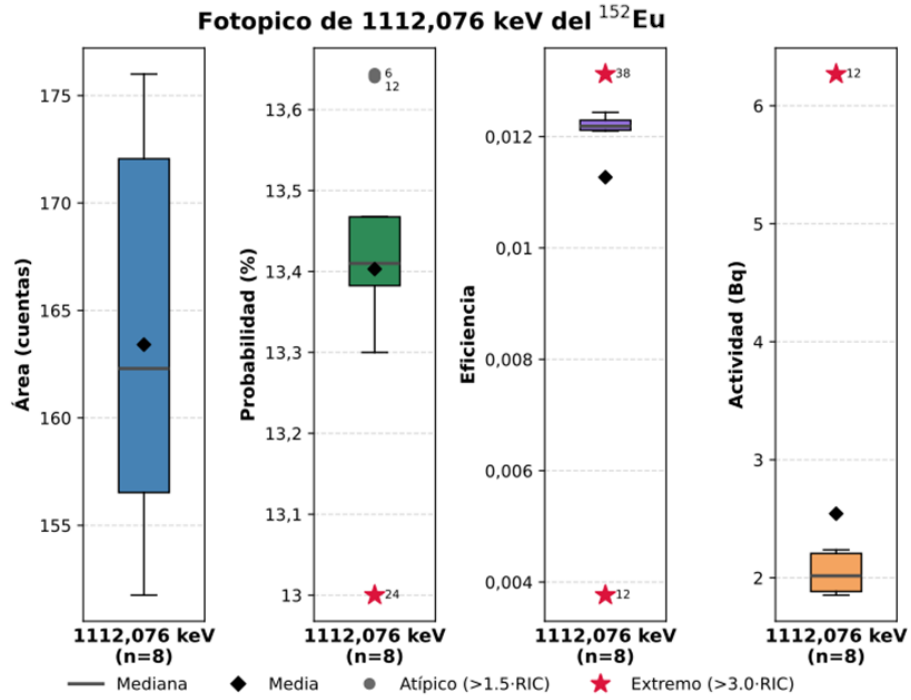

***Figura 44**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 1112,076 keV del ^{152}Eu.*

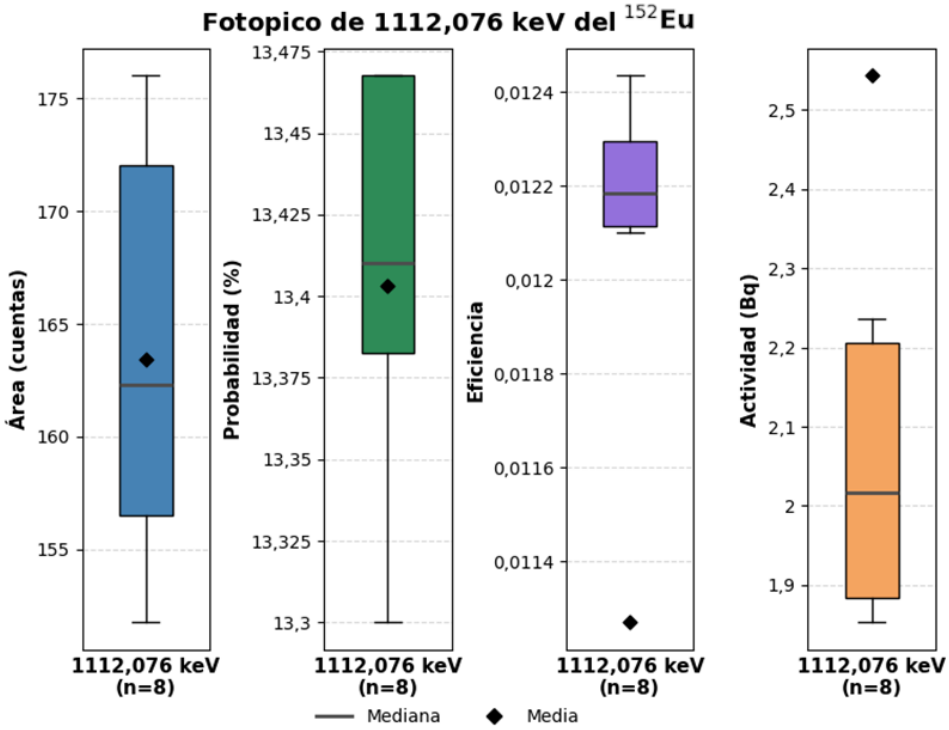

***Figura 45**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 1112,076 keV del ^{152}Eu sin valores atípicos ni anómalos.*

6.2.11. Fotopico de 1085,013 keV

La Figura 46 muestra el área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 1085,013 keV del ^{152}Eu. La Figura 47 muestra los mismos datos, pero sin considerar ni los valores atípicos ni los anómalos. Doce laboratorios seleccionaron este fotopico para realizar sus determinaciones.

