



Universidad Nacional Mayor de
SAN MARCOS
Universidad del Perú. Decana de América



UNSAAC
Universidad Nacional de
San Antonio Abad del Cusco

GUÍA DE CAMPO DE MEDICIÓN DE RADÓN



Evento financiado por

Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC)

Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados

(PROCIENCIA) Concurso E046-2025-01 “Organización de eventos de CTI”

Proyecto:

“Curso Internacional de Radón: Investigación y Aplicaciones para Profesionales del
Ámbito Científico”

Responsable Técnico del Proyecto:

Dr. Oscar Rolando Baltuano Elías

Cusco – Perú, 2025

Elaborado por:

- Jorge Martínez Gastelú - IPEN
- Rocío Arteaga - UNSAAC
- Miguel R. Bonnett Del Álamo - UNSAAC
- Jhann Reyes Morales - UNMSM

Edición y revisión

- Jhann Reyes Morales - UNMSM

Instituciones Organizadoras:

- Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM)
- Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC)

ÍNDICE

Presentación	4
Instrucciones de uso	5
TALLER 01: Exhalación de Radón en Suelos	6
TALLER 02: Determinación de Radón en Aguas	12
TALLER 03: Monitoreo de Radón en Aire	16

PRESENTACIÓN

La presente Guía de Campo forma parte del Curso Internacional de Radón: Investigación y Aplicaciones para Profesionales del Ámbito Científico – Cusco 2025, la cual reúne de manera práctica las instrucciones esenciales para la realización de los tres talleres experimentales:

- Exhalación de radón en suelos
- Determinación de radón en aguas
- Monitoreo de radón en aire

Su propósito es brindar al participante una herramienta sencilla, ordenada y funcional que permita ejecutar adecuadamente las actividades de campo, registrar datos de forma eficiente y comprender el flujo general de trabajo de cada técnica de medición.

Esta guía no reemplaza el material del curso, sino que las complementa para facilitar el trabajo en campo, manteniendo únicamente los pasos, configuraciones y estructuras necesarias para realizar las mediciones y registrar los resultados.

INSTRUCCIONES DE USO

- Lea esta guía antes de iniciar cada práctica.
- Lleve consigo la guía impresa durante el trabajo de campo o en ambiente de medición.
- Siga el orden indicado: objetivo → fundamento → configuración experimental → procedimiento → registro de datos → cálculos → conclusiones.
- Use los formatos de registro incluidos para anotar todos los datos requeridos (coordenadas, horas, condiciones ambientales, lecturas del RAD7, observaciones).
- Cada práctica debe realizarse según las indicaciones del instructor responsable.
- Al finalizar cada sección, complete el espacio de Conclusiones, enfocándose únicamente en los resultados observados durante la medición.
- Asegúrese de manipular correctamente los equipos, siguiendo las recomendaciones de seguridad establecidas.
- En caso de condiciones ambientales adversas o fallas del equipo, comuníquelo inmediatamente al instructor.



EXHALACIÓN DE RADÓN EN SUELOS

OBJETIVO

Determinar la exhalación de radón (Rn-222) en suelos empleando el monitor continuo RAD7.

RESUMEN

La evaluación de la exhalación de radón-222 en suelos permite analizar el flujo de este gas desde el subsuelo hacia la superficie terrestre. Esta determinación contribuye a cuantificar la liberación de radón en un área y volumen específicos, información esencial para estimar su impacto ambiental y los riesgos asociados a la exposición humana. Debido a su carácter radiactivo y su capacidad de acumulación en espacios interiores, el estudio de la exhalación del radón constituye un componente clave en la vigilancia radiológica, la caracterización geológica y la prevención de riesgos sanitarios.

1. INTRODUCCIÓN

La medición de la exhalación de radón-222 (Rn-222) en suelos constituye un procedimiento fundamental para comprender los mecanismos de migración de este gas desde el subsuelo hacia la superficie. El radón, producto del decaimiento del radio-226 en la serie del uranio, puede infiltrarse en edificaciones y acumularse en ambientes interiores, generando un riesgo significativo para la salud humana debido a su naturaleza carcinogénica.

La tasa de exhalación del Rn-222 depende de factores geológicos y ambientales como:

- Composición mineralógica del suelo,
- Porosidad y permeabilidad,
- Concentración de radionúclidos precursores (U y Ra),
- Humedad, presión atmosférica y temperatura.

a) Medición activa (tiempo real):

Realizada mediante detectores como el RAD7, que utiliza espectrometría alfa para registrar concentraciones instantáneas de Rn-222 . Esta técnica requiere un tiempo mínimo de medición de una hora y se apoya en un acumulador que concentra el gas exhalado desde el suelo.

b) Medición pasiva (integrada):

Realizada mediante detectores de trazas nucleares (LR-115 o CR-39), expuestos durante periodos prolongados (10–15 días). Tras su revelado químico, se determina la concentración promedio del gas mediante el conteo de huellas alfa. Esta técnica resulta particularmente útil para capturar variaciones temporales del radón.

