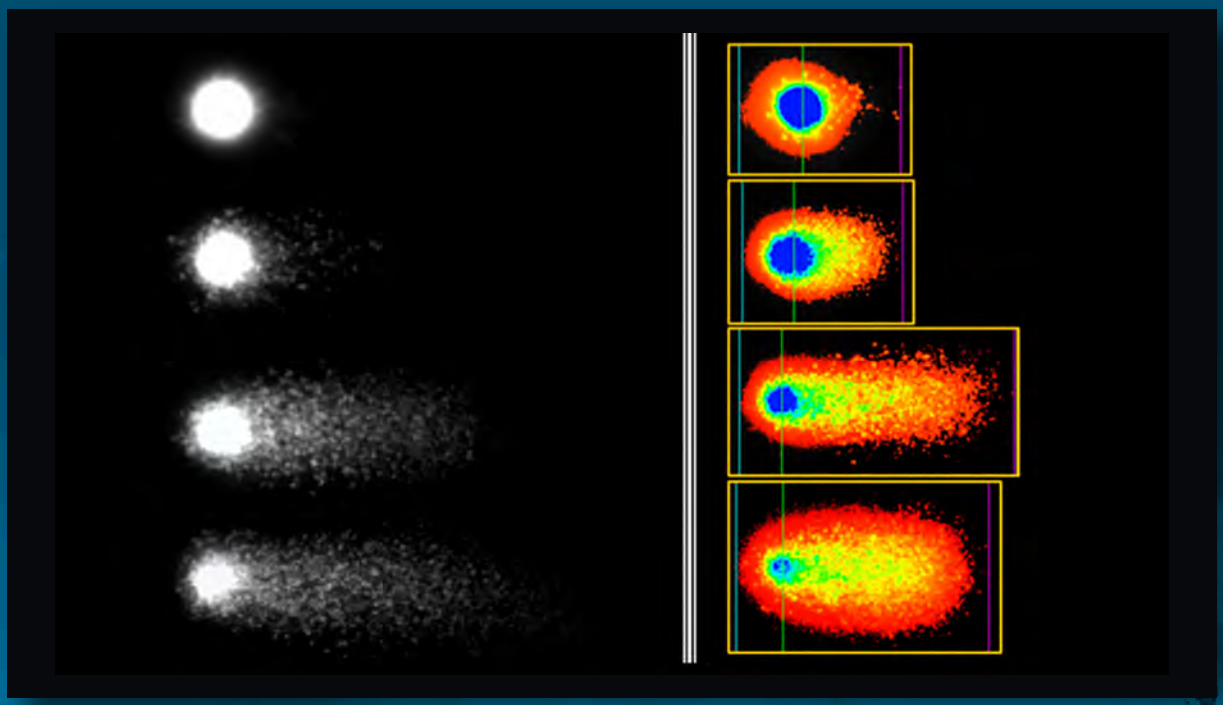
REVISTA

ISSN 1684-1662 (Impresa)
ISSN 2225-2029 (En linea)

Informe Científico Tecnológico

Vol.15 N°1 Ene-Jun, 2015



INSTITUTO PERUANO DE ENERGÍA NUCLEAR

Informe Científico Tecnológico

Volumen 15, N° 1, enero-junio 2015

ISSN 1684-1662 (Versión impresa)
ISSN 2225-2029 (Versión electrónica)

INSTITUTO PERUANO DE ENERGÍA NUCLEAR – IPEN

Presidenta: Susana Margarita Petrick Casagrande

Director Ejecutivo: Jim Orlando Carrera Yalan

Comité Editor:

Juan Agapito Panta
Instituto Peruano de Energía Nuclear

Susana Gonzáles Villalobos
Instituto Peruano de Energía Nuclear

Antonio Prado Cuba
Instituto Peruano de Energía Nuclear

Edith López Moreno
Instituto Peruano de Energía Nuclear

Consejo Consultivo:

Pablo Cristini
Centro Atómico Ezeiza, Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina

Jorge Rodríguez Bailón
Universidad Peruana Cayetano Heredia, Perú

Gonzalo Walwyn Salas
Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones, Cuba

Ana Cristina de Melo Ferreira
Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Brasil

Susana Petrick Casagrande
Instituto Peruano de Energía Nuclear, Perú

Julio Santiago Contreras
Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú

Aurelio Arbildo López
Universidad de Lima, Perú

Betty Millán
Museo de Historia Natural, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú

Armano Hung
Universidad Peruana Cayetano Heredia, Perú

Manuel Castro Vicente
Instituto Peruano de Energía Nuclear, Perú

Yuri Ravello Ratzenberg
Instituto Peruano de Energía Nuclear, Perú

Marco Espinoza Zevallos
Instituto Peruano de Energía Nuclear, Perú

Cecilia Chang Ching
Asociación Civil Impacta Salud y Educación, Perú

Guido Arroyo Pauca
Sesuveca del Perú, Perú

Gerardo Lázaro Moreyra
Instituto Peruano de Energía Nuclear, Perú

Germán Mendoza Pérez
Instituto Peruano de Energía Nuclear, Perú

ISSN 1684-1662 (Versión impresa)
ISSN 2225-2029 (Versión electrónica)

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú Nº 2016-06445

Editado por:
Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN)
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú
Lima, diciembre 2016

Editorial

Revista Informe Científico Tecnológico un medio para la difusión científica

El Informe Científico Tecnológico (Inf. Cient. Tec.) del IPEN es una publicación periódica, especializada en temas de Ciencia, Tecnología e Innovación, que se publica desde el año 1998 como un medio de difusión de la producción científica institucional, cumpliendo un importante rol de soporte en la gestión del conocimiento para la comunidad científica nacional e internacional.

En los últimos años el Inf. Cient. Tec. se ha editado anualmente y a partir de este número tendrá edición semestral, a fin de cumplir con los criterios de las publicaciones admisibles en la colección Scientific Electronic Library Online, SciELO Perú.

El IPEN como entidad dedicada a impulsar y difundir la ciencia, la tecnología y el conocimiento nucleares, para el desarrollo nacional presenta en esta nueva edición del ICT desarrollos importantes relacionados con Medicina Nuclear, Biología Molecular, Dosimetría Biológica, Geología del Uranio, Mediciones Radiométricas y Dosimetría Ambiental, entre otros.

Uno de los objetivos en el área de Salud Humana, específicamente en Medicina Nuclear, es la mejora en la eficacia y la calidad en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades aplicando tecnologías de punta y nuevos radiofármacos; habiéndose inaugurado en enero del 2015 el Centro de Producción de Radiofármacos – Ciclotrón, en modernas instalaciones ubicadas en el Hospital Luis Negreiros Vega de EsSalud cuya operación estuvo a cargo del IPEN en virtud de un convenio con EsSalud que permitió su puesta en funcionamiento para la producción de radiofármacos utilizados para la detección y control del cáncer. Este trabajo de colaboración y transferencia tecnológica entre entidades públicas tiene un enorme impacto en la sociedad y nos motiva a continuar con la tarea de impulsar el desarrollo nacional en el ámbito de nuestras competencias.

La información presentada en este volumen confirma que el Yodo-131 sigue siendo un radioisótopo vital en el manejo de pacientes con cáncer diferenciado de tiroides; y del mismo modo presentamos los resultados de los estudios sobre la relación dosis–efecto, observada en células mononucleares de sangre periférica irradiadas para evidenciar la cinética del efecto de la dosis en células vivas.

Con una población de aproximadamente 3 millones 800 mil alpacas, que representa el 87 % de la población mundial de estos camélidos, el Perú lidera la producción de fibra de alpaca superando las 4,5 toneladas por año; por ello en las últimas décadas se vienen desarrollando estudios conducentes a la mejora de la calidad de la fibra y la mejora de su potencial económico. En los laboratorios de biología molecular del IPEN se realizan los estudios para la identificación de los marcadores genéticos moleculares en alpacas Huacaya del departamento de Huancavelica.

En el ámbito geológico se aborda el análisis y tratamiento de los resultados de los estudios sobre tenor de uranio, obtenidos por el método de espectrometría gamma en rocas intrusivas, los que muestran una buena correlación entre el uranio y el torio

determinándose que el Grupo Mitu, en el sector del granito de San Ramón, corresponde a roca fuente de uranio.

El IPEN participa en las misiones científicas a la Antártida –ANTAR–, para determinar los niveles de radiactividad natural y artificial en la Estación Antártica Machu Picchu. Los valores de dosis ambiental se encuentran muy por debajo de las dosis reportadas en el territorio peruano debido a la ubicación geográfica de la Estación.

En las actividades de desarrollo tecnológico se ha trabajado en una red inalámbrica de bajo costo, para el registro automático de los parámetros de temperatura y humedad ambiental de utilidad en los laboratorios, el prototipo desarrollado en el IPEN cuenta con un sensor que mide de manera automática ambos parámetros con alta precisión y los datos pueden ser trasmitidos en tiempo real almacenados.

Los trabajos que presentamos muestran el nivel de los profesionales y técnicos que trabajan en el IPEN, del compromiso institucional con el desarrollo del Perú y de la necesidad de continuar formando recursos humanos para la ciencia y tecnología nuclear del Perú.

Susana Petrick Casagrande
Presidenta del IPEN

Los editores señalan explícitamente que el contenido, método y resultados expuestos en los artículos son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Los artículos originales, notas técnicas, casos estudio y revisiones publicados en el Informe Científico Tecnológico son indizadas en el **INIS Database del International Atomic Energy Agency.**

Carátula: Unidad de Imagen Institucional

Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN)

Telefax 2252459
Página Web: http://www.ipen.gob.pe
E-mail: postmaster@ipen.gob.pe

Impreso en Lima - Perú

Diciembre 2016

Informe Científico Tecnológico. Volumen 15, N° 1, enero-junio (2015) por Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

Inf. Cient. Tec. Volumen 15, N° 1, enero-junio 2015

Contenido

Pág.

Construcción de curvas dosis-efecto por irradiación de células mononucleares de sangre periférica analizadas con el ensayo cometa alcalino **3**
Lenin Rueda, Jaime Rosales, Kety León, Marco Espinoza

Identificación y validación de marcadores tipo SNPs en genes KRT33A (Keratine 33A) y FGF5 (Fibroblast Grown Factor 5) **9**
William Salas, Diego Veliz, Irene Delgado Flor, Jorge Rodríguez, José Espinoza

Características clínicas de pacientes con cáncer diferenciado de tiroides tratados con yodo radiactivo: Reporte de casos con riesgo intermedio y alto de recurrencia **13**
Rosanna Morales, Kattya Pimentel, Karla Pacci, Roque Cano, José Gutiérrez, Jenny Teves

Interpretación del comportamiento log-normal del tenor de uranio en el contexto de rocas ígneas **18**
Jacinto Valencia, Andrés Palacios, José Maguiña

Radiation dose map at the Peruvian Antarctic Station **22**
José Osores, Susana Gonzáles

Desarrollo de una red inalámbrica para el registro automático de parámetros en los laboratorios de técnicas analíticas nucleares **26**
Jean Pierre Tincopa, Oscar Baltuano, Patricia Bedregal

Dosimetría ambiental en el Centro Nuclear Oscar Miró Quesada de la Guerra "RACSO" (1980-2015) **31**
José Osores, Paula Huamanlazo

ISSN 1684-1662 (impreso)
ISSN 2225-2029 (en línea)

Construcción de curvas dosis-efecto por irradiación de células mononucleares de sangre periférica analizadas con el ensayo cometa alcalino

Lenin Rueda[1], Jaime Rosales[1], Kety León[2], Marco Espinoza[2,*]

[1]Centro Nacional de Salud Ocupacional y Protección del Ambiente para la Salud (CENSOPAS), Instituto Nacional de Salud (INS)
[2]Laboratorio de Citogenética y Radiobiología, Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN)

Resumen

Se probó la idoneidad del ensayo cometa alcalino para detectar niveles de daño radioinducido en el ADN de linfocitos y monocitos humanos. Para este propósito se construyó cuatro curvas dosis-efecto a partir de la irradiación de células extraídas de la sangre de cuatro donantes jóvenes, sanos y no fumadores. Se usó una fuente de rayos gamma de ^{60}Co y se administraron dosis de 0, 2.5, 5 y 7 Gy. Los resultados muestran una correlación aceptable entre las dosis de radiación y el daño radioinducido en el ADN (R2 = 0.973, SD = 0,009) de acuerdo con el parámetro *Tail Intensity* (porcentaje de ADN en la cola del "cometa"). Además, se observó la variabilidad en la predicción de daño en el ADN por Gy (7.59, SD =1.5). Se evalúa esta técnica para sus posibles aplicaciones en la dosimetría biológica de las radiaciones ionizantes.

Palabras clave: Ensayo cometa alcalino; Efectos biológicos de las radiaciones; Daños en el ADN; Dosis de radiación; Radioinducción

Construction of dose-effect curves by irradiating peripheral blood mononuclear cells analyzed with the alkaline comet assay

Abstract

The suitability of the alkaline comet assay to detect levels of DNA damage in human monocytes and lymphocytes under radiation was tested. For this purpose, four dose-effect curves by irradiation of cells isolated from blood samples of 4 young, health and non-somker donors were constructed. A gamma ray source of ^{60}Co was used and doses of 0, 2.5, 5 and 7 Gy were delivered to blood cells. The results show good correlation (R2 = 0.973, SD = 0.009) between the radiation dose and DNA damage as measured by the parameter *Tail Intensity* (percentage of DNA in the tail of the "comet"). Furthermore, we observe the variability in predicting DNA damage by Gy (7.59, SD = 1.5). Potential use of this technique in the biological dosimetry of ionizing radiations is being evaluated.