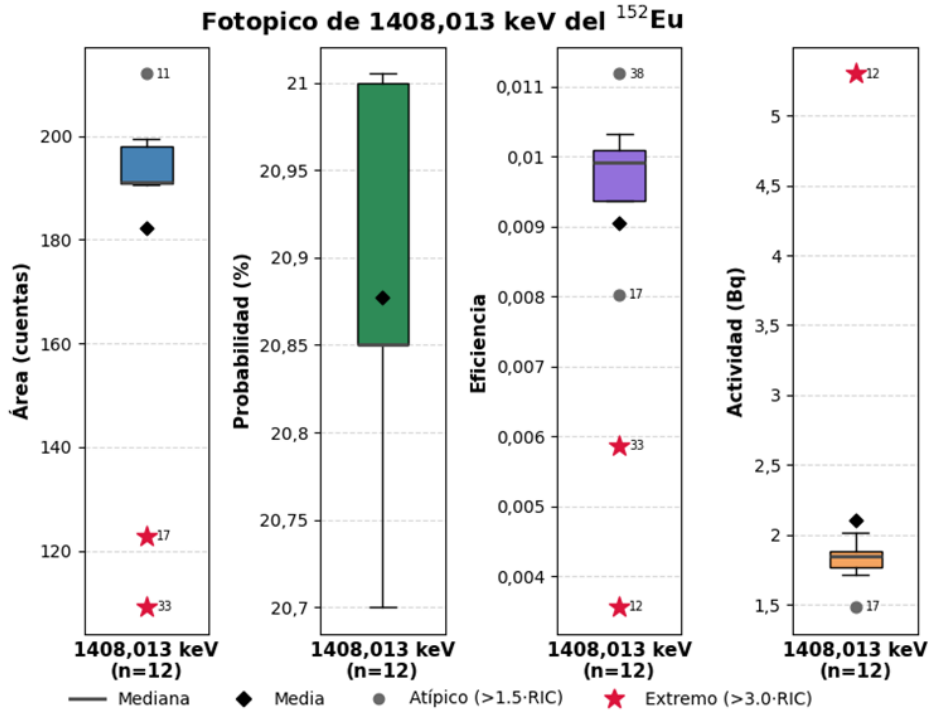

***Figura 46**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 1085,013 keV del ^{152}Eu.*

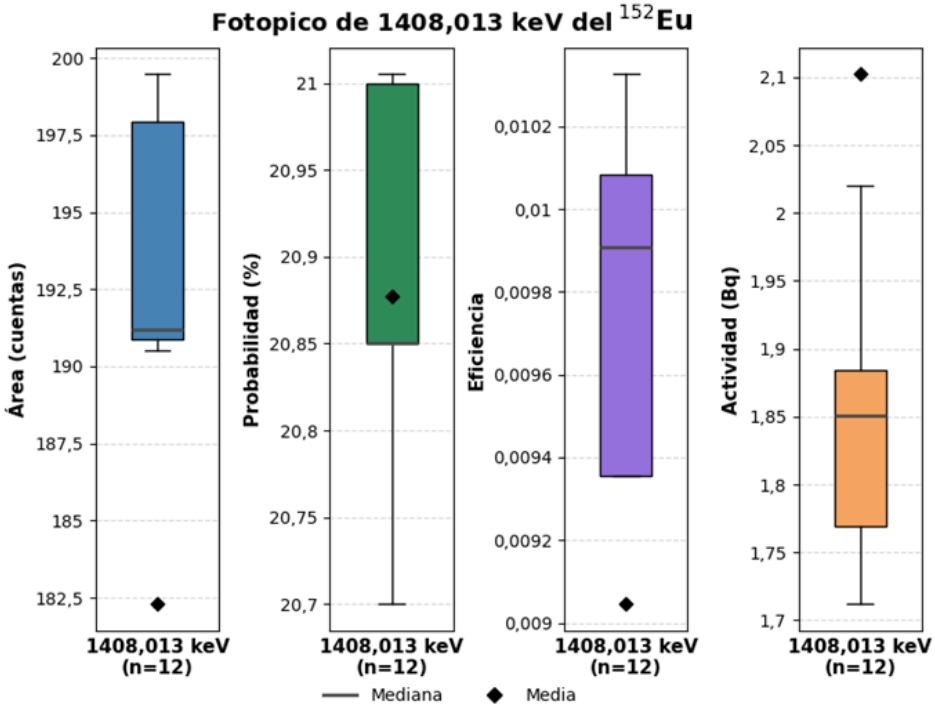

***Figura 47**. Área (cuentas), probabilidad de emisión (%), eficiencia y actividad (Bq) para el fotopico de 1085,013 keV del ^{152}Eu sin valores atípicos ni anómalos.*