Este taller tiene como finalidad caracterizar la exhalación de radón-222 en un área seleccionada, empleando mediciones activas y pasivas para obtener resultados robustos que permitan:

- Establecer tasas de liberación del gas en condiciones naturales
- Correlacionar los resultados con las propiedades del suelo
- Contribuir a la evaluación de riesgos por exposición a radón

La información obtenida servirá como base para estudios geológicos, monitoreo ambiental, seguridad radiológica y el diseño de estrategias de mitigación en zonas con potencial elevado de acumulación de radón.

2. CONFIGURACIÓN EXPERIMENTAL

Para la medición de la exhalación de radón-222 en suelos se empleó un acumulador de acero inoxidable instalado parcialmente en el terreno, generando un volumen cerrado donde el gas emanado puede concentrarse. En la tapa del acumulador se fijaron los detectores LR-115 y CR-39 para las mediciones pasivas, mientras que para el método activo se acoplaron las mangueras del monitor RAD7. La instalación y el sellado adecuado del dispositivo permiten asegurar que el radón provenga exclusivamente del suelo, garantizando una medición representativa y controlada.

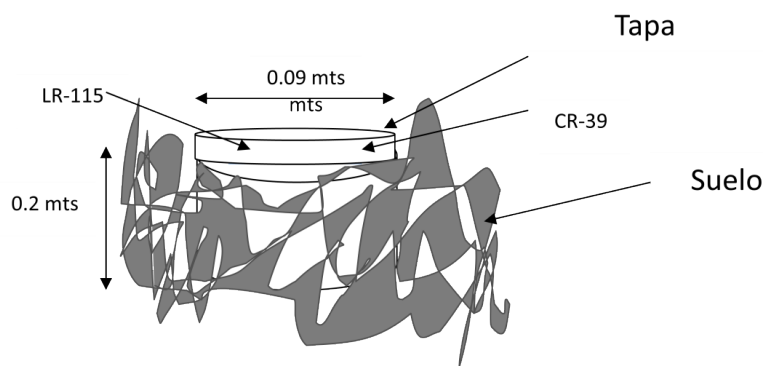


Figura 1. Esquema del acumulador de acero inoxidable utilizado para medir la exhalación de radón en suelos. En la tapa se fijan los detectores LR-115 y CR-39, quedando expuestos al radón acumulado dentro del volumen cerrado del dispositivo.



Figura 2. Preparación del área de muestreo y colocación del acumulador en el orificio excavado. El dispositivo se ajusta al suelo para permitir la acumulación del radón emanado desde la superficie durante la medición.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Equipos

- Monitores de radón continuo RAD7
- Monitores de radón continuo SARAD Scout Home

- Microscopio
- Sistema de Baño María termostático para el revelado de películas o resinas

3.2 Materiales

- Detectores de trazas nucleares LR-115 o CR-39.
- Acumulador de acero inoxidable.
- Cámaras de difusión para la exposición de los detectores pasivos.
- Portaobjetos de vidrio para el montaje de las películas reveladas.
- Soluciones de NaOH o KOH para el revelado químico de las películas.
- Vaso de precipitados (beaker) de vidrio.
- Agua destilada.
- Desecador para el secado controlado de las películas nucleares.
- Computadora con software de análisis para el procesamiento de datos.

4. METODOLOGÍA DE TRABAJO Y PROCEDIMIENTO

La medición de la exhalación de radón-222 en suelos se desarrolla siguiendo las etapas descritas a continuación:

4.1 Etapa 1: Selección y Georreferenciación de Áreas de Estudio

Se seleccionan entre **2 y 3 zonas de muestreo**, de manera aleatoria o estratégica según las condiciones del terreno. Para cada punto se registra:

- Coordenadas geográficas mediante GPS.
- Fecha y hora de inicio de la medición.
- Condiciones ambientales y observaciones relevantes.

Esta información permite asegurar la trazabilidad y comparabilidad de los datos obtenidos.

Registro de Datos Iniciales

	Coordenada	Hora Inicio	Hora Final	Observaciones
Área 1				
Área 2				
Área 3				

4.2 Etapa 2: Instalación del Sistema de Medición

a) Preparación del sitio

Se excava un orificio con un diámetro equivalente al del acumulador y una profundidad aproximada de 5–10 cm, garantizando un adecuado contacto entre la base del dispositivo y el suelo.

b) Colocación del acumulador

El acumulador de acero inoxidable se inserta en el orificio. Dependiendo del método a emplear, se utiliza:

- Monitor RAD7 para medición activa
- Detectores LR-115 o CR-39 fijados en la tapa para medición pasiva

c) Conexión del sistema (método activo)

Las mangueras del acumulador se acoplan al monitor RAD7. Se abren las válvulas para permitir la circulación del gas hacia el detector, asegurando un sistema hermético que impida la entrada de aire exterior. Las imágenes muestran el proceso de instalación:



Figura 3. (a) Conexión del acumulador de acero inoxidable al monitor RAD7 mediante mangueras de entrada y salida de aire. Este sistema permite el flujo controlado del radón acumulado hacia el detector para la medición activa en tiempo real.