Keywords: Alkaline comet assay; Biological radiation effects; DNA damages; Radiation doses; Radioinduction

1. Introducción

La electroforesis de células individuales en gel de agarosa (SCGE), conocida como *Ensayo Cometa*, es un método muy difundido, rápido y sensible, capaz de estimar diversos niveles de daño en el ADN, principalmente rupturas de simple y doble hebra. Esta técnica, diseñada por Östlin y Johanson en 1984 [1] combina la electroforesis de células eucariotas individuales y tratamientos de lisis con los cuales se evidencian los fragmentos de ADN originados por daño genotóxico que se cuantifican gracias al análisis de imágenes en un ordenador.

La versatilidad del ensayo cometa ha permitido su introducción en diversos campos, entre ellos, la dosimetría biológica de radiaciones ionizantes [2] donde se puede aplicar como un ensayo alternativo para estimar dosis absorbidas cuando las técnicas convencionales se vean limitadas, como es el caso de exposición a dosis muy elevadas, irradiación intensamente focalizada [3], el triaje de los afectados en las emergencias radiológicas [4], monitoreo de personal expuesto [5], evaluación de radiosensibilidad [6] y otras.

*Correspondencia autor: mespinoza@ipen.gob.pe

En efecto, las investigaciones experimentales con el ensayo cometa han demostrado su capacidad de detección de daño por diversas fuentes energéticas [7] con clara relación dosis-efecto y límites de detección variables, generalmente en el rango de dosis desde 0.5 Gy hasta 10 Gy. Sin embargo, la falta de consenso y estandarización del protocolo [8] han contribuido a generar discrepancias de valores reportados por diferentes laboratorios [9], incluso cuando las condiciones fueron controladas y homogéneas.

En ese sentido, A. Collins entre otros [10,11,12] han recomendado que una forma de mitigar este problema y facilitar la aplicación de esta metodología es a través de la construcción de curvas de calibración dosis-efecto con radiación ionizante para establecer el nivel de correlación propio de un laboratorio, normalizar resultados con respecto a ella y generar controles internos.

En el presente estudio nos proponemos evaluar el ensayo cometa alcalino en condiciones experimentales por medio de irradiación gamma en linfocitos y monocitos aislados de sangre periférica de personas aptas, como una forma de contribuir a la implementación de la técnica y generar un estudio de base para próximas investigaciones.

2. Materiales y Métodos

2.1. Materiales utilizados

Para este trabajo se utilizaron como insumos la agarosa de bajo punto de fusión y agarosa de alto punto de fusión (SERVA), Ficoll Histopaque 1077 y medio de cultivo RPMI 1640 (SIGMA); NaOH, EDTA, NaCl, Tritón X100 y Tris (MERCK) y SYBR Gold (INVITROGEN). Los equipos empleados fueron cámara de electroforesis con fuente de voltaje Powerpac (BIORAD). Las irradiaciones se hicieron con una fuente de ^{60}Co montada en un equipo de teleterapia marca Theraton Phoenix. Las observaciones visuales y fotografías se hicieron con un microscopio Meiji Techno MT6000 acoplado a una videocámara Allied Stingray.

2.2. Toma de muestra sanguínea y aislamiento de células mononucleares

Previo consentimiento informado, se tomó 6 ml de sangre venosa en tubos heparinizados, de cuatro donantes aparentemente sanos, no fumadores y sin historial de exposición a radiación (2 masculinos y 2 femeninos, con edades comprendidas entre los 26 y 36 años) los tubos fueron inmediatamente cubiertos con papel aluminio para proteger la muestra de la luz y mantenidos en refrigeración hasta su procesamiento por un tiempo no mayor a 30 minutos.

El aislamiento de células mononucleares se realizó mediante separación por gradientes de densidad con el Ficoll. Brevemente, la sangre se diluyó con igual volumen de medio de cultivo frío RPMI 1640. La mezcla se homogeneizó y con una pipeta serológica se repartió cuidadosamente en dos tubos de 15 ml, cada uno conteniendo 6 ml de Ficoll. Los tubos se centrifugaron a 400 g durante 15 minutos.

Las células mononucleares (linfocitos y monocitos) observadas en la interface entre el Ficoll y el plasma fueron aspiradas con una micropipeta y dispensadas en otro tubo con 10 ml de RPMI frío. Se procedió a invertir el tubo y se centrifugó a 250 g por 7 min. Finalmente, se decantó el sobrenadante. El pellet fue resuspendido en RPMI frío y se evaluó la cantidad y viabilidad de las células mononucleares aisladas. Lo recomendable es ajustar a 106 células/ml con una viabilidad mayor de 95 %.

2.3. Irradiación

La suspensión de células aisladas se distribuyó equitativamente en cuatro tubos (uno para cada dosis) Eppendorf de 2 ml y se trasladaron en cadena de frío al Laboratorio Secundario de Calibraciones Dosimétricas (LSCD) para su irradiación a temperatura ambiente.

Se irradiaron las muestras con rayos gamma provenientes de una fuente de Co-60 a dosis de 0, 2.5, 5 y 7 Gy, con una tasa de dosis de 0,656 Gy/min. A continuación, los tubos con las muestra se transportaron a nuestro laboratorio en cadena de frío para continuar su procesamiento.

2.4. Ensayo cometa

Para llevar a cabo el ensayo cometa, adoptamos las condiciones propuestas por el ECVAG (*The European Comet Assay Validation Group*) previamente verificado,

ISSN 1684-1662 (impreso)
ISSN 2225-2029 (en línea)

bajo nuestras condiciones. Brevemente, se embebió10 µl de la suspensión de células en 100 µl de agarosa de bajo punto de fusión 0.7 % a 37 °C, luego de mezclar suavemente, se dispensó todo el volumen, en 2 gotas (50 µl) separadas, sobre una lámina portaobjetos previamente cubierta con una fina capa de agarosa normal 0.5 %. Se colocó cubre-objetos y dejó solidificar protegido de la luz en refrigeración por 10 min. Se prepararon tres láminas por cada dosis.

Luego de retirar los cubreobjetos, se sumergieron todas las láminas en solución de lisis (NaCl 2,5 M, Tris 10 mM, EDTA 0.1 M y 1 % de Tritón X-100, pH a 10) durante una hora, en frío. Cumplido el tiempo, se realizaron dos lavados de 5 min cada uno con agua desionizada para después desnaturalizar el ADN con la solución de electroforesis (NaOH 0,3 M, EDTA 1 mM, pH 13) por 20 min. Finalmente, se ejecutó la corrida electroforética con la misma solución por 20 min a 25 V (1,25 V/cm) y 300 mA. Luego de ello, los portaobjetos se neutralizaron en buffer tampón (Tris 0,4 M, 7.5 pH) durante 5 min y se fijaron en etanol 70 % por 5 min para su almacenamiento.

2.5. Análisis de cometas

El análisis de las láminas preparadas fue realizado en el Centro Nacional de Salud Ocupacional y Protección del Ambiente para la Salud – CENSOPAS (Lima-Perú). Se rehidrataron los geles con la solución de neutralización por 10 min, luego se procedió a cubrir los portaobjetos con 500 µl de solución de tinción SYBR Gold 1X por 15 min.

Cada lámina fue examinada a 200x con un microscopio de epifluorescencia acoplado a una videocámara y un software de análisis (*Comet Assay IV; Perceptive Instrument*).Se obtuvo 100 nucleoides al azar por cada gel preparado, que fueron analizados con el parámetro Tail Intensity (porcentaje de ADN en la cola) para estimar el daño. Se aplicó la estadística descriptiva no paramétrica para procesar los datos.

3. Resultados y discusión

Como se aprecia en la Figura 1, las curvas revelan la relación lineal entre el parámetro *Tail Intensity* (% de ADN en la cola) y las dosis de radiación gamma, en el intervalo señalado. Asimismo, en las imágenes de los nucleoides (cometas) representativos por cada dosis de irradiación (Figura 2) muestra el incremento de las "colas" a medida que se incrementan las dosis. Aunque, también se puede notar la divergencia entre las curvas, la cual es más evidente a altas dosis.

En base al análisis de regresión se obtuvo los coeficientes de correlación (R2) y las ecuaciones de curva, estas últimas se emplearon para predecir, el daño producido por Gray de irradiación gamma. De los resultados (Tabla 1) se desprenden los promedios de coeficientes de correlación; R2 = 0.973, SD = 0.009.De igual manera para el daño estimado por Gray de radiación se calcula en 7.59, SD =1.5.

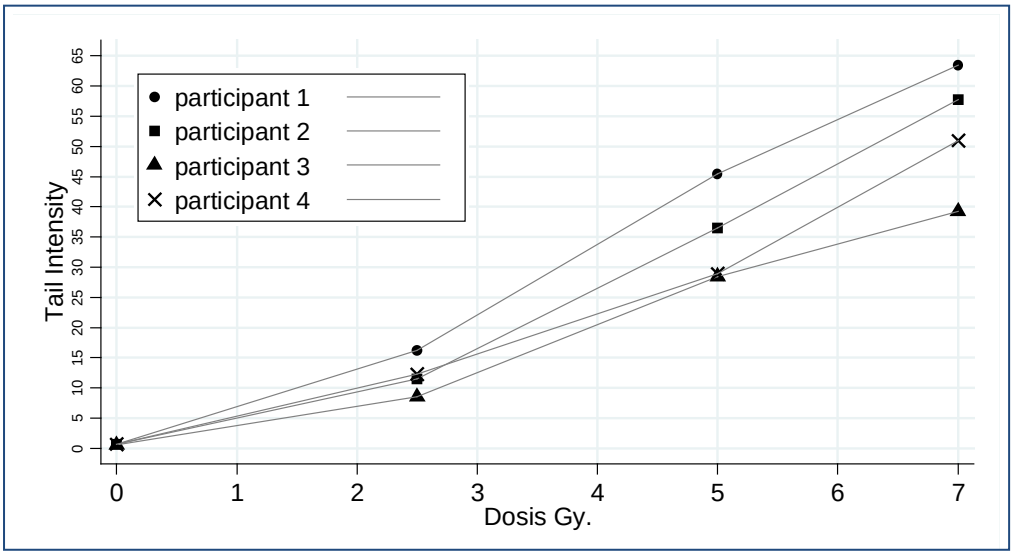


Figura 1. Curvas dosis-efecto construidas por irradiación gamma en células mononucleares de sangre periférica analizadas con el ensayo cometa alcalino.

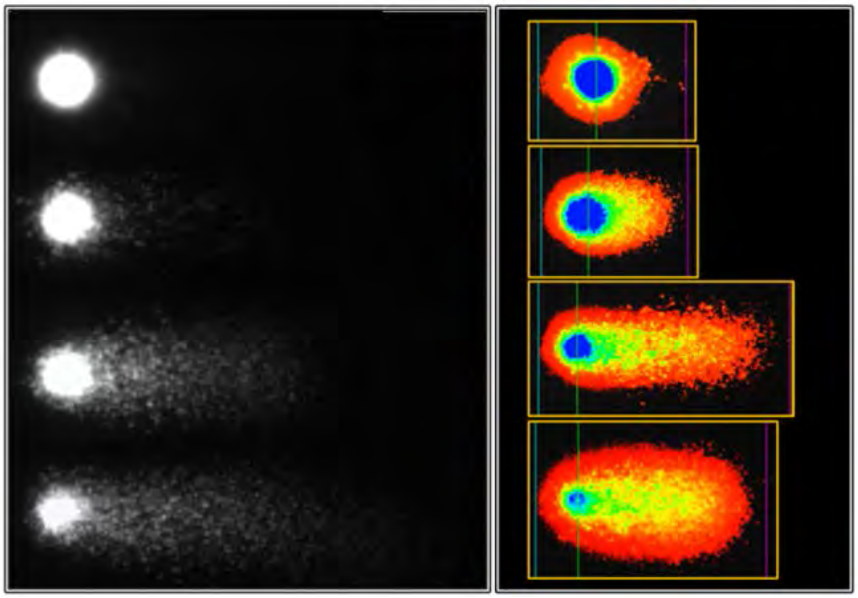


Figura 2. Las imágenes muestran la apariencia de los "cometas" por cada dosis de irradiación, captada por la videocámara en escala de grises (izquierda) y convertida, al formato digital con el *software Comet Assay IV* (derecha).

Tabla 1. Coeficientes de correlación y predicción de daño por 1 Gy de dosis de irradiación gamma, en cada curva construida.

	R^2	*Predicción de daño por 1 Gy [95 % CI]*	
Participante 1	0.986	9.241758	[5.92 - 12.56]
Participante 2	0.968	8.292606	[3.69 - 12.89]
Participante 3	0.974	5.77164	[2.89 - 8.64]
Participante 4	0.965	7.056855	[2.96 - 11.15]

De acuerdo con lo esperado, los valores de los coeficientes de correlación indican buen ajuste de curva y dependencia lineal entre las variables, similar a lo hallado en otros laboratorios, como en el ejercicio de intercomparación del ECVAG 2014[9] donde 13 laboratorios participantes reportaron valores por encima de 0.97. Por su parte, Pitozzy *et al.* [13] encontraron resultados parecidos (R2=0.99) al irradiar tanto con rayos gamma (^{60}Co) como con rayos X. Por otro lado, Wang *et al.* [4] obtuvo un R2 = 0.9979 con ajuste polinomial de la curva, al evaluar 7 puntos de dosis.

Respecto a la variación, se manifiesta por las diferencias en las pendientes delas curvas que se ven reflejadas en la estimación de daño por dosis de radiación. Es razonable asumir dicha variación como característica inherente del método [14]. Aunque se hayan mantenido condiciones estandarizadas, la técnica posee muchos puntos críticos [15] que son susceptibles a inducir sesgo más aun cuando se ejecutan en diferentes días.

Sin embargo, no se descartan otros factores que también pudieran influir como las características individuales de los participantes. Como la radiosensibilidad [16] que es una condición individual importante estimada en 9 % de la población [17] y que altera los resultados en el ensayo cometa [18]. También se ha demostrado que la ocupación, la alimentación [19], incluso el clima [20,21] son elementos que contribuyen. Entre las fuentes externas de error se ha visto que la irradiación igualmente podría estar implicada [22].