El rango de áreas obtenidas por los laboratorios varió entre 190,5 y 199,5 cuentas en el rango intercuartílico. El área obtenida por el laboratorio 11 fue atípica y las de los laboratorios 17 y 33 anómalas. La mediana de la probabilidad de emisión del ^{152}Eu para el fotopico de 1408,013 keV fue de 20,85 que es igual a la tabulada por el LNHB. Las eficiencias mostraron una elevada dispersión. Las eficiencias de los laboratorios 17 y 38 fueron atípicas mientras que las obtenidas por los laboratorios 12 y 33 fueron anómalas. Sin embargo, el rango de eficiencias obtenidas para los laboratorios que se situaron dentro del rango intercuartílico varió entre 0,009799 y 0,01033, mostrando una elevada precisión. La actividad obtenida por el laboratorio 12 fue anómala respecto del resto de laboratorios y fue debida a la baja eficiencia determinada para el cálculo de la actividad. El laboratorio 17 obtuvo un valor atípico ya que el área determinada fue más baja que la de los restantes laboratorios. El laboratorio 33 compensó el bajo recuento calculado para el área del fotopico con la eficiencia obteniendo un valor dentro del rango intercuartílico. Finalmente, la mediana de la actividad obtenida para el fotopico de 1408,013 keV fue de 2,02 Bq resultando superior a la mediana del valor final del ejercicio para el ^{152}Eu (1,947 ± 8,54%) Bq.

7. CONCLUSIONES

La intercomparación del espectro que contenía ^{134}Cs y ^{152}Eu ha permitido comprobar la variabilidad existente en el cálculo de los diferentes parámetros que intervienen en el cálculo de la actividad de una muestra. El ejercicio ha permitido evaluar tanto la eficiencia obtenida por los laboratorios como las actividades tanto finales como parciales para cada fotopico.

El ^{134}Cs obtuvo una evaluación del 90% de resultados satisfactorios, siendo no satisfactorios los resultados de dos laboratorios (12 y 27). La distribución de resultados obtenidos no siguió una distribución normal debido al elevado sesgo positivo generado por los laboratorios que obtuvieron una evaluación no satisfactoria. Sin embargo, el resto de laboratorios mostró una elevada precisión en sus resultados. Los fotopicos más utilizados por los laboratorios fueron: 569,33 keV, 604,72 keV y 795,86 keV. La variabilidad de los resultados fue debida a las cuentas y las eficiencias obtenidas por los laboratorios. No se observó ninguna variabilidad en las probabilidades de emisión utilizadas por los laboratorios.

El 95% de los laboratorios obtuvieron una evaluación satisfactoria para la actividad del ^{152}Eu, siendo no satisfactoria para el laboratorio 12. Al igual que ocurrió con el ^{134}Cs la distribución mostró un sesgo positivo y un valor de curtosis que hizo que la distribución de resultados no siguiera una distribución normal. Asimismo, los resultados de los laboratorios que entraron dentro del rango intercuartílico fueron muy precisos. Los fotopicos más utilizados por los laboratorios fueron: 121,782 keV, 344,279 keV y 1408,013 keV. De nuevo, la variabilidad de los resultados fue debida a las cuentas y las eficiencias obtenidas por los laboratorios. No se observó ninguna variabilidad en las probabilidades de emisión utilizadas por los laboratorios.

Este ejercicio es informativo para los laboratorios, aunque los resultados y las conclusiones de este estudio podrían servir para tratar de realizar este tipo de intercomparaciones en futuras ediciones. Hay aspectos que deben ser mejorados para lograr una mayor homogeneidad de los resultados entregados por los laboratorios. Sin embargo, la información que puede proporcionar a los laboratorios participantes puede ser muy valiosa si se consensuan unos criterios por unanimidad de los laboratorios participantes.