4.3 Etapa 3: Tiempo de Medición

a) Medición activa (RAD7):

- Duración mínima: **1 hora**
- El registro se realiza por intervalos de 15 minutos (0–15, 15–30, 30–45, 45–60 min), permitiendo observar la estabilización del sistema y la evolución de la concentración de radón.

	0-15 min	15-30 min	30-45 min	45-60 min
Área 1				
Área 2				
Área 3				

b) Medición pasiva (LR-115/CR-39):

- Tiempo de exposición: **10–15 días**
- Se registran la fecha y hora de instalación y retiro de los detectores.
- Al finalizar el periodo, los detectores son recuperados y almacenados adecuadamente para su procesamiento.

4.4 Etapa 4: Procesamiento de Muestras (método pasivo)

a) Revelado químico de las películas nucleares:

Las películas LR-115 o CR-39 se someten a un proceso de ataque químico utilizando:

- Solución de NaOH 2.5N
- Temperatura: 90 °C
- Tiempo: 90 minutos

Posteriormente, se enjuagan con agua destilada y se dejan secar en un ambiente controlado.

b) Conteo de trazas:

Una vez reveladas, las películas son observadas bajo microscopio óptico. Se contabilizan las huellas de desintegración alfa producidas por el radón y sus descendientes, obteniendo un valor relacionado directamente con la concentración de radón acumulada.

4.5 Análisis de datos y cálculo de la exhalación de radón:

Los datos obtenidos del RAD7 o del conteo de trazas se procesan para determinar la **tasa de exhalación de radón**, empleando el modelo matemático indicado en la guía. El análisis permite estimar la liberación de Rn-222 desde el suelo hacia la atmósfera, expresada en $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, así como evaluar la variabilidad entre áreas de estudio.

Fórmula de Cálculo de la Exhalación de Radón

La tasa de exhalación (E_{Rn}) se determina mediante la siguiente ecuación:

$$E_{Rn} = \frac{C_{Rn} T V \lambda_{Rn}}{A \left[T + \frac{1}{\lambda_{Rn}} (e^{-\lambda_{Rn} T} - 1) \right]}$$

Donde:

- C_{Rn} : Concentración de radón medida en el intervalo ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)
- T : Tiempo de medición en el intervalo (segundos)
- V : Volumen del acumulador (m^3)
- A : Área de contacto entre el acumulador y el suelo (m^2)
- λ : Constante de decaimiento del Rn-222 $\approx 0.181 \text{ d}^{-1}$

5. CONCLUSIONES

Explique los resultados y la observación obtenidos en todo el experimento.

- Al finalizar el procedimiento, se espera que el estudiante pueda estimar la tasa de exhalación de radón-222 (Rn-222) del suelo utilizando tanto métodos activos como pasivos, comprendiendo las ventajas y limitaciones de cada técnica.
- Se podría observar que la exhalación de radón varía entre las áreas seleccionadas, lo que permitiría relacionar estas diferencias con factores geológicos, como la porosidad, el tipo de suelo, la humedad o la presencia de radionúclidos precursores.
- El uso del acumulador debería permitir generar un volumen cerrado apropiado para la acumulación del gas, facilitando la estabilización del sistema durante la medición.
- Con el método activo, se espera que la concentración medida muestre una tendencia a estabilizarse durante los primeros intervalos de registro (generalmente entre 45 y 60 min).
- Con el método pasivo, se obtienen trazas en los detectores LR-115 o CR-39 después del revelado químico, lo que permite cuantificar la actividad acumulada durante la exposición.

- Los resultados permiten al estudiante comprender la importancia de la exhalación del radón como parámetro relevante en la evaluación del riesgo radiológico y en la posible acumulación del gas en ambientes interiores.
- El taller sirve como base para que el estudiante identifique condiciones que aumentan o disminuyen la exhalación del radón y considere posibles estrategias de mitigación, como ventilación o aislamiento del suelo en entornos edificados.
- Finalmente, se recomienda repetir mediciones en distintas condiciones ambientales, ya que factores como humedad, temperatura y presión influyen en la tasa de exhalación observada.