ISSN 1684-1662 (impreso)
ISSN 2225-2029 (en línea)

4. Conclusiones

La construcción de curvas dosis efecto con el ensayo cometa permitió evidenciar la cinética del efecto producido por las dosis de radiación en las células vivas presentándose una clara correlación dosis-efecto, así como la variabilidad. Contando con las fuentes de radiaciones que tiene el IPEN, en futuros estudios se podrían desarrollar otras curvas dosis-efecto con líneas celulares en condiciones estandarizadas.

5. Referencias

[1] Östling O, Johanson KJ. Microelectrophoretic study of radiation-induced DNA damages in individual mammalian cells. *Biochem.* Biophys. Res. Commun.1984; 123, 291–298.

[2] Olive PL. Impact of the comet assay in radiobiology. Mutat Res. 2009; 681(1): 13–23.

[3] Di Giorgio M, Taja MR, Nasazzi NB, Bustos N, Cavalieri H, Bolgiani A. El ensayo de cometa como herramienta de la dosimetría biológica en la evaluación de sobreexposiciones fuertemente localizadas. En: 5th Regional Congress on Radiation Protection and Safety, Recife, Brasil, 29 abril al 4 mayo 2001:

[4] Wang Y, Xu C, Du LQ, Cao J, Liu JX, Su X, et al. Evaluation of the comet assay for assessing the dose-response relationship of DNA damage induced by ionizing radiation. Int J Mol Sci. 2013;14(11): 22449–61.

[5] Kopjar N, Garaj-Vrhovac V. Assessment of DNA damage in nuclear medicine personnel - Comparative study with the alkaline comet assay and the chromosome aberration test. Int J Hyg Environ Health. 2005; 208(3): 179–91.

[6]. Güerci A, Zúñiga L, Marcos R. Construction and validation of a dose-response curve using the comet assay to determine human radiosensitivity to ionizing radiation. J Toxicol Environ Health A. 2011; 74(15-16): 1087–93.

[7] Rössler U, Hornhardt S, Seidl C, Müller-Laue E, Panzer W, Schmid E, *et al*. The sensitivity of the alkaline comet assay in detecting DNA lesions induced by X rays, gamma rays and alpha particles. Radiat Prot Dosimetry. 2006; 122(1-4): 154–9.

[8] Forchhammer L, Johansson C, Loft S, Möller L, Godschalk RW, Langie SA, *et al*. Variation in the measurement of DNA damage by comet assay measured by the ECVAG inter-laboratory validation trial. Mutagenesis. 2010; 25(2):113–23.

[9] Godschalk RW, Ersson C, Stępnik M, Ferlińska M, Palus J, Teixeira JP, *et al*. Variation of DNA damage levels in peripheral blood mononuclear cells isolated in different laboratories. Mutagenesis. 2014; 29(4): 241–9.

[10] Langie SAS, Azqueta A, Collins AR. The comet assay: Past, present, and future. Front Genet. 2015 Aug; 6: 1–3.

[11]. Collins AR, Yamani N El, Lorenzo Y, Shaposhnikov S, Brunborg G, Azqueta A. Controlling variation in the comet assay. Front Genet. 2014 Oct; 5: 1–6.

[12] Johansson C, Møller P, Forchhammer L, Loft S, Godschalk RWL, Langie SAS, *et al*. An ECVAG trial on assessment of oxidative damage to DNA measured by the comet assay. Mutagenesis. 2010; 25(2): 125–32.

[13] Pitozzi V, Pallotta S, Balzi M, Bucciolini M, Becciolini A, Dolara P, *et al*. Calibration of the comet assay for the measurement of DNA damage in mammalian cells. Free Radic Res. 2006; 40(11):1149-54.

[14] Ersson C, Möller L. The effects on DNA migration of altering parameters in the comet assay protocol such as agarose density, electrophoresis conditions and durations of the enzyme or the alkaline treatments. Mutagenesis. 2011; 26(6): 689-95.

[15] Sirota NP, Zhanataev AK, Kuznetsova EA, Khizhnyak EP, Anisina EA, Durnev AD. Some causes of inter-laboratory variation in the results of comet assay. Mutat Res Genet Toxicol Environ Mutagen. 2014; 770: 16-22.

[16] Greve B, Bölling T, Amler S, Rössler U, Gomolka M, Mayer C, *et al*. Evaluation of different biomarkers to predict iIndividual radiosensitivity in an inter-laboratory comparison-lessons for future studies. PLoS One. 2012;7(10): e47185.

[17] Scott D, Barber JB, Levine EL,Burril W, Roberts SA.. Radiation-induced micronucleus induction in lymphocytes identifies a high frequency of radiosensitive cases among breast cancer patients: a test for predisposition? Br J Cancer. 1998; 77(4): 614-20.

[18] Shahidi M, Mozdarani H, Bryant PE. Radiation sensitivity of leukocytes from healthy individuals and breast cancer patients as measured by the alkaline and neutral

comet assay. Cancer Lett. 2007; 257(2): 263–73.

[19] Kažimírová A, Barančoková M, Volkovová K, Staruchová M, Krajčovičová-Kudláčková M, Wsólová L, *et al*. Does a vegetarian diet influence genomic stability? Eur J Nutr. 2004 Feb; 43(1): 32–8.

[20] Dušinská M, Vallová B, Ursínyová M, Hladíková V, Smolková B, Wsólová L, *et al*. DNA damage and antioxidants; fluctuations through the year in a central European population group. Food Chem Toxicol. 2002; 40(8): 1119–23.

[21] Lebailly P, Vigreux C, Lechevrel C, Ledemeney D, Godard T, Sichel F, *et al*. DNA damage in mononuclear leukocytes of farmers measured using the alkaline comet assay: discussion of critical parameters and evaluation of seasonal variations in relation to pesticide exposure. Cancer Epidemiol Prev Biomarkers. 1998;7(10): 917-27.

[22] Azqueta A, Collins AR. The essential comet assay: A comprehensive guide to measuring DNA damage and repair. Arch Toxicol. 2013; 87(6): 949–68.

ISSN 1684-1662 (impreso)
ISSN 2225-2029 (en línea)

Identificación y validación de marcadores tipo SNPs en genes KRT33A (Keratine 33A) y FGF5 (Fibroblast Grown Factor 5)

William Salas[1,*], Diego Veliz[2], Irene Delgado Flor[2], Jorge Rodríguez[2], José Espinoza[2]

[1] Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional de Huancavelica, Avenida Universitaria 1420, Huancavelica, Perú.
[2] Unidad de Biotecnología Molecular de la Universidad Peruana Cayetano Heredia, Av. Honorio Delgado 430, San Martín de Porres, Lima, Perú.

Resumen

El presente proyecto tuvo como objetivo identificar SNPs en el gen KRT33A y gen FGF5. Un total de 80 alpacas huacaya provenientes del fundo Lacchoc, departamento de Huancavelica fueron utilizadas para la identificación de SNPs mediante el análisis bioinformático, diseño y validación de cebadores específicos para la amplificación por PCR y posterior secuenciamiento. Los resultados sugieren la ausencia de polimorfismos en el gen FGF5 y la presencia de 2 SNPs en el gen de KRT33A. Se recomienda continuar con el análisis en un mayor número de genes e individuos.

Palabras clave: Alpacas; Genotipos; Queratina; Nucleótidos; Camélidos sudamericanos

Identification and validation of SNPs markers in (Keratine 33A) and FGF5 (Fibroblast Grown Factor 5) genes

Abstract

The present project has to objetive identificate SNPs in KRT33A and FGF5genes. A total of 80 alpacas huacaya from Lacchoc breeding center from Huancavelica province were used to SNP identification, primer design and validation using bioinformatic tools, PCR amplification and sequencing. The results suggest the absent of polimorphism in the FGF5 gene and the presence of 2 SNPs in the KRT33A gene. We suggest continue with the analysis of more genes and increase the alpaca sample.

Keywords: Alpaca; Genotype; Keratin; Nucleotides; South American camelids

1. Introducción

El Perú es el principal productor de fibra de alpaca en el mundo, porque cuenta con la mayor población de alpacas en el orden de los 3 millones de ejemplares [1]. Sin embargo, en las últimas décadas la alpaca peruana viene siendo sometida a una fuerte presión de selección para una mejora continua de las características textiles como el diámetro de fibra, principalmente [2]. La variabilidad genética en proteínas relacionadas con la constitución y calidad de la fibra podrían permitir realizar una selección para determinar características de interés económico, para lo cual estudios que identifiquen marcadores genéticos en poblaciones de alpacas constituyen una herramienta muy útil y primordial en la generación de programas de selección y mejoramiento genético. En la actualidad, se cuenta con un genoma de alpaca disponible en la web (https://www.ncbi.nln.nih.gov/), este recurso genético permite la búsqueda de potenciales marcadores genéticos para ser usados en procesos de selección asistida.

Las queratinas han sido considerados como buenos genes candidatos a estar asociados con distintas características de fibra en diferentes especies, incluyendo oveja y cabra, a los que se han asociado con alguna característica de fibra [3], mientras que genes involucrados en la regulación de la producción de fibra como el FGF5 ha sido asociada con la presencia de pelo largo en perros, gatos, conejos, ratón y ratas, habiéndose encontrado polimorfismos tipo SNPs en dicho gen en otras especies.

2. Metodología

2.1 Identificación de secuencias para los genes de queratinas KRT33A y FGF5 por

*Correspondencia autor: willysalasc@hotmail.com

Análisis bioinformático

Información de tres genomas de alpaca pertenecientes a la Unidad de Biotecnología Molecular de la Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH) fueron utilizados para la identificación de secuencias reguladoras y codantes y la presencia de potenciales polimorfismos presentes en los genes KRT33A y FGF5 mediante homología con secuencias reportadas para especies de ungulados.

2.2 Diseño, síntesis y evaluación de cebadores

Se diseñaron cebadores de 18 a 24 nucleótidos con capacidad de amplificación de fragmentos entre 400 y 700 pares de bases, complementarios a los extremos de las secuencias que incluyan la presencia de SNPs putativos utilizando el programa *online* Oligo AnalyzerTM. La especificidad de los cebadores fue evaluada mediante la herramienta de NCBI 'Primer-BLAST' para las secuencias target de cada par de cebadores.

2.3 Identificación de polimorfismos tipo SNPs en KRT33A y FGF5

Un total de 80 alpacas de la raza huacaya adultas no emparentadas fueron utilizadas para la identificación de polimorfismos de nucleótido único (SNPs) en los genes de KRT33A y FGF5.

ADN genómico fue extraído mediante GF-1 Nucleic Acid Extraction Kits - Vivantis Technologies siguiendo las instrucciones del fabricante. El ADN genómico obtenido fue diluido hasta una concentración final de 5 ng/uL. Fragmentos entre 500 y 700 pares de bases fueron amplificados mediante reacción en cadena de la polimerasa (PCR) utilizando los siguiente cebadores: para el exón 1 del gen FGF5: FGF5f 5'-GGC AAA CTGG AAG CAA GGT G-3' y FGF5r 5'-TTT CCC AAG GCT ATG TCC AC-3' y para el gen de KRT33Af: 5'-AGA GCC GAG GAC TGC AAA CTC-5' y KRT33Ar 5'-GCCCTAAAGTAAAACCTGGAGC-3' utilizando las siguientes condiciones: 5 nanogramos de ADN, 1X Buffer PCR, 1.5 mM de MgCl2, 0.2mM dNTPs 5 picomoles de cada cebador, 1U de ADN polimerasa (Thermo Scientific). Las condiciones termales para ambos genes fueron las siguientes: 95 ºC por 3 minutos, 25 ciclos de 94 ºC por 30 segundos, 60 ºC por 45 segundos, 72 ºC por 30 segundos.

Los productos de PCR fueron secuenciados por ambas direcciones usando ABI PRISM Big Dye Terminador Cycle Sequencing Ready Reaction Kit y un secuenciador automático ABI PRISM 3130 Genetic Analyser®. La edición de las secuencias y un alineamiento múltiple para la identificación de los SNPs se realizó mediante el Programa Mega v6.0 [4].

Una tabla de genotipos fue generada para cada gen y a partir de esa información se calcularon las frecuencias alélicas, número de alelos por locus, heterocigosidad observada y esperada, contenido de información polimórfica (PIC), probabilidad de exclusión [5] para los 2 genes identificados.

3. Resultados y Discusión

El exón 1 del gen FGF5 no presentó polimorfismos tipo SNPs en la totalidad de su secuencia, siendo la secuencia consenso la misma que la obtenida a partir del análisis de los genomas de la alpaca, observándose un alto nivel de conservación similar a lo reportado en otros mamíferos, en contraste con el gen KRT33A que presentó un total de 2 polimorfismos tipo SNPs (T/C, G/A) con frecuencias mayores al 30 %. La heterocigosidad esperada (H_E) para los dos SNPs en KRT33A fueron 0.508 y 0.427. La probabilidad de exclusión varió entre 0.164 y 0.187 con una probabilidad de exclusión acumulada para el total de SNPs de 0.323. El número de alelos por locus, heterocigosidad observada y esperada, contenido de información polimórfica (PIC), probabilidad de exclusión para los SNPs del gen KRT33A se detallan en la Tabla 1.

ISSN 1684-1662 (impreso)
ISSN 2225-2029 (en línea)

Tabla 1. Alelos, frecuencia alélica, heterocigosidad observada (HO), heterocigosidad esperada (HE), contenido de información polimórfica (PIC) y probabilidad de exclusión (PE) para 2 SNPs del gen KRT33A.