8. ANEXO VI. LISTADO DE LABORATORIOS PARTICIPANTES

LABORATORIO	ORGANISMO/EMPRESA	LOCALIDAD
Laboratorio de Radiactividad Ambiental de Badajoz	Universidad de Extremadura. Dpto. de Física - Atómica - B009	Badajoz
Laboratorio Radiología Ambiental	Universidad de Barcelona. Facultat de Química	Barcelona
Laboratorio de Medidas de Baja Actividad	Universidad del País Vasco UPV/EHU. Departamento de Ingeniería Energética. Escuela de Ingeniería de Bilbao	Bilbao
Laboratorio de Proteçao e Segurança Radiológica	Instituto superior Técnico. Campus Tecnológico e Nuclear	Bobadela LRS (Portugal)
EUROFINS EICHROM Radioactivité	EUROFINS EICHROM	Bruz (Francia)
Central Scientific and Research Laboratory	DIAL Ltd.	Buhovo-Sofia (Bulgaria)
AGQ Labs	AGQ	Burguillos (Sevilla)
Laboratorio de Radiactividad Ambiental (LARAM)	Universidad de Valencia	Burjassot (Valencia)
Laboratorio de Radiactividad Ambiental (LARUEX)	Universidad de Extremadura. Facultad de Veterinaria	Cáceres
Grup de Recerca en Radioactivitat Ambiental de Barcelona GRAB-UAB	Universitat Autònoma de Barcelona. Unitat de Física de les Radiacions. Dep. de Física	Cerdanyola del Vallés (Barcelona)
Laboratorio de Radiactividad Ambiental	Universidad de Castilla-La Mancha. ITQUIMA	Ciudad Real
Laboratorio de Radiactividad Ambiental	Universidade da Coruña. CIS Tecnología y Diseño	Ferrol (A Coruña)
Laboratorio Radioquímica y Radiología Ambiental	Universidad de Granada. Departamento de Química Inorgánica	Granada
Dpto. de Ciencias Integradas, Facultad de Ciencias Experimentales	NORM Technology Consulting S.L.	Huelva
Laboratorio de Física de Radiaciones y Medio Ambiente (FRYMA)	Universidad de Huelva. Facultad de Ciencias Experimentales. Departamento de Ciencias Integradas.	Huelva
Laboratorio de medidas de radiactividad ambiental	Enusa-Juzbado	Juzbado (Salamanca)

LABORATORIO	ORGANISMO/EMPRESA	LOCALIDAD
Unitat de Radioquímica Ambiental i Sanitaria (URAIS)	Universitat Rovira i Virgili. Consorci d'Aigües de Tarragona	L' Ampolla (Tarragona)
Laboratorio Radioactividad Ambiental	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Departamento de Física. Edificio de Ciencias Básicas	Las Palmas de Gran Canaria
Departamento de Química y Fisica Aplicadas	Universidad de León. Escuela de Ingeniería Industrial, Informática y Aeroespacial	León
Division de la radioprotection	Service d'Analyses Radiologiques	Luxembourg
Laboratorio del Área de Aplicaciones Isotópicas	CEDEX	Madrid
Laboratorio de Medidas de Protección Radiológica	CIEMAT	Madrid
Laboratorio del Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental de Palomares	CIEMAT	Madrid
Laboratorio Espectrometria de Masas y Aplicaciones Geoquimicas	CIEMAT	Madrid
Unidad de Radiactividad Ambiental y Vigilancia Radiológica (URA y VR)	CIEMAT	Madrid
Laboratorio de Caracterización de Residuos Radiactivos	CIEMAT. Unidad de Residuos de Baja y Media Actividad	Madrid
Laboratorio de Ingeniería Nuclear	Universidad Politécnica de Madrid. ETSI Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Departamento de Hidráulica, Energía y Medio Ambiente	Madrid
Laboratorio 51-03-067	Centro Nacional de Sanidad Ambiental (CNSA). Área de Radioprotección	Majadahonda (Madrid)
Laboratorio de Radiactividad Ambiental	Universidad de Málaga	Málaga
Laboratorio de Medidas Ambientales, SL	MASL	Medina de Pomar (Burgos)
Laboratorio de Radiactividad Ambiental	Universidad de Oviedo	Oviedo

LABORATORIO	ORGANISMO/EMPRESA	LOCALIDAD
Laboratorio de Radiactividad Ambiental (LaboRA)	Universidad de las Islas Baleares. Departamento de Química	Palma de Mallorca
ALS Czech Republic, s.r.o.	ALS	Prague (República Checa)
Laboratorio de Radiactividad y Medio Ambiente	Universidad de Cádiz. CASEM	Puerto Real (Cádiz)
Laboratorio Enusa-Saelices El Chico	Enusa-Saelices El Chico	Saelices el Chico (Salamanca)
Laboratorio LRI-Datación	Universidad de Salamanca. Departamento de Física Fundamental. Edificio de I+D+i.	Salamanca
Laboratorio de Física Médica y Radiactividad Ambiental (FIMERALL-SEGAI)	Universidad de La Laguna. Campus de Ciencias de la Salud, Sección Medicina	San Cristóbal de La Laguna (Santa Cruz de Tenerife)
Drace Geocisa	Drace Geocisa	San Fernando de Henarés (Madrid)
Laboratorio de Análisis de Radiactividad Ambiental	INTA	San Martín de la Vega (Madrid)
Cátedra de Física Médica	Universidad de Cantabria. Facultad de medicina	Santander
Grupo de Investigación de Física Nuclear Aplicada	Universidad de Sevilla. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Departamento de Física Aplicada II	Sevilla
Laboratorio de Radiactividad Ambiental	Universidad Politécnica de Valencia	Valencia
LABAC	Universidad de Zaragoza. Facultad de Ciencias. Departamento Física Teórica - Área Nuclear	Zaragoza