BIBLIOGRAFÍA

1. Martínez Gastelu J. Curso teórico-práctico sobre radón-222 en el medio ambiente. CSEN–IPEN; 2017.
2. National Institute of Standards and Technology (NIST). Standard Reference Material 4973: Radon-222 Emanation Standard. Maryland (USA): NIST; 2005.
3. Eurachem, Eurolab España. Cuantificación de las incertidumbres de las medidas analíticas. 2012.
4. Fernández Cellini R. Estudios de minerales radiactivos. Córdoba (España); 1955.
5. World Health Organization (WHO). Guidelines for Drinking-Water Quality. 4th ed. Geneva: WHO Press; 2011.
6. International Atomic Energy Agency (IAEA). International Basic Safety Standards. Safety Series No. 115. Vienna: IAEA; 1997.
7. Ghosh D, Deb A, Sengupta R. Anomalous radon emission as precursor of earthquake. *J Appl Geophys*. 2009;69:67–81.
8. Asada T. Earthquake Prediction Study Japan. Proceedings of the Ninth World Conference on Earthquake Engineering; 1988 Aug 2–9; Tokyo–Kyoto, Japan. Vol II.
9. Einarsson P, Theodorsson P, Jónsson G, Guðjónsson G. Radon monitoring programs in the South Iceland Seismic Zone 1977–2006. Science Institute, University of Iceland; Reykjavik; 2006.
10. Pispak P, Dürrast H, Bhongsuwan T. Soil-gas radon as a possible earthquake precursor: a case study from the Khlong Marui fault zone, Southern Thailand. *Kasetsart J Nat Sci*. 2010;44:1079–93.
11. Zmazek B, Zivčić M, Todorovski L, Džeroski S, Vaupotič J, Kobal I. Radon anomalies in soil gas caused by seismic activity. *Acta Geotech Slov*. 2004.
12. Mohammed FM, Mahdi KH, Al-Jobori SM, Enzi BK. Determination of indoor radon concentration in some buildings at Tikrit University using CR-39 detector. *Int J Sci Res*. 2016;5(1).
13. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2016 Report. United Nations; 2016.
14. International Atomic Energy Agency (IAEA). Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation. Specific Safety Guide No. SSG-32. Vienna: IAEA; 2015.
15. Brenner DJ. Protection against radon-222 at home and at work. *ICRP Publication 65. Ann ICRP*. 1994;23(2).
16. Tirmarche M, Harrison JD, Laurier D, Paquet F, Blanchardon E, Marsh JW. ICRP Publication 115: Lung cancer risk from radon and progeny and statement on radon. *Ann ICRP*. 2010;40(1):1–64.
17. Hedemann J. ICRP Publication 82 on protection against prolonged exposure—application in accident situations. STUK-A-195. Helsinki: Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK); 2003.



DETERMINACIÓN DE RADÓN EN AGUAS

OBJETIVO

Determinar la concentración de radón (Rn-222) en agua utilizando el monitor continuo RAD7.

RESUMEN

La determinación de radón-222 en agua permite cuantificar su concentración en distintos tipos de fuentes hídricas, tales como agua potable, subterránea, de pozos, ríos y lagunas. Este análisis es esencial para evaluar la contribución del agua a la exposición radiológica de la población, así como su liberación al aire durante actividades domésticas que puedan incrementar la concentración de radón en interiores. La medición sistemática del radón acuoso constituye un componente clave en la vigilancia radiológica, la evaluación ambiental y la protección de la salud pública.

1. INTRODUCCIÓN

Cuando el agua entra en contacto con materiales geológicos ricos en uranio y radio, el radón-222 se disuelve en ella debido a su naturaleza gaseosa y su capacidad de difundirse a través de poros minerales. Una vez transportado por el agua, el radón puede transferirse al aire durante actividades como duchas, burbujeo u otro proceso de turbulencia, siendo una fuente de exposición inhalatoria.

La medición de radón en agua es fundamental para evaluar su impacto en la salud pública y el medio ambiente. Dado que sus niveles varían según factores geológicos y condiciones locales, se emplean técnicas como detectores pasivos (LR-115, CR-39) o monitores activos (RAD-7) para cuantificar su concentración. Estos métodos permiten identificar fuentes de radón en agua, estimar dosis de exposición y definir medidas de mitigación cuando se superan niveles recomendados.

2. CONFIGURACIÓN EXPERIMENTAL

Para la medición de radón-222 en agua se emplea un sistema de intercambio aire-agua que permite transferir el radón disuelto hacia el monitor RAD7. La muestra se introduce en un recipiente hermético conectado al equipo mediante mangueras y válvulas de control, en un circuito cerrado. Para la medición pasiva, se utiliza un contenedor sellado con detectores LR-115 o CR-39 fijados en la tapa interior, permitiendo la acumulación del radón liberado desde el agua durante el tiempo de exposición.