Locus	*Nº alelos*	*Alelos*	*Frecuencia Alélica*	H_O	H_E	*PIC*	*PE*
K33-1	2	C/T	0.5;0.5	1.000	0,508	0,375	0,187
K33-2	2	A/G	0.7;0.3	0.000	0,427	0,332	0,164
Promedio	2			0,500	0,468	0,354	

Ambos SNPs en KRT33A se encontraron en desequilibrio de ligamiento ($p<0.05$) y desequilibrio de Hardy Weinberg ($p<0.05$), K33-1 debido a un exceso de heterocigotos ($p<0.05$) mientras que k33-2 debido a deficiencia de heterocigotos ($p<0.05$).

Estos resultados son similares a los observados para KRT33A y otros genes de queratinas y proteínas asociadas a queratinas en otras especies [6] siendo necesario realizar análisis de asociación para estas variantes, para determinar si se encuentran asociadas con características como diámetro de fibra.

Los resultados confirman la presencia de polimorfismos tipo SNPs en el gen KRT33A, con un fuerte desequilibrio de ligamiento entre ellos y desequilibrio de Hardy Weinberg, lo cual limita la capacidad de información que se puede obtener de ellos. Marcadores que se encuentran en un mismo gen presentan de moderado a altos niveles de desequilibrio de ligamiento debido a la cercanía entre ellos, así mismo la presencia de desequilibrio de Hardy Weinberg nos indica que alguna fuerza evolutiva está fuertemente afectada. Una fuerza evolutiva muy fuerte es la selección; sin embargo, el limitado número de muestras constituye un problema en el análisis de la importancia del polimorfismo e incluso en el análisis de equilibrio de Hardy Weinberg.

Se requiere de más estudios y un número muestral mucho mayor para caracterizar la variabilidad disponible en el gen de KRT33A y conocer las implicancias de este gen en las características de la fibra de alpaca.

4. Conclusiones

Se identificaron 2 polimorfismos tipo SNPs en el gen KRT33A de alpaca, ambos en desequilibrio de ligamiento y desequilibrio de Hardy Weinberg.

El exón 1 del gen FGF5 presentó un alto nivel de conservación de secuencias sin la presencia de polimorfismos tipo SNPs.

5. Agradecimientos

El presente proyecto de investigación fue financiado por el proyecto FOCAM-UNH: Identificación de marcadores genéticos moleculares SNPs para las características de importancia económica en alpaca huacaya Agradecemos a la Dra. Patricia Herrera, Mg. Teresa Barreto, Mg (c) Francesco Foppiano, de la Unidad de Biotecnología Molecular de la Universidad Peruana Cayetano Heredia y al Proyecto: Una aproximación de genómica de poblaciones aplicada a la filogenia y mapeo de rasgos productivos en alpaca" Contrato 19-FINCYT-IA-2013, por la disponibilidad de los genomas y secuencias así como por el apoyo en el análisis de los datos.

6. Bibliografía

[1]. Ministerio de Agricultura y Riego. [Homepage]. Camélidos Sudamericanos. [acceso 2013]. Disponible en: http://minagri.gob.pe/portal/40-sector-agrario/situacion-de-las-actividades-de-crianza-y-producci/298-camelidos-sudamericanos?start=4

[2]. Brenes ER, Madrigal K, Pérez F, Valladares K. El Cluster de los Camélidos en Perú: Diagnóstico Competitivo y Recomendaciones Estratégicas. Documento de Trabajo. Instituto Centroamericano de Administración de Empresas INCAE; 2001. Disponible en: http://infoalpacas.com.pe/wp-content/uploads/2015/12/cluster_camelidos_peru.pdf

[3]. Liu GF, Tian KC, Zhang EP, Huang, XX, Zhang YH Candidate gene analysis of high quality merino sheep. Yi Chuan. 2007; 29(1): 70-74.

[4]. Tamura K, Dudley J, Nei M, Kumar S. MEGA4: Molecular evolutionary genetics

analysis (MEGA) software version 4.0. Molecular Biology and Evolution. 2007; 24: 1596-1599.

[5]. Jamieson A, Taylor SC. Comparisons of three probability formulae for parentage exclusion. Animal Genetics. 1997; 28: 397-400.

[6]. Wang X, Zhao ZD, Xu HR, Qu L, Zhao HB, Li T, Zhang ZY. Variation and expression of KAP9.2 gene affecting cashmere trait in goats. Molecular Biology Reports. 2012; 39(12): 10525-10529.

ISSN 1684-1662 (impreso)
ISSN 2225-2029 (en línea)

Características clínicas de pacientes con cáncer diferenciado de tiroides tratados con yodo radiactivo: Reporte de casos con riesgo intermedio y alto de recurrencia

Rosanna Morales[1,*], Kattya Pimentel[2], Karla Pacci[2], Roque Cano[1], José Gutiérrez[2], Jenny Teves[3]

[1] Centro de Medicina Nuclear, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Av. Angamos 2520, Lima 41, Perú.
[2] Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas, Av. Angamos 2520, Lima, Perú.
[3] Facultad de Medicina Humana, Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, médico residente.

Resumen

Treinta y siete pacientes fueron referidos al Centro de Medicina Nuclear para recibir tratamiento ablativo o dosis terapéutica de yodo radiactivo. El 73 % pertenecían al grupo de alto riesgo y un 27 % a riesgo intermedio. El 81 % de los pacientes fueron mujeres con una razón femenino/masculino de 4.3 y una media de 50 años de edad. El promedio de dosaje de tiroglobulina en el período postquirúrgico fue de 72.48 ng/mL. El 16 % de los pacientes presentaban metástasis a pulmón y un 8 % al mediastino. El 70 % de los pacientes tuvo tiroidectomía total; el 18.9 % tiroidectomía total extendida y el 2.7% tiroidectomía subtotal, asociado a disección ganglionar de cuello en el 48.6 % de casos. El 70 % de los casos correspondieron a neoplasias bien diferenciadas; un 67 % fue variante papilar; 51.4 % con invasión linfática y el 59.5 % invasión vascular. Los ganglios evaluados fueron en promedio de 21 resecados y 5 comprometidos, asociado a márgenes comprometidos en un 37 %. La dosis para la ablación de tejido residual fue de 80 mCi, la que se realizó en un 10.8 % de los casos. El resto de pacientes recibió dosis terapéutica de 100 mCi en el 37.8 % de los casos y 180 mCi en el 5.4 % de los casos, siendo esta última para dos pacientes que requerían segunda o tercera dosis por persistencia de enfermedad.

Palabras clave: Tiroides; Neoplasmas; Yodo 131; Terapia; Pacientes

Clinical features of patients with differentiated thyroid cancer: Case report in intermedium and high recurrence risk

Abstract

37 patients were referred to the Nuclear Medicine Center for ablative treatment or therapeutic dose of radioactive iodine. 73 % belonged to the group of high risk and 27 % intermediate risk. 81 % of patients were women with a female / male ratio of 4.3 and an average of 50 years old. The average dosage of thyroglobulin in the post-operative period was 72.48 ng/mL. They showed lung metastases to 16 % and 8 % mediastinum. 70 % of patients had total thyroidectomy, 18.9 % overall and 2.7 % extended thyroidectomy, subtotal thyroidectomy associated with nodal neck dissection in 48.6 %. 70 % of the cases were well-differentiated tumors; 67 % were papillary carcinoma; 51.4 % with lymphatic invasion and vascular invasion 59.5 %. Lymph nodes were evaluated with average of 21 resected and five committed, involved margins associated with 37 %. The dose for ablation of residual tissue was 80mCi, which was performed in 10.8 %. The remaining patients had therapeutic dose of 100 mCi in 37.8 % and up to 180 mCi dose in 5.4 %, with this dose in two patients requiring second or third dose because of persistent disease.

Keywords: Thyroid; Neoplasms; Iodine 131; Therapy; Patients

1. Introducción

El cáncer de tiroides es la neoplasia endocrina más común con una incidencia creciente en todo el mundo en las últimas décadas [1]. Histológicamente se pueden clasificar en cáncer papilar de tiroides, folicular o anaplásico. Los cánceres diferenciados de tiroides, presentan evidencia de diferenciación de células epiteliales foliculares, tales como la captación de yodo, organificación y por lo general son tratados con éxito mediante la extirpación quirúrgica primaria, la terapia con yodo radioactivo y la supresión con levotiroxina. El cáncer papilar

* Correspondencia autora: rmoralesgb@gmail.com

de tiroides es el tipo más común en los pacientes y representan el 80 al 90 % los casos. En términos generales, el cáncer de tiroides bien diferenciado es una enfermedad con una tasa de supervivencia global a 5 años en el 97.3% de los casos y una tasa de mortalidad ajustada por edad de 0.5 por cada 100.000 personas. A pesar de este buen resultado y la baja mortalidad relacionada con la enfermedad, los pacientes pueden presentar recurrencia hasta en un 35 %, causando un aumento de la morbilidad relacionada con la enfermedad durante unos 40 años de seguimiento. En el reporte de cáncer de Lima Metropolitana se menciona que el cáncer de tiroides representa el cuarto lugar de neoplasias en mujeres, teniendo una adecuada respuesta a las dosis recibidas sea como ablación o terapia al Yodo 131, radionúclido producido en el Perú [2]. El objetivo del presente trabajo es reportar los casos tratados con yodo radiactivo durante el período de enero de 2012 a marzo de 2013, atendidos en el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN) y en el Centro de Medicina Nuclear del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN), describiendo sus características clínicas, dosis de ablación, terapia y riesgo de recurrencia.

2. Metodología

Se establecieron como criterios de inclusión los siguientes:

a. Cáncer diferenciado de tiroides, con estudio anátomo patológico disponible.
b. Tamaño tumoral mayor a 4 cm.
c. Datos completos sobre el paciente en la historia clínica y disponibilidad de información clínica en los archivos del Centro de Medicina Nuclear (CEMN).
d. Cáncer papilar o folicular de tiroides.
e. Tiroglobulina sérica mayor a 4 µg/100 mL en el momento de la administración del yodo radiactivo.

Los criterios de exclusión fueron:

a. Otras histologías de neoplasias de la tiroides.
b. Tamaño tumoral menor a 4 cm.
c. Ausencia de información clínica en el CEMN o en la historia clínica.
d. Tiroglobulina sérica menor a 4 µg/100 mL en el momento de la administración del yodo radiactivo.

Los criterios de riesgo de recurrencia se tomaron de acuerdo a las guías de la American Thyroid Association (ATA) 2009 [3].

Tabla 1. Características clínicas y patológicas de los pacientes tratados con yodo 131.

Variables	Número (%)
No total de pacientes	37
Edad (años) promedio ± DS	47.43 ± 13.35
Rango	[18-76]
Mediana	50
≥45	25 (67.6)
<45	12 (32.4)
No de niños (edad≤18)	1 (2.7)
Sexo (razón masculino / femenino 1:4.3)	
Masculino	7 (18.9)
Femenino	30 (81.1)
Histología	
Papilar	25 (67.6)
Papilar + variante folicular	10 (27.0)
Folicular	1 (2.7)
Papilar + variante esclerosante difusa	1 (2.7)
Compromiso de ganglios linfáticos	
Si	22 (59.5)
No	2 (5.4)
NR	13 (35.1)
Sitio de metástasis	
Sin metástasis	27 (73.0)
Pulmón	6 (16.2)
Mediastino	3 (8.1)
Pulmón + hueso	1 (2.7)

NR: no registra.

En la Tabla 1 se muestra las principales variables del estudio, entre ellas las edades de los 37 pacientes que tienen una edad promedio de 47.43 años (rango, 18 a 76 años), con el 50 % de casos con edades por debajo de 50; 25 (67,6 %) pacientes con edades mayores o iguales que 45 y 12 (32,4 %) con edades menores a 45 años; un paciente fue niño (2,7 %). Siete (18,9 %) pacientes fueron hombres y 30 (81,1 %) mujeres, siendo la razón masculino a femenino de 1 a 4,3. El tipo histológico más frecuente fue el papilar en 25 pacientes (67,6 %). Hubo 22 (59,5 %) casos con compromiso de ganglios linfáticos. Seis pacientes (16,2 %) con metástasis pulmonar,

ISSN 1684-1662 (impreso)
ISSN 2225-2029 (en línea)

3 (8,1 %) con metástasis en el mediastino y 1 (2,7 %) con metástasis pulmonar y ósea.

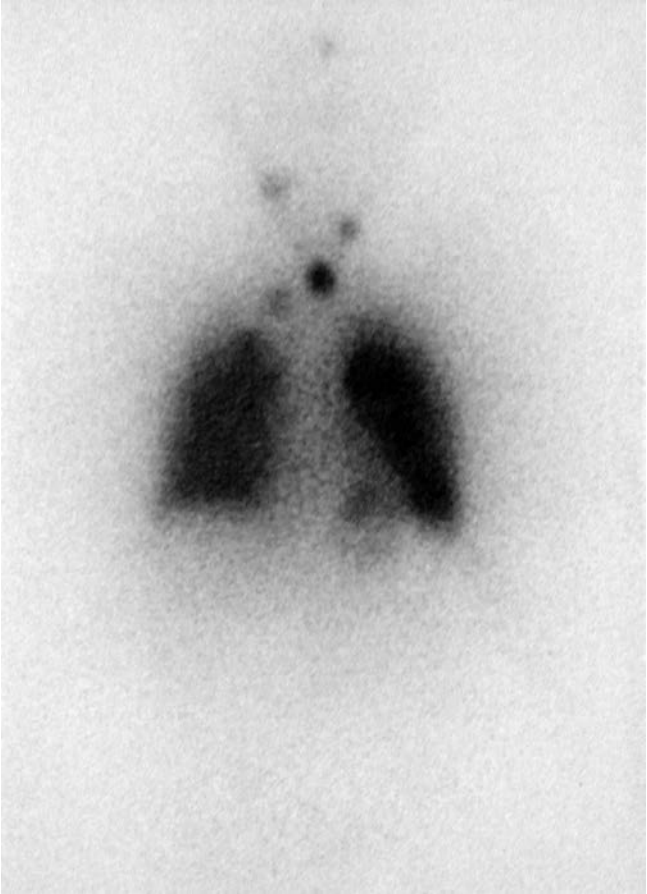


Figura 1. Varón de 28 años, con cáncer papilar de tiroides variante folicular operado, medianamente diferenciado con alto riesgo de recurrencia, que presenta metástasis pulmonar bilateral, con captación difusa en ambos campos pulmonares en el rastreo posterior al tratamiento con 150 mCi de Yodo 131.