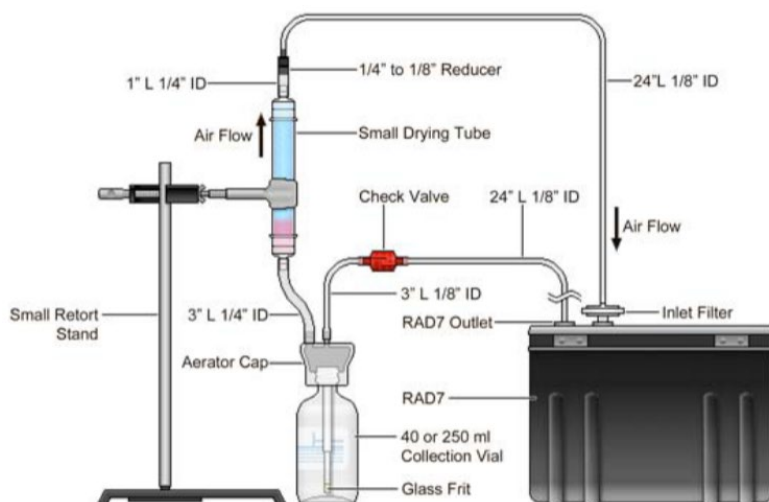


Figura 1. Sistema de medición para radón en agua utilizando el RAD7 y un contenedor hermético de intercambio aire-agua.

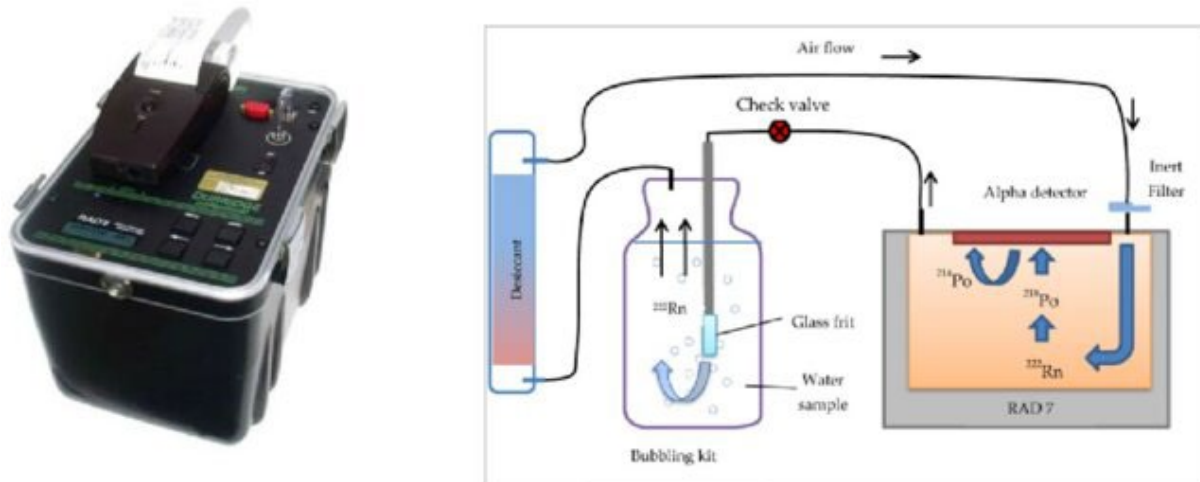


Figura 2. Esquema del sistema de medición de radón en agua mediante el método de burbujeo y el monitor RAD7, donde se observa el circuito cerrado aire-agua, la válvula de retención y el detector alfa del equipo. Imagen adaptada de Hassan y Almatani (2022).

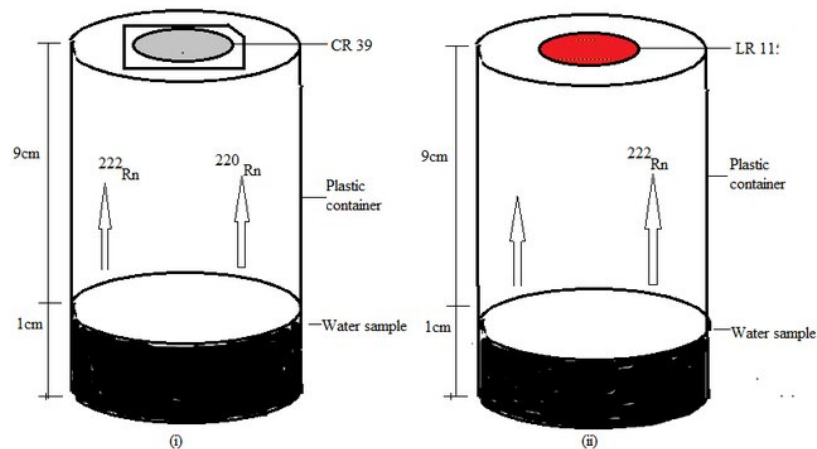


Figura 3. Esquema del sistema utilizado para medir las concentraciones de radón-222 y torón-220 en agua, empleando dos recipientes plásticos herméticos: (i) con detector CR-39 y (ii) con detector LR-115, ubicados a 9 cm por encima de la muestra de agua. Imagen adaptada de Rabiú et al. (2017)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Equipos

- Monitores de radón continuo RAD7.
- Microscopio óptico.
- Baño María termostático para el revelado de películas.