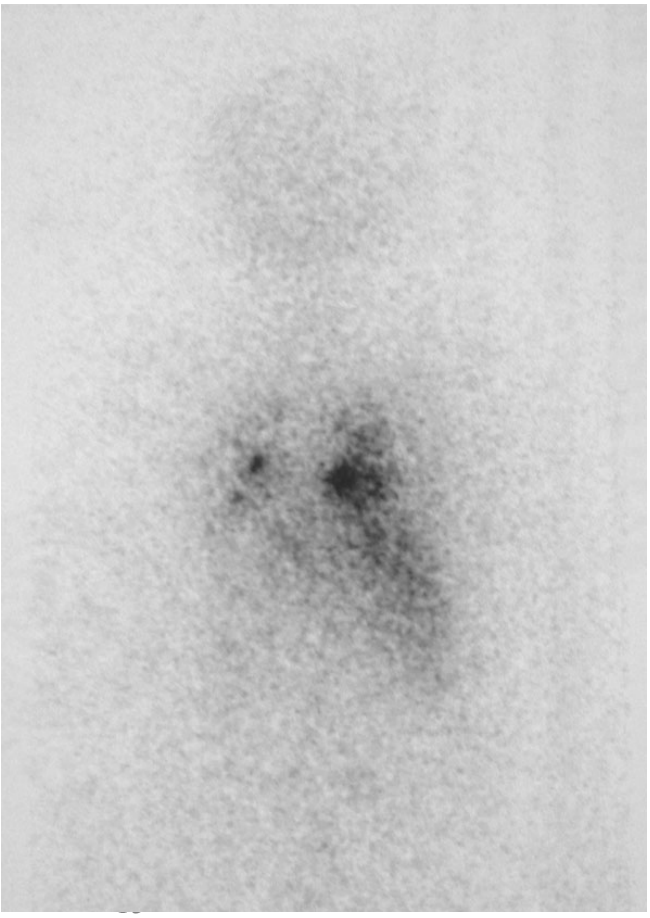


Figura 2. Mujer de 62 años, con carcinoma papilar de tiroides poco diferenciado que recibió una primera dosis de Yodo 131 de 100 mCi, que recibe 180 mCi de Yodo 131 en la segunda dosis y presenta captación pulmonar y ósea. La paciente tenía dosaje de tiroglobulina >1000. Su último control ha sido el 30.11.2015 con persistencia de enfermedad.

3. Resultados y Discusión

El cáncer de tiroides es una neoplasia cuyo número de casos está en aumento, ya sea por mayor acceso de la población a un adecuado examen clínico y/o por la mejora tecnológica de los exámenes auxiliares de imágenes y por factores de riesgo asociados [1,3,4]. En el presente trabajo la edad promedio fue de 47 años lo que coincide con lo reportado en la literatura [4]. El ultrasonido continúa siendo la modalidad de detección más utilizada en estos casos [5].

El yodo radioactivo tiene una presencia importante tanto en el diagnóstico como en la ablación de restos tiroideos y en la terapia de enfermedad a distancia [5]. En los últimos años su utilidad ha evolucionado hacia un uso selectivo para pacientes con riesgo intermedio y alto de recurrencia. Esta recomendación ya era parte de las guías de la ATA en el año 2009 y se ha reforzado en las guías del 2015 [3,5].

De los 37 pacientes estudiados hay una preponderancia del sexo femenino, lo que coincide con la literatura [3]. La histología de los casos revisados corresponde a carcinoma papilar en el 98% de los casos, similar a lo reportado por la American Cáncer Society en estudios masivos [5].

Las guías de la ATA se han validado en diferentes grupos de pacientes a nivel latinoamericano. En el Perú se está adecuando el Consenso de la ATA y el Acuerdo Intersocietario Latinoamericano para el manejo de estos pacientes. Las recomendaciones de dichos consensos y guías permiten dar una terapia de tipo estandarizado en cada centro hospitalario [6].

En el estudio los pacientes presentaron solo enfermedad loco regional en 5 casos (13 %), por lo que se les administró una dosis fija de 80 mCi, lo que era recomendado y estandarizado de acuerdo con las guías de la ATA del 2009 [3]; el criterio en este caso fue ablación de restos tiroideos. Este mismo criterio se siguió con dosis de 100 mCi en los otros pacientes de riesgo intermedio sumando en total 10 casos. Siguiendo las recomendaciones del Acuerdo Intersocietario Latinoamericano y Consenso de la ATA 2009 y 2015 se continúa teniendo este mismo enfoque [7,8].

Se tuvo metástasis a distancia en 10 pacientes, los que correspondieron a alto riesgo de recurrencia y recibieron dosis que estuvieron entre 100 – 180 mCi. Los 3 pacientes que recibieron dosis de 180 mCi de Yodo 131 correspondían a metástasis a pulmón y huesos y habían recibido dosis previas menores.

El manejo actual de los pacientes de riesgo intermedio y riesgo alto continúa siendo complejo y requiere un estudio multidisciplinario; esto coincide con las recomendaciones de la Clínica Mayo. En una revisión de 1999 al 2006 ellos trataron con un enfoque interdisciplinario y conservador a 420 pacientes utilizando Yodo 131en el 40 % de los casos [7].

En el Perú se tiene la ventaja de contar con la producción local de Yodo 131 de modo permanente en condiciones de costo asequible y con buenas prácticas de manufactura. Se cuenta con la supervisión constante del Organismo Internacional de Energía Atómica tanto en la producción del isótopo como en la renovación y mantenimiento de las celdas de producción [8].

En el futuro se espera poder tratar a más pacientes en forma ambulatoria, en especial a aquellos con riesgo intermedio de recurrencia. Esto podrá lograrse si se individualiza el tratamiento y se consideran factores socioeconómicos y geográficos, lo que no se consigue en muchos casos [9].

En los pacientes estudiados se han presentado en el 16 % de casos con captación en los pulmones, lo que continúa siendo una localización frecuente de metástasis por cáncer diferenciado de tiroides [10]. Estos pacientes en el curso de su enfermedad pueden permanecer sin síntomas o avanzar de una manera desfavorable en periodos muy cortos; es por eso, que requieren un seguimiento más frecuente, lo que podría ser motivo de trabajos posteriores [11].

4. Conclusiones

4.1. El Yodo-131 sigue siendo una herramienta vital en el manejo de pacientes con cáncer diferenciado de tiroides.

4.2. La presencia de un porcentaje significativo de pacientes con metástasis a distancia hace que sea mandatorio un manejo

ISSN 1684-1662 (impreso)
ISSN 2225-2029 (en línea)

multidisciplinario; esto será motivo de futuras investigaciones.

4.3. Los pacientes con riesgo intermedio de recurrencia requieren un manejo personalizado que tome en cuenta su situación socioeconómica, geográfica y emocional, para poder reducir las dosis a dar como tratamiento ambulatorio de ser el caso, lo que ha sido recomendado en las guías de la ATA 2015.

5. Agradecimientos

Se agradece el apoyo brindado para el análisis estadístico de los datos al señor Raúl Mantilla, Técnico estadístico del INEN.

6. Bibliografía

[1] Vaccarella S, Franceschi S, Bray F, Wild C, Plummer M, Dal Maso L, Worldwide Thyroid-Cancer Epidemic? The Increasing Impact of Overdiagnosis New England Journal of Medicine 2016; 375(7):614-617

[2] Registro de Cáncer de Lima Metropolitana. Incidencia y mortalidad 2010-2012. Volumen 5 Lima, 2016.

[3] Cooper D, Doherty G, Haugen B, Kloos R, Lee S, Mandel S, *et al*. Revised American Thyroid Association Management Guidelines for Patients With Thyroid Nodules and Differentiated Thyroid Cancer. Thyroid. 2009; 19:1167-1214.

[4] Ravishankar U, Vihar S. I-131 in the management of differentiated thyroid cancer, an update on current recommendations and practices. Apollo Medicine 2009; 6 (4): 347-354.

[5] Jillard C, Scheri R, Sosa J. What is the optimal treatment of papillary thyroid cancer? Advances in Surgery 2015; 49:79-93.

[6] Pitoia F, Califano I, Vásquez A, Faure E, Gauna A, Orlandi A, *et al*. Consenso intersocietario sobre tratamiento y seguimiento de pacientes con cáncer diferenciado de tiroides. Revista Argentina de Endocrinología y Metabolismo 2014; 51 (2): 85-118. Disponible en http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-30342014000200005&lng=es.

[7] Grant C. Recurrence of papillary thyroid cancer after optimized surgery. Gland Surgery 2015; 4(1): 52-62.

[8] Instituto Peruano de Energía Nuclear. [Homepage] Ioduro de sodio I-131. Disponible en http://www.ipen.gob.pe/images/pdf/I-131.pdf

[9] Haugen B, Alexander E, Bible K, Doherty G, Mandel S, Nikiforov Y, *et al*. 2015 American Thyroid Association Management Guidelines for Adult Patients with Thyroid Nodules and Differentiated Thyroid Cancer: The American Thyroid Association Guidelines Task Force on Thyroid Nodules and Differentiated Thyroid Cancer 2016; 26: 1-133.

[10] Wu S, Wang H. Efficacy analysis of I-131 therapy and predictive value of preablation stimulated thyroglobulin for lung metastases from differentiated thyroid cancer. Annales d´ Endocrinologie 2013; 74: 40-44.

[11] Bonichon F, Buy X, Godbert Y, Pointillart V, Figueiredo B, Gangi A, *et al*. Local treatment of metastases from differentiated thyroid cancer. Annales d´ Endocrinologie 2015; 76: 1S40-1S46.

Interpretación del comportamiento log-normal del tenor de uranio en el contexto de rocas ígneas

Jacinto Valencia*, Andrés Palacios, José Maguiña

Instituto Peruano de Energía Nuclear, Dirección de Servicios. Av. Canadá 1470 San Borja, Lima, Perú

Resumen

Se aborda el análisis y tratamiento de los resultados del tenor de uranio obtenidos de una roca intrusiva por el método de espectrometría gamma, los que resultan en una buena correlación entre el uranio y torio cuando se utiliza el logaritmo de estos análisis y se le representa en un diagrama torio/uranio obteniendo una mejor respuesta. Así se establece que la expresión de la distribución log-normal ofrece una mayor aproximación respecto a la distribución espacial del uranio en un depósito mineral. Se muestra la representación de una distribución normal y una distribución log-normal. En la parte interpretativa se explica mediante diagramas el comportamiento de la relación torio/uranio y con relación al potasio a partir de mediciones directas de tenores obtenidos en campo de puntos de muestreo de un sector del granito de San Ramón (SR), y volcánicos del Grupo Mitu (GM) donde se ha identificado al granito de esta unidad como roca fuente de uranio.

Palabras claves: Yacimientos de uranio; Log-normal; Granito; Fuentes de uranio

Behaviour interpretation log-normal tenor of uranium in the context of intrusive rocks

Abstract

Analysis and processing of the results of the tenor of uranium obtained from a rock intrusive by the method of gamma spectrometry, which result in a better correlation between uranium and thorium when the logarithm of these analyzes is used is discussed and is represented in a thorium/uranium diagram obtaining a better response. This is provided that the expression of the lognormal distribution provides a closer relation to the spatial distribution of uranium in a mineral deposit. The representation of a normal distribution and a log-normal distribution is shown. In the interpretative part explained by diagrams the behavior of the thorium/uranium and relation to potassium from direct measurements of tenors obtained in the field of sampling points of a section of granite San Ramón (SR) relationship, and volcanic Mitu Group (GM) where it has identified the granite rock of this unit as a source of uranium.

Keywords: Uranium deposits; Log-normal; Granite; Uranium sources

1. Introducción

En la corteza de la tierra, la concentración de elementos radiactivos generalmente siguen una distribución log-normal; lo mismo sucede cuando se analizan muestras de prospección o exploración no importa que elemento sea, la distribución que estos muestran por lo general son tenores mayormente bajos, los cuales conforme se van incrementando en valores más altos estos se hacen cada vez menos frecuentes (distribución sesgada positiva), hecho que ocurre casi siempre en cualquiera que sea el tipo de yacimiento mineral [1].

Con relación a la medición de radiación gamma, se debe indicar que la información radimétrica suministrada por la actividad de los elementos integrantes de la cadena de desintegración del uranio está condicionada a una situación de equilibrio entre los citados elementos, vale decir que todos ellos deben de estar presentes en el mineral y en determinadas proporciones.[†]

Tres son los elementos de la cadena de desintegración radiactiva del uranio que pueden migrar produciendo desequilibrio: el U-234 y Ra-226 solubles en agua, y el Rn-222 un gas de gran movilidad. El U-234 pertenece al grupo del uranio y el Ra-226 y

*Correspondencia autor: jvalencia@ipen.gob.pe

[†] Las razones entre las cantidades de radionucleidos que la integran permanecen constantes, durante un tiempo determinado.

ISSN 1684-1662 (impreso)
ISSN 2225-2029 (en línea)

Rn-222 al grupo del radio; la migración de los mismos ocasiona la ausencia de un elemento que se encuentra *a posteriori* en la cadena, el Bi-214 cuyo nivel de energía de 1.762 MeV presenta un pico característico dentro del espectro.