3.2 Materiales

- Detectores de trazas nucleares LR-115 o CR-39.
- Computadora con software de cálculo asociado al RAD7.
- Contenedor de acero inoxidable (acumulador de radón) para medición en agua.
- Cámaras de difusión para exposición de detectores pasivos.
- Portaobjetos de vidrio para las películas reveladas.
- Solución de NaOH o KOH para el revelado de detectores.

- Beaker de vidrio.
- Agua destilada.
- Desecador para secado de películas.

4. METODOLOGÍA DE TRABAJO Y PROCEDIMIENTO

4.1 Etapa 1: Muestreo y preparación

- Recolectar 250 mL de agua y verterla en el recipiente de medición (Figura 1).
- Ensamblar el sistema aire-agua según el esquema experimental.
- Registrar coordenadas, fecha y hora de inicio.

Fórmula empírica para el análisis

$$C_a = \frac{C_R \times \left(\frac{V_L}{V_a} + 0.105 + 0.405 e^{-0.0502 T} \right)}{1000 \times (1 - E_f)}$$

Donde:

- C_a : concentración de radón en agua (Bq/L)
- C_R : concentración medida por el RAD7 (Bq/m³)
- V_L : volumen libre en el contenedor (mL)
- V_a : volumen de agua muestreada (mL)
- T : temperatura ambiental (°C)
- E_f : eficiencia del sistema

4.2 Etapa 2: Configuración de detectores pasivos

- Se utiliza un recipiente hermético donde los detectores LR-115 o CR-39 se fijan al interior de la tapa.
- Registrar volumen de agua y volumen vacío del recipiente (Figura 3).

4.3 Etapa 3: Tiempo de Medición

a) Medición activa (RAD7):

- La medición se realiza durante un período mínimo de 1 a 3 horas, registrando la fecha y hora de inicio y finalización.

	Volumen de agua	Volumen de aire	Hora inicio	Hora final	OBS
Muestra 1					
Muestra 2					
Muestra 3					

b) Medición pasiva (LR-115/CR-39):

- Las películas LR-115 o CR-39 se revelan en una solución de NaOH (hidróxido de sodio).
- Posteriormente, se secan y se examinan bajo microscopio para contar las huellas nucleares generadas por la desintegración del radón.
- Con los datos obtenidos, se realizan los cálculos de concentración.

4.4 Etapa 4: Procesamiento de detectores pasivos

a) Revelado químico de las películas nucleares:

Las películas LR-115 o CR-39 se someten a un proceso de ataque químico utilizando:

- Solución de NaOH 2.5N
- Temperatura: 90 °C
- Tiempo: 90 minutos

Posteriormente, se enjuagan con agua destilada y se dejan secar en un ambiente controlado.

b) Conteo de trazas:

Una vez reveladas, las películas son observadas bajo microscopio óptico. Se contabilizan las huellas de desintegración alfa producidas por el radón y sus descendientes, obteniendo un valor relacionado directamente con la concentración de radón acumulada.

4.5 Análisis de datos:

- La concentración de radón puede calcularse mediante el software del RAD7 o manualmente con la ecuación mostrada.
- Los resultados permiten identificar la variabilidad entre muestras y evaluar la presencia de radón en el recurso hídrico analizado.

5. CONCLUSIONES

Explique los resultados y la observación obtenidos en todo el experimento.

- Al finalizar la práctica, el estudiante podrá determinar la concentración de radón en agua mediante métodos activos y pasivos, comprendiendo las diferencias entre ambos.
- Se espera observar variaciones entre muestras debido a factores como temperatura, turbulencia, características hidrogeológicas y composición del subsuelo.
- El sistema aire-agua del RAD7 permite una transferencia eficiente del radón hacia el detector, facilitando mediciones reproducibles.
- El uso de detectores pasivos permite obtener concentraciones promedio de radón para exposiciones prolongadas.
- Los resultados son útiles para comprender la contribución del radón disuelto a la exposición radiológica en diversos ambientes, sirviendo como base para identificar aguas con mayor potencial de emisión de radón y evaluar posibles medidas de mitigación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Oliveira TC, Monteiro RPG, Moreira RM, Oliveira AH. Determination of radon in water and brine samples using liquid scintillation spectrometry.
2. Yousef HA, El-Farrash AH, Magdy A. Radon levels in surface water samples from Manzala Lake, East Nile Delta, Egypt, using nuclear track detectors. J Nucl Part Phys. 2017.
3. Moreira FH, Alberti HLC, Taddei MHT, Silva NC, Fleming PM. Comparative study of methods for determining radon-222 in spring waters in the Poços de Caldas Plateau, Brazil. Rev Águas Subterrâneas. 1997.
4. Elzain AAA. A study of radon-222 concentration in selected water samples in Sudan. Adv Appl Sci Res. 2014.
5. Nikolopoulos D, Vogiannis E, Louizi A. Radon concentration of waters in Greece and Cyprus. Geophys Res Abstr. 2009;11.