Si se tiene presente que del 100 % de la información gamma total, el 2 % pertenece al grupo del uranio y el 98 % restante al grupo del radio, se deduce que los dos elementos más importantes a considerar como causa del desequilibrio son el Ra-226 y el Rn-222.

En el tratamiento de resultados de uranio procedentes de mediciones por espectrometría gamma *in situ* se observa que los valores al ser interpretados en un diagrama Th/U, el logarítmo de estos valores son los que mejor responden al establecer la correlación secular de la proporción Th/U = 4. Sin embargo, un desbalance de esta relación nos indica que los minerales de uranio presentes en el granito han sufrido modificación por efectos de removilización; en consecuencia, esto determina como roca fuente de uranio facies del granito, indicando desde el punto de vista geoquímico diferenciación magmática.

La Figura 1 se muestra los diagramas de la distribución normal y distribución log-normal, ésta última distribución generalmente está caracterizada en términos de la variable log-transformada, utilizando como parámetro el valor de la media de su distribución o la desviación estándar [2].

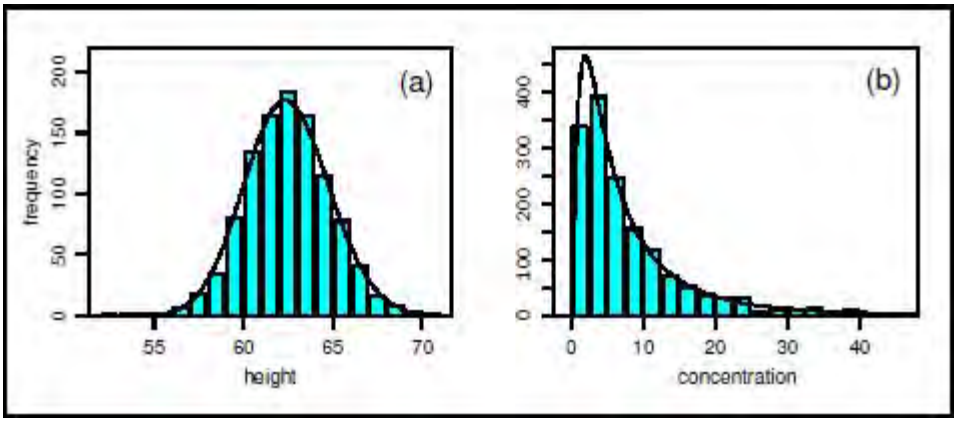


Figura 1. Ejemplos: (a) distribución normal (b) distribución log-normal.

2. Metodología

El estudio se basa en información levantada en campo de mediciones por espectrometría gamma *in situ* en la zona "Villa Progreso" en el granito de San Ramón-La Merced, Región Junín, referenciada por un posicionador satelital de coordenadas (N 8'789,133 E 469,862), donde se han efectuado determinaciones de la concentración de actividad de uranio equivalente (U_e), en este caso en un espectrómetro portátil modelo RS-230 BGO. Igualmente, se han realizado mediciones de las concentraciones de la actividad de los elementos Th y K, las lecturas corresponden a un perfil de campo sobre afloramiento del granito, de las que no ha sido necesario tomar la muestra.

Los tenores de U-Th-K obtenidos en las mediciones de campo, como el logaritmo calculado de estos valores se muestran en la (Tabla 1) se puede apreciar que tanto los tenores de uranio y torio medidos en campo por el espectrómetro gamma no guardan la proporcionalidad del equilibrio secular (relación Th/U = 4) sus logaritmos de estos han sido utilizados para elaborar los diagramas de la relación Th-U y U-K que se ilustran en la Figuras 2 y 3. A partir de estos diagramas se han efectuado las interpretaciones del comportamiento del uranio en la roca granito bajo estudio.

Tabla 1. Tenores de espectrometría gamma de U-Th-K, Granito de San Ramón.

N° Muestra	Código	Espectrometría gamma						Observaciones
		K (%)	Log	U (ppm)	Log	Th (ppm)	Log	
1	SR-1.12.a	6.3	1.84	62.8	4.13	820	6.7	roca intrusiva, granito rojo
2	SR-1.12.b	7.3	1.98	96.5	4.56	1256	7.13	roca intrusiva, granito rojo
3	SR-1.12.c	6.6	1.88	30.7	3.42	365	5.89	roca intrusiva, granito rojo
4	SR-1.12.1	5.9	1.77	12.9	2.55	92.3	4.52	roca intrusiva, granito rojo
5	SR-1.12.2	11.3	2.42	85.7	4.45	1263	7.14	roca intrusiva, granito rojo
6	SR-1.15.3	6.4	1.85	12.4	2.51	77.6	4.35	granito rojo grano grueso, biotítico
7	SR-1.15.4	8.4	2.12	49.5	3.9	921.3	6.82	granito rojo grano grueso, biotítico
8	SR-1.15.4.1	5.8	1.75	16	2.44	176.4	5.17	granito rojo grano grueso, biotítico
9	SR-1.15.5	5.4	1.68	11.4	2.43	59.6	4.08	granito rojo grano grueso, biotítico
10	SR-1.15.6	7.5	2.01	29.3	3.37	880	6.77	granito rojo grano grueso, biotítico
11	SR-1.15.7	5.9	1.77	32	3.46	388.5	5.96	granito rojo grano grueso, biotítico
12	SR-1.15	5.2	1.64	7	1.94	30.2	3.4	granito rojo grano grueso, biotítico
13	GM-1.16	5.8	1.75	8.6	2.15	15.2	2.72	base contacto granito/Gpo. Mitu
14	GM-1.16	6.7	1.9	8.8	2.17	17.9	2.88	base contacto granito/Gpo. Mitu
15	GM-1.16	6.4	1.85	7.4	2	20.6	3.02	base contacto granito/Gpo. Mitu

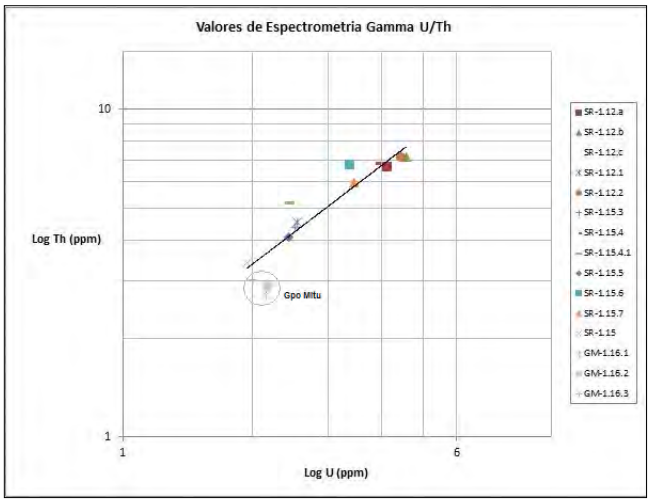


Figura 2. Muestra la relación, en el eje de las abscisas el log de los valores de U y en el eje de las ordenadas el log de los valores de Th.

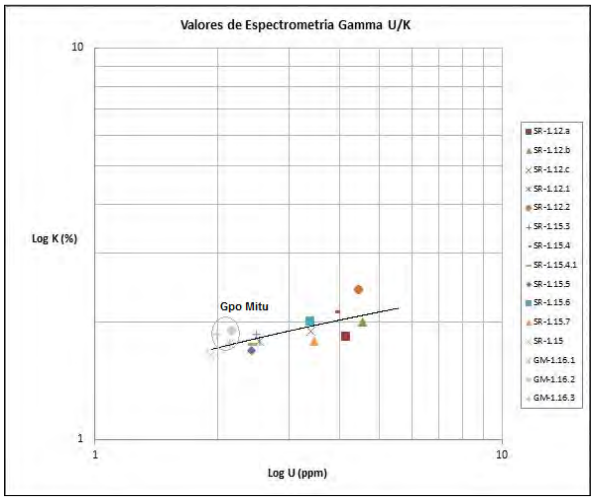


Figura 3. Muestra la relación en el eje de las abscisas el log de los valores de U y en el eje de las ordenadas el log de los valores de K.

3. Resultados y discusión

En el presente estudio el tratamiento de los valores de uranio obtenidos por espectrometría gamma, cuando se les interpreta a partir del logaritmo (comportamiento log-normal del tenor de uranio) y se les representa en diagrama binario Th/U, muestran una correlación lineal positiva y se interpreta que estos dos elementos radiactivos tienen la misma filiación metalogenética y, orienta la prospección con mayor claridad en las etapas iniciales, donde predominan valores generalmente bajos en uranio posibilitando una mejor interpretación de su repartición espacial (concentración) y la orientación de la prospección.

Con relación a la procedencia de las muestras pertenecen a ambiente ígneo y representada por la asociación magmatica; el vulcanismo del grupo Mitu, integrada por andesitas y areniscas rojas, y la intrusiva el granito de San Ramón que por su contenido de uranio caracteriza a cada unidad ígnea cuando se establece la relación con el contenido de torio; en este caso, en los diagramas de las Figuras 3 y 4 se muestra una clara diferencia entre dos tipos de rocas, volcánicas e intrusivas, información que nos permite afirmar que si bien tienen un origen co-genético no muestran una correlación, debido a que en estas últimas se ha producido en el

ISSN 1684-1662 (impreso)
ISSN 2225-2029 (en línea)

tiempo de emplazamiento un gradual enriquecimiento en uranio por diferenciación magmática, pasando a constituirse en granito fértil a diferencia de la modalidad considerada por Roger & Adams [3].

Las anomalías de uranio de la zona en estudio tienen un claro control litológico. En la Tabla 1 las muestras de granito (SR) tienen tenor medio de 37.2 ppm de U y 527 ppm de Th, las muestras de rocas volcano-detríticas del paleozoico (GM) tienen tenor más bajo, 8.2 ppm de U y 17.9 de Th, y establece que se ha producido removilización de uranio en el seno del granito de San Ramón, dando lugar a formación de depósitos de uranio que en la etapa de exploración del granito se debe definir.

4. Conclusiones

a. Mediciones de U, Th y K *in situ* por espectrometría gamma en rocas intrusivas ofrecen información útil en las etapas iniciales de la fase exploratoria determinado zonas anómalas en contenido de uranio.

b. El logaritmo de tenores de uranio y torio, representados en un diagrama Th/U, permiten una mejor discriminación de tipos de rocas de un origen co-genético como en este contexto de rocas del Grupo Mitu integradas en este caso por andesitas y areniscas rojas, y facies del granito de San Ramón.

c. Las muestras de rocas volcano-detríticas (andesitas y areniscas) del paleozoico (GM) con un log medio de 2.10 de U y log 2.87 de Th; las muestras de facie granito rojo de log promedio de 3.82 de U y 6.27 de Th; el de facie granito biotítico el log promedio de 2.80 de U y log 5.22 de Th. Por la relación de proporcionalidad de estos se indica que la facie de granito rojo con una relación de log Th/U=1.64 representa la de mayor favorabilidad, por diferenciación y removilización de uranio.

d. Rocas del tipo volcáno-detríticas (andesitas, areniscas) e intrusivas (granito), pertenecientes al mismo contexto metalogenético, en estas últimas el contenido de uranio se debe a la ocurrencia de un proceso de enriquecimiento de este elemento por diferenciación en el ciclo magmático, dando lugar a un nuevo modelo de depósito de uranio en el país que eleva el potencial.

5. Bibliografía

[1] Canchaya MS. Log-normalidad y efecto proporcional características frecuentes en los yacimientos de oro. XII Congreso Peruano de Geología. Lima, octubre, 2004.

[2] Limpert E, Stahel WA, Abbt M. Log-normal distributions across the Sciences: Keys and clues. BioScience; 2001, 51(5): 341-352.

[3] Roger JJW, Adams JA. Geochemistry of uranium. In: Wedepohl KH, ed. Handbook of geochemistry. Berlin: Springer-Verlag; 1969.

Radiation dose map at the Peruvian Antarctic Station

José Osores*, Susana Gonzáles

Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú.

Abstract

During January 2015, gamma-absorbed dose rates of natural radionuclides above ground were calculated throughout different areas of the Peruvian Antarctic Station "Machu Picchu". The median outdoor gamma dose rate in air was determined as 43 ± 5 nGy/h. Using the data obtained in this study the median annual dose was found to be about 376 ± 44 μGy. These dose values are far below the doses reported in Peruvian territory due to the geographical location of the station.

Key words: Antarctic; Natural radioactivity; Dose rates

Mapa de dosis de radiación en la Estación Antártica Peruana

Resumen

Durante enero de 2015, tasas de dosis gamma absorbidas debido a radionúclidos naturales por encima del suelo fueron calculadas a través de diferentes áreas de la Estación Antártica Peruana "Machu Picchu". La tasa de dosis gamma media al aire libre en el aire fue 43 ± 5 nGy/h. Utilizando los datos obtenidos en este estudio la dosis anual promedio se encontró que era aproximadamente de 376 ± 44 μGy. Estos valores de dosis se encuentran muy por debajo de las dosis reportadas en el territorio peruano debido a la ubicación geográfica de la estación.

Palabras clave: Antártica; Radiactividad natural; Tasas de dosis

1. Introduction

Soils of Antarctica are widely regarded as poor regarding nutrients, places for plants and habitats for organisms. Some authors described them as young soils without horizons and raw in terms of their functions for soil processes [1]. King George Island has an ice-free area of about 8 %, weathered soils derived mainly from volcanic rock (andesite basalts and theirs pyroclastics), however, sedimentary rock may be also important in few sites. The periglacial condition with cryoturbation widely prevents active plant growth. Nevertheless, a great variety of soils has been described for Arctowski region, such as Haplorthels, Umbriturbels, Umbriorthels, Aquiturbels, Haploturbels, Sapristels, Mollorthels, and Psammorthels as determined according to Soil Survey Stuff 1998 [2]. Cryosols, Leptosols, Regosols and Fluvisols (WRB taxonomy) are described as main types for the Keller Peninsula region [3].

Ongoing climate warming affects Antarctic environments like others in the world. Several indicators show these effects which can be seen in ecological studies. For example the spread of the endemic higher plants to new places, so far only covered by lichens or mosses, leading to new environments with higher trophic relationships, followed by significant changes in the soil environment. Natural radioactivity is wide spread in the earth's environment; it exists in biotic and abiotic components. Environmental natural gamma radiation is formed from natural radionuclides include the primordial radioactive elements in the earth's crust, their radioactive decay products, and radionuclides produced by cosmic-radiation interactions. Low levels of uranium, thorium, and their decay products are found everywhere; however, locations with higher concentrations of these radionuclides in their soil have higher dose levels. Natural radionuclides in soil generate a significant component of the background radiation exposure of the population [4].

Gamma radiation intensity in a region depends on soil and geographic structure. The natural radioactivity in soil comes mainly from the ^{238}U, ^{232}Th decay series and natural ^{40}K, respectively [5].

Perú has been a State Party to the Antarctic Treaty since 1981, and has been accepted as a Consultative Party in 1989. In order to

* Corresponding author: josores@ipen.gob.pe

ISSN 1684-1662 (impreso)
ISSN 2225-2029 (en línea)

develop scientific studies in situ Perú established a Scientific Station, named Machu Picchu (ECAMP), located at King George Island in Admiralty Bay, which is used as a summer station [6]. The main objective of this study was to evaluate the annual absorbed dose from outdoor terrestrial radiation. This study would be useful for establishing base line data on the gamma background radiation levels in different areas of the ECAMP for assessment of radiation exposures to the environment and possible variations due to climate change.

2. Material and methods

The Machu Picchu Scientific Station (62°5´ S, 58°28´W) is a Peruvian polar scientific research facility in Antarctica (Fig. 1), established to conduct Antarctic research on environmental chemistry, physics, climatology and biology. The surface area of study is about 0.2 km^2. Influence area cover 0.38 km distance from the Station (Table 1, Fig. 2). During January 2015, gamma dose rates were measured on the surface using a portable digital personal radiation detector RadEye PRD Thermo Scientific.

3. Results and discussion

The contribution of natural radionuclides to the absorbed dose rate in air (ADRA) depends on the concentrations of the radionuclides in the soil. The greatest part of the gamma radiation comes from terrestrial radionuclides. There is a direct connection between terrestrial gamma radiation and radionuclide concentrations in soil.

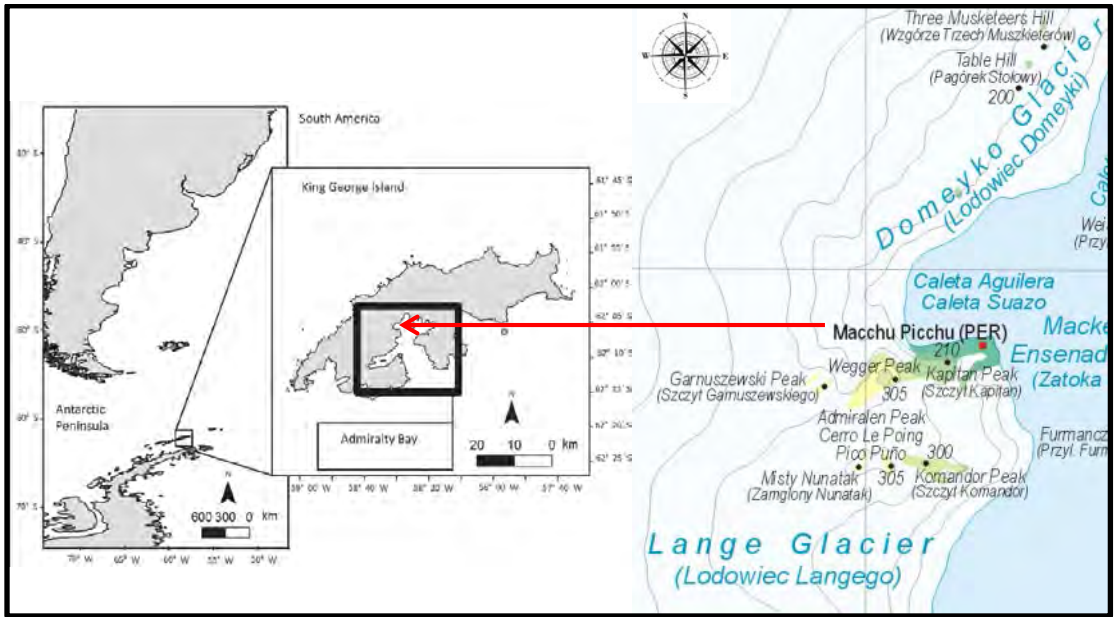


Figure 1. Admiralty Bay, King George Island –Makellar Inlet. Peruvian Antarctic Station "Machu Picchu".

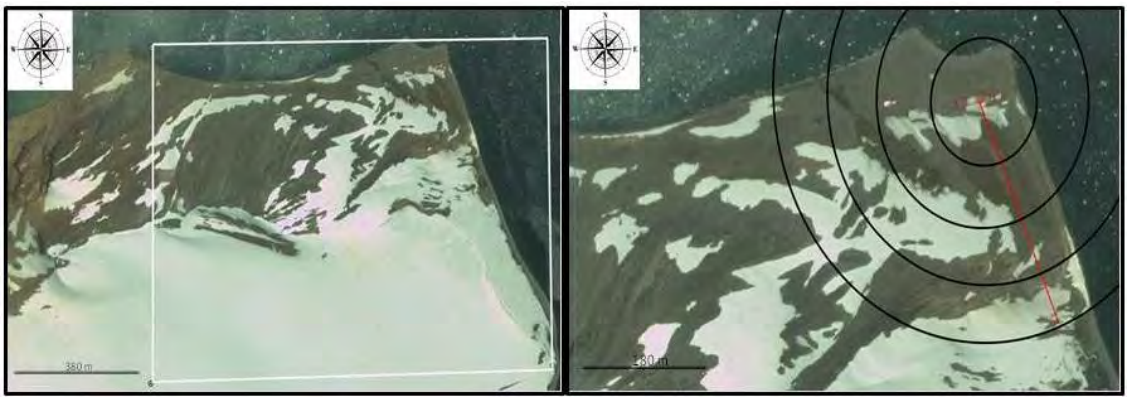


Figure 2. Surface area of study and influence area of the Peruvian Antarctic Station.

Outdoor gamma dose rates were determined in 140 sampling areas. Total outdoor gamma dose rates are presented in Table 1.

The Kolmogorov–Smirnov statistic quantifies a distance between the empirical distribution function of the sample and the cumulative distribution function of the reference distribution. The frequency Table and Kolmogorof-Smirnov Test show that the dose distribution is not homogeneous in the area (Fig. 3). Therefore the values of radioactivity in the area of estuary do not follow a normal distribution. The data has a value ranged between 31.5 and 71.1 nGy/h, it has a median value of 42.95 nGy/h and the median absolute deviation (MAD) for this data is 5.03 nGy/h with a variability of 14.58 %. Annual gamma dose was calculated as 376 ± 44 μGy.

Table 1. Absorbed dose rates above soil in the Peruvian Antarctic Station (2014).

#	Latitude	Longitude	nGy/h	#	Latitude	Longitude	nGy/h	#	Latitude	Longitude	nGy/h	#	Latitude	Longitude	nGy/h
1	-62.0915	-58.4711	46.0	36	-62.0914	-58.4706	39.9	71	-62.0919	-58.4684	39.3	106	-62.0917	-58.4691	40.6
2	-62.0911	-58.4713	48.6	37	-62.0912	-58.4695	43.3	72	-62.0917	-58.4687	37.2	107	-62.0911	-58.4689	42.9
3	-62.0908	-58.4714	44.3	38	-62.0914	-58.4692	48.3	73	-62.0996	-58.4616	33.9	108	-62.0915	-58.4688	41.6
4	-62.0908	-58.4720	44.3	39	-62.0914	-58.4691	46.0	74	-62.0992	-58.4617	38.2	109	-62.0919	-58.4684	41.9
5	-62.0910	-58.4720	43.6	40	-62.0916	-58.4698	42.6	75	-62.0992	-58.4617	38.2	110	-62.0923	-58.4680	41.9
6	-62.0912	-58.4717	40.9	41	-62.0917	-58.4691	42.3	76	-62.0988	-58.4618	35.2	111	-62.0928	-58.4676	40.3
7	-62.0911	-58.4723	50.3	42	-62.0919	-58.4690	42.9	77	-62.0983	-58.4622	36.6	112	-62.0932	-58.4674	47.0
8	-62.0910	-58.4731	48.0	43	-62.0921	-58.4688	45.3	78	-62.0979	-58.4626	37.9	113	-62.0917	-58.4896	47.6
9	-62.0913	-58.4734	44.6	44	-62.0924	-58.4686	47.0	79	-62.0975	-58.4632	34.2	114	-62.0914	-58.4735	49.3
10	-62.0912	-58.4740	35.9	45	-62.0926	-58.4683	44.3	80	-62.0971	-58.4637	35.2	115	-62.0918	-58.4887	47.0
11	-62.0911	-58.4736	37.9	46	-62.0928	-58.4680	42.9	81	-62.0967	-58.4642	38.2	116	-62.0920	-58.4873	44.0
12	-62.0913	-58.4739	47.0	47	-62.0932	-58.4677	43.3	82	-62.0967	-58.4642	38.2	117	-62.0920	-58.4854	44.6
13	-62.0914	-58.4744	44.6	48	-62.0930	-58.4687	47.0	83	-62.0964	-58.4648	33.9	118	-62.0920	-58.4829	46.3
14	-62.0914	-58.4754	37.9	49	-62.0934	-58.4679	51.0	84	-62.0959	-58.4652	36.6	119	-62.0918	-58.4787	49.3
15	-62.0915	-58.4769	35.9	50	-62.0936	-58.4678	49.3	85	-62.0955	-58.4656	44.0	120	-62.0915	-58.4754	42.3
16	-62.0916	-58.4778	40.3	51	-62.0936	-58.4684	56.0	86	-62.0943	-58.4667	48.0	121	-62.0924	-58.4793	47.3
17	-62.0917	-58.4787	34.9	52	-62.0932	-58.4675	42.9	87	-62.0933	-58.4680	48.6	122	-62.0926	-58.4806	39.3
18	-62.0918	-58.4792	36.9	53	-62.0942	-58.4670	47.3	88	-62.0934	-58.4679	53.3	123	-62.0922	-58.4815	39.3
19	-62.0918	-58.4797	37.6	54	-62.0942	-58.4681	45.0	89	-62.0934	-58.4679	50.3	124	-62.0922	-58.4764	47.0
20	-62.0919	-58.4806	35.9	55	-62.0951	-58.4662	52.3	90	-62.0936	-58.4678	50.3	125	-62.0917	-58.4748	44.6
21	-62.0918	-58.4786	36.6	56	-62.0955	-58.4656	37.6	91	-62.0936	-58.4684	47.3	126	-62.0928	-58.4727	44.0
22	-62.0920	-58.4790	37.9	57	-62.0959	-58.4653	36.9	92	-62.0951	-58.4702	41.9	127	-62.0922	-58.4718	49.3
23	-62.0921	-58.4795	33.9	58	-62.0963	-58.4646	37.2	93	-62.0954	-58.4702	42.9	128	-62.0930	-58.4677	53.3
24	-62.0922	-58.4805	31.5	59	-62.0970	-58.4640	34.9	94	-62.0936	-58.4695	55.0	129	-62.0927	-58.4682	48.3
25	-62.0922	-58.4812	35.2	60	-62.0975	-58.4633	32.2	95	-62.0936	-58.4695	55.0	130	-62.0925	-58.4683	56.7
26	-62.0921	-58.4774	40.9	61	-62.0978	-58.4628	37.9	96	-62.0938	-58.4705	42.3	131	-62.0920	-58.4688	55.0
27	-62.0922	-58.4761	45.6	62	-62.0982	-58.4622	38.2	97	-62.0938	-58.4723	50.0	132	-62.0917	-58.4690	42.3
28	-62.0923	-58.4764	41.3	63	-62.0986	-58.4618	34.6	98	-62.0950	-58.4738	49.3	133	-62.0919	-58.4696	48.0
29	-62.0920	-58.4757	48.6	64	-62.0990	-58.4617	37.2	99	-62.0944	-58.4745	47.6	134	-62.0919	-58.4697	71.1
30	-62.0917	-58.4748	40.6	65	-62.0996	-58.4616	38.6	100	-62.0940	-58.4745	36.2	135	-62.0924	-58.4695	49.7
31	-62.0920	-58.4745	37.6	66	-62.0995	-58.4614	33.9	101	-62.0939	-58.4734	49.7	136	-62.0914	-58.4701	51.0
32	-62.0921	-58.4739	35.9	67	-62.0989	-58.4617	35.6	102	-62.0931	-58.4688	51.7	137	-62.0912	-58.4709	49.3
33	-62.0927	-58.4735	35.6	68	-62.0986	-58.4617	38.9	103	-62.0929	-58.4678	45.6	138	-62.0914	-58.4715	52.0
34	-62.0915	-58.4736	38.6	69	-62.0925	-58.4679	37.2	104	-62.0925	-58.4682	49.0	139	-62.0912	-58.4724	48.6
35	-62.0916	-58.4724	39.9	70	-62.0922	-58.4681	38.6	105	-62.0921	-58.4687	46.0	140	-62.0925	-58.4683	45.6

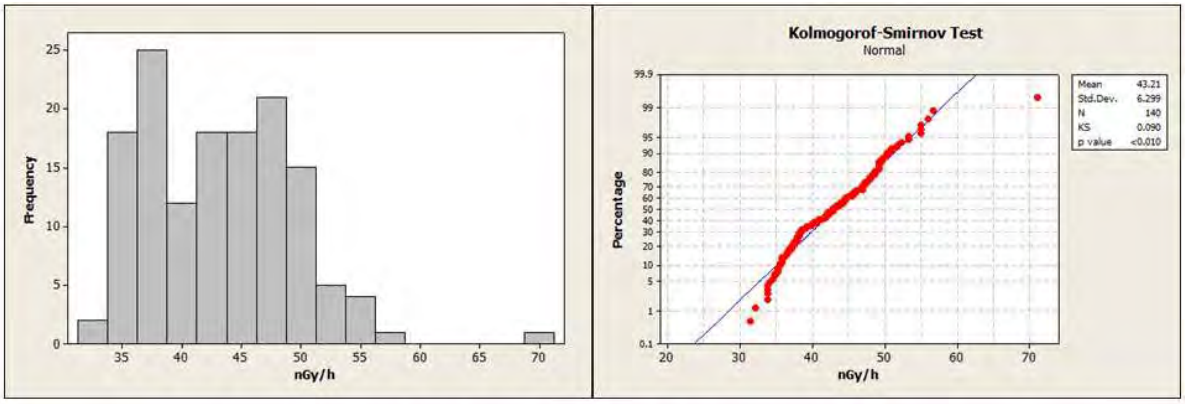


Figure 3. Frequency table and Kolmogorof-Smirnov test.