MONITOREO DE RADÓN EN AIRE

OBJETIVO

Determinar la concentración de radón-222 (Rn-222) en el aire utilizando el monitor continuo RAD7 y detectores pasivos de trazas nucleares.

RESUMEN

La determinación de la concentración de radón-222 en aire permite evaluar la presencia de este gas radiactivo en ambientes interiores y exteriores. Los resultados son fundamentales para verificar el cumplimiento del Reglamento de Seguridad Radiológica y para estimar el riesgo potencial para la salud de las personas expuestas, especialmente en recintos cerrados con ventilación limitada. En el presente taller se emplean mediciones activas con el monitor RAD7 y mediciones pasivas con detectores LR-115 o CR-39, con el fin de que el estudiante conozca y compare ambas metodologías de monitoreo de radón en aire.

1. INTRODUCCIÓN

El radón-222 es un gas noble radiactivo, incoloro e inodoro, producto del decaimiento del radio-226 en la cadena del uranio. Debido a su movilidad, puede migrar desde el subsuelo hacia la superficie e infiltrarse en edificaciones, donde puede acumularse en espacios interiores poco ventilados. La inhalación prolongada de radón y de sus descendientes de vida corta se asocia a un incremento del riesgo de cáncer de pulmón, motivo por el cual numerosos organismos internacionales recomiendan límites de referencia para su concentración en el aire interior.

Para cuantificar la concentración de Rn-222 en aire se emplean dos enfoques principales:

- **Medición activa (tiempo real):** Utilizando equipos como el RAD7, que aplican espectrometría alfa para registrar concentraciones instantáneas de radón. El equipo realiza ciclos de medición de 15 minutos, siendo recomendable un tiempo mínimo total de 1 hora.
- **Medición pasiva (integrada):** Mediante detectores sólidos de trazas nucleares (LR-115 o CR-39) colocados en cámaras de difusión durante periodos prolongados (45–60 días). Tras el revelado químico, se determina la concentración promedio de radón a partir del conteo de huellas alfa.

Este taller tiene como propósitos que el estudiante pueda:

- Establecer la concentración de radón en el aire en distintos puntos de medición.
- Relacionar los resultados con las condiciones de ventilación y características del ambiente.
- Contribuir a la evaluación de riesgos por exposición a radón.

2. CONFIGURACIÓN EXPERIMENTAL

Para la medición activa, el monitor RAD7 se instala en el ambiente seleccionado, conectado a su filtro de entrada y configurado en el modo de operación correspondiente (por ejemplo, “Sniff” o “Normal”). El equipo toma aire del entorno mediante su bomba interna y registra la concentración de Rn-222 en intervalos de 15 minutos.



Figura 1. Esquema del acumulador de acero inoxidable utilizado para medir la exhalación de radón en suelos. En la tapa se fijan los detectores LR-115 y CR-39, quedando expuestos al radón acumulado dentro del volumen cerrado del dispositivo.

Para la medición pasiva, se colocan detectores LR-115 o CR-39 dentro de cámaras de difusión, ubicándolos en puntos representativos del ambiente (altura de respiración, lejos de corrientes de aire directas). Los detectores permanecen expuestos durante 45–60 días, tras lo cual se retiran para su procesamiento en el laboratorio.



Figura 2. Preparación del área de muestreo y colocación del acumulador en el orificio excavado. El dispositivo se ajusta al suelo para permitir la acumulación del radón emanado desde la superficie durante la medición.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Equipos

- Monitores de radón continuo RAD7
- Monitores de radón continuo SARAD Scout Home
- Microscopio
- Sistema de Baño María termorregulado para el revelado de películas o resinas

3.2 Materiales

- Detectores de trazas nucleares LR-115 o CR-39.
- Acumulador de acero inoxidable.
- Cámaras de difusión para la exposición de los detectores pasivos.
- Portaobjetos de vidrio para el montaje de las películas reveladas.

- Soluciones de NaOH o KOH para el revelado químico de las películas.
- Vaso de precipitados (beaker) de vidrio.
- Agua destilada.
- Desecador para el secado controlado de las películas nucleares.
- Computadora con software de análisis para el procesamiento de datos.

4. METODOLOGÍA DE TRABAJO Y PROCEDIMIENTO

La medición de la exhalación de radón-222 en suelos se desarrolla siguiendo las etapas descritas a continuación:

4.1 Etapa 1: Selección y Georreferenciación de Áreas de Estudio

Se seleccionan entre **2 y 3 zonas de muestreo**, de manera aleatoria o estratégica según las condiciones del terreno. Para cada punto se registra:

- Coordenadas geográficas mediante GPS.
- Fecha y hora de inicio de la medición.
- Condiciones ambientales y observaciones relevantes.

Esta información permite asegurar la trazabilidad y comparabilidad de los datos obtenidos.

Registro de Datos Iniciales

	Coordenada	Hora Inicio	Hora Final	Observaciones
Área 1				
Área 2				
Área 3				

4.2 Etapa 2: Instalación del Sistema de Medición

- Encender el monitor y verificar el estado del filtro y las conexiones.
- Configurar el modo de operación (“Sniff” o “Normal”) y el tiempo de ciclo (15 min).
- Ubicar el equipo en el ambiente de estudio, a una altura aproximada de 1–1.5 m sobre el piso, lejos de paredes y fuentes de calor.
- Iniciar la medición y verificar que se registren los primeros datos en la pantalla.

4.3 Etapa 3: Tiempo de Medición

a) Medición activa (RAD7):

- Duración mínima recomendada: **1 hora**, dividida en cuatro intervalos de 15 minutos.
Hora de registro:

	0 – 15 min	15 – 30 min	30 – 45 min	45 – 60 min	Observaciones
Área 1					
Área 2					
Área 3					

b) Medición pasiva (LR-115/CR-39)

- Periodo de exposición: **45–60 días**.
- Registrar fecha y hora de instalación y de retiro de cada detector.
- Guardar los detectores en sobres identificados hasta su revelado.

4.4 Etapa 4: Procesamiento de Muestras (método pasivo)

a) Revelado químico de las películas

Las películas LR-115 o CR-39 se someten a un proceso de ataque químico utilizando:

- Preparar solución de NaOH 2.5 N.
- Colocar las películas LR-115 o CR-39 en el Baño María a 90 °C durante 90 minutos.
- Enjuagar con abundante agua destilada.
- Secar las películas en un desecador o en ambiente controlado.

b) Conteo de trazas

- Observar cada detector bajo microscopio óptico.
- Se contabilizan las huellas de desintegración alfa producidas por el radón y sus descendientes en un área determinada (por ejemplo, varios campos de visión), calculando la densidad de trazas ($\text{trazas} \cdot \text{cm}^{-2}$), obteniendo un valor relacionado directamente con la concentración de radón acumulada.

4.5 Análisis de datos y cálculo de la concentración de radón

- Con los datos del RAD7, se deberá considerar al menos **cuatro lecturas consecutivas** y calcular la **concentración promedio de Rn-222** en $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ para cada sitio.
- En el caso de detectores pasivos, se utilizará la densidad de trazas y el factor de calibración proporcionado por el laboratorio o el fabricante para obtener la concentración promedio de radón durante el periodo de exposición.
- Se recomienda comparar los valores obtenidos con los niveles de referencia establecidos por la normativa de seguridad radiológica vigente.

5. CONCLUSIONES

Explique los resultados y la observación obtenidos en todo el experimento. Se espera:

- **Estimar la concentración de radón-222 en el aire** en distintos ambientes, empleando mediciones activas y pasivas.
- **Observar que las concentraciones de radón podrían variar** entre los sitios analizados, en función de la ventilación, tipo de construcción y condiciones ambientales.
- **Reconocer que valores elevados de radón en ambientes poco ventilados podrían representar un riesgo radiológico**, especialmente en exposiciones prolongadas.
- **Relacionar los resultados obtenidos con los límites de referencia recomendados** por organismos nacionales e internacionales, identificando cuándo podrían ser necesarias medidas de mitigación (mejora de ventilación, sellado de grietas, etc.).

BIBLIOGRAFÍA

1. Martínez Gastelu J. Curso teórico-práctico sobre radón-222 en el medio ambiente. CSEN–IPEN; Lima, Perú; 2017.
2. Amasi AI, Mtei KM, Dinh CN, Jodlowski P. Radon mass exhalation rates of selected building materials in Tanzania. *J Environ Earth Sci.* 2015;5(21).
3. Sathish LA, Nagaraja K, Ramanna HC, Nagesh V, Sundareshan S. Concentration of radon, thoron and their progeny levels in different types of floorings, walls, rooms and building materials. *Iran J Radiat Res.* 2009;7(1):1–9.
4. Brodhead B. Measuring radon and thoron emanation from concrete and granite with continuous radon monitors and EPERM. *Proc Am Assoc Radon Sci Technol Int Symp*; Las Vegas, 2008.