The contour map of the dose rate shows that the highest levels are found in the area of the scientific station site (Figure 4). The dose values are far below the doses reported in the Peruvian territory due to the geographical location of the statio, Benavente, Celedonio

ISSN 1684-1662 (impreso)
ISSN 2225-2029 (en línea)

and Manosalva report on Peruvian territory, depending on the height above sea level, environmental effective dose values above 100 nSv/h [7, 8, 9, 10]. On the other hand, the average outdoor gamma dose rate in air of Turkey was 118 nGy/h [11].

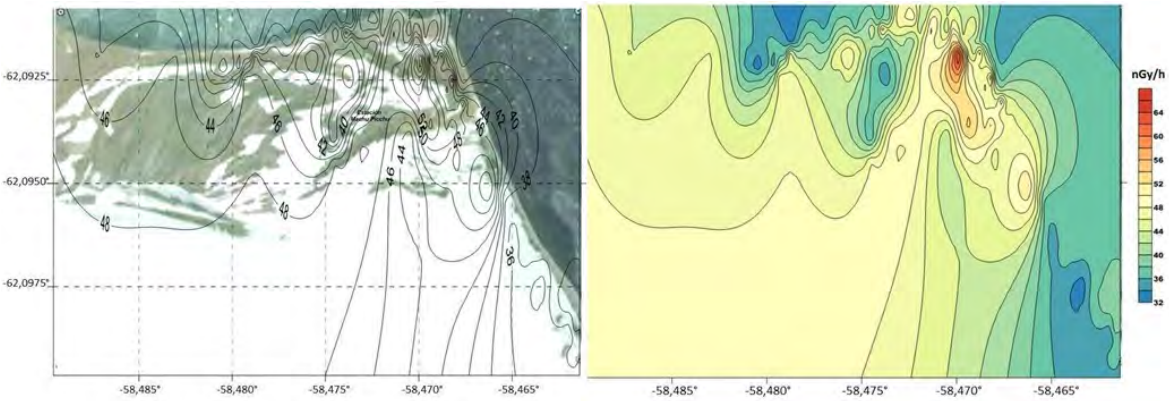


Figure 4. Distribution of absorbed dose in the study area.

4. Conclusions

A total of 140 measurements were made covering the area of the Peruvian Antarctic Station "Machu Picchu". From the measurements made here, the average outdoor gamma dose rate in air due to terrestrial and cosmic radiations was found to be about 43 nGy/h and the median annual dose was found to be about 376 μGy.

5. References

[1] Tedrow JCF, Ugolini FC. Antarctic soils. In: Tedrow JCF, ed. Antarctic soils and soil forming processes. American Geophysical Union Antarctic Research Series 8:161–177; 1966.

[2] Blume HP, Beyer L, Kalke E, Kuhn D. Weathering and soil formation. In: Beyer L, BölterM, Eds. Geoecology of Antarctic Ice−free Coastal Landscapes. Ecological Studies 154. Berlin: Springer; 2002.

[3] Francelino MR, Schaefer C, Filho E, Simas F, Albuquerque M.R. Soils developed from volcanics in Keller Peninsula, King George Island, Antarctica: Formation and mapping. In: 18th World Congress of Soil Science. 2006 Jul 9–15; Philadelphia, USA; 2006. p. 175−4.

[4] Karahan G, Bayulken A. Assessment of gamma dose rates around Istanbul (Turkey). Journal of Environmental Radioactivity. 2000; 47: 213-221.

[5] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Biological Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report Vol. I Annex B. New York: United Nations; 2000.

[6] Oyarce-Yuzzelli A. 2008. Peru and the environmental protection of Antarctica. In: Tamburelli G, Ed. The Antarctics legal system: The protection of the environment of the polar regions.. Istituto di Studi Giuridici Internazionali. Rome: Giuffré Editore; 2008.

[7] Benavente T, Celedonio E. Medición de radiación ambiental en el Centro Nuclear "RACSO" usando dosimetría termoluminiscente. Revista de Investigación de Física. 1998; 1(1): 60-62.

[8] Benavente T, Celedonio E. Medición de la radiación ambiental en el Centro Nuclear "RACSO" usando dosímetros termoluminiscentes. Informe Científico Tecnológico; 2003. p. 148.

[9] Manosalva J. Radiación ambiental en el eje vial Amazonas Centro (Lima-Tingo María). Revista del Instituto de Investigación FIGMMG. 2010; 13(25): 70-74.

[10] Manosalva J. Radiación ambiental en la ruta Cusco-Machu Picchu. Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geogáficas. 2013; 15(30): 116-119.

Desarrollo de una red inalámbrica para el registro automático de parámetros en los laboratorios de técnicas analíticas nucleares

Jean Pierre Tincopa[1,*], Oscar Baltuano[2], Patricia Bedregal[2]

[1] Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Nacional del Callao, Av. Juan Pablo II 306, Bellavista, Callao, Perú.

[2] Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú.

Resumen

En este artículo se presenta el desarrollo de una red inalámbrica de bajo costo, para el registro automático de los parámetros de temperatura y humedad ambiental en las instalaciones de los laboratorios de técnicas analíticas nucleares. El prototipo desarrollado cuenta con un sensor DHT22 que otorga ambos parámetros con alta precisión de manera automática, los mismos que son leídos y visualizados mediante un microcontrolador ATmega328P. Estos datos son luego transmitidos mediante transceivers Xbee Pro S2B formando una red mesh para su posterior almacenamiento en una memoria micro SD en tiempo real mediante un RTC (Real Time Clock). Se muestran los resultados experimentales obtenidos en la implementación del mismo.

Palabras claves: Red mesh; Transceiver; Xbee; Laboratorios; Temperatura; Humedad

Wireless network development for the automatic registration of parameters in laboratories of nuclear analytical techniques

Abstract

This paper presents in detail the development of a low-cost wireless network for automatic recording of temperature and relative humidity parameters in the laboratory of nuclear analytical techniques. This prototype has a DHT22 sensor which gives us both parameters with high precision and are automatically read and displayed by a ATmega328P microcontroller. This data is then transmitted through transceivers Xbee Pro S2B forming a mesh network for real time storage using an RTC (Real Time Clock). We present the experimental results obtained in its implementation.

Keywords: Mesh network; Transceiver; Xbee; Laboratories; Temperature; Humidity

1. Introducción

En la actualidad, mundialmente se utilizan diferentes métodos de monitoreo mediante redes de sensores [1,2], muchos de los cuales tienen aplicaciones para el control [3] y predicción de eventos [4], destacando los mismos por su implementación a traves de microcontroladores de bajo costo.

Un requerimiento de la Norma ISO 17025 es el registro de las condiciones ambientales del laboratorio donde se llevan a cabo los ensayos de análisis. Los laboratorios de Técnicas Analíticas del IPEN cuentan con sensores analógicos de temperatura y humedad ambiental, que registran de forma manual cada uno de estos parámetros, siendo ésta una tarea que consume tiempo del analista y es susceptible al error humano, además solo posibilita realizar un limitado número de mediciones por día y no permite el registro los días no laborables, también no admite el registro directo de la información en una base de datos.

Debido a la creciente aplicación de sistemas automatizados en los laboratorios de análisis químicos se implementó un sistema automatizado de monitoreo de las condiciones ambientales, que permita el registro directo de la información en una computadora central, considerando que se viene desarrollando una red controladora de porcesos en dichos laboratorios [5].

En este trabajo presentamos los procedimientos para elaborar un conjunto de dispositivos que conforman una red inalámbrica de monitoreo de los parámetros,

* Correspondencia autor: jp.tincopa@gmail.com

ISSN 1684-1662 (impreso)
ISSN 2225-2029 (en línea)

temperatura y humedad relativa, los cuales en conjunto conforman una red que usa topología Mesh [6], haciendo uso de algunos de ellos como clusters [7]. Para la elección de los sensores se tomó en cuenta los requisitos de la World Metereological Organization (WMO) teniendo una resolución de 0.1 celcius para la temperatura y 0.1 % para la humedad [8], éstos parámetros son cumplidos por el sensor DHT22 [9].

2. Experimental

El desarrollo de la red de comunicación se realizó mediante microcontroladores de 8 bits, además de dispositivos transceiver para la transimisión y recepción de datos. La información adquirida fue almacenada dentro de una memoria micro SD conteniendo la hora y fecha obtenida atraves de un reloj en tiempo real (Real Time Clock).

2.1. Procedimiento

El procedimiento contempla el diseño del software y los materiales necesarios para el desarrollo de la red inalámbrica de sensores.

2.1.1. Diseño del software

En la Figura 1 se presenta el diagrama de flujo que describe el comportamiento de toda la red, en ella podemos ver que se realiza una validación previa de los datos obtenidos, antes de pasar a la etapa de transmisión de los mismos; luego, el nodo central recoje los datos para almacenarlos con una estampa de tiempo en formato de tablas para que sean postprocesados.

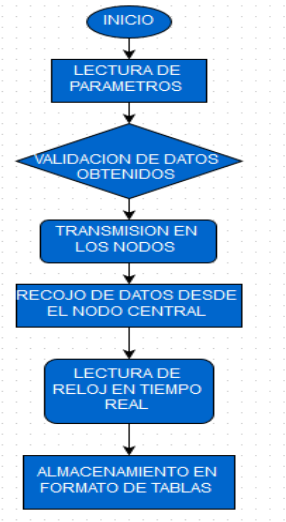


Figura 1. Diagrama de flujo del comportamiento de la red.

Figura 2. Captura de pantalla de programa XCTU.

2.1.2. Materiales

– Arduino IDE: Entorno de programación para toda la gama de módulos de Arduino.
– XCTU (Figura 2): Programa para establecer los parámetros de los transceivers Xbee como nombre de la red, MAC, Nivel de potencia y número de canales.
– Librerías de programación de Xbee, RTCLib, DHT, SPI, Wire.

2.2. Descripción de la red

La red implementada es del tipo mesh, en la cual los nodos intermedios actúan como repetidores (Figura 3). Está compuesta por un conjunto de 3 nodos, 2 Router/End Device y un Coordinator, ubicadas cada uno en una sala distante una de la otra. En el proceso de diseño se ha considerado diferentes etapas por nodo (Figuras 4 y 5).

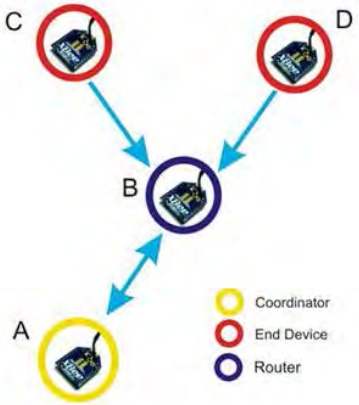


Figura 3. Topología de la red [10].

La Figura 4 muestra las etapas para el caso de los nodos Router/End Device, mientras que la Figura 5 muestra las etapas para el caso del nodo Coordinator.

Figura 4. Etapas de los nodos Router/End Device.

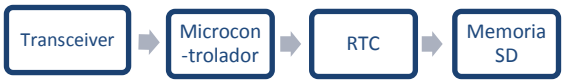


Figura 5. Etapas del nodo Coordinator.

2.3. Hardware utilizado

– Sensor DHT22: Sensor digital que nos otorga los valores de temperatura y humedad ambiental con alta precisión y con amplio rango (Figura 6).
– Arduino UNO: Módulo de programación que cuenta con el microcontrolador ATmega328P de 8 bits a 16MHz.
– Shield RTC – SD: Placa compatible con el módulo Arduino que cuenta con un Real Time Clock que se comunica por el bus I2C y una interfaz para memoria SD comunicada mediante el bus SPI.
– Shield Xbee: Placa compatible para comunicación entre el microcontrolador y el transceiver mediante comunicación serial UART.

Figura 6. Sensor DHT22

Adicionalmente, para las pruebas dentro de los laboratorios se diseñaron estructuras de plástico para todos los nodos de la red mediante impresión 3D (Figura 7).

Asímismo, con el archivo obtenido en formato de tablas (CSV) se hace uso de una hoja de cálculo para generar una gráfica (Figura 8) que permite visualizar el comportamiento de la temperatura (línea roja) y humedad relativa (línea azul) de una de las salas del laboratorio a lo largo de alrededor de 1171 segundos, en ella se observa que la temperatura tiende a ser un valor estable a lo largo del tiempo a diferencia de la humedad que tiende a tener cambios bruscos en sus valores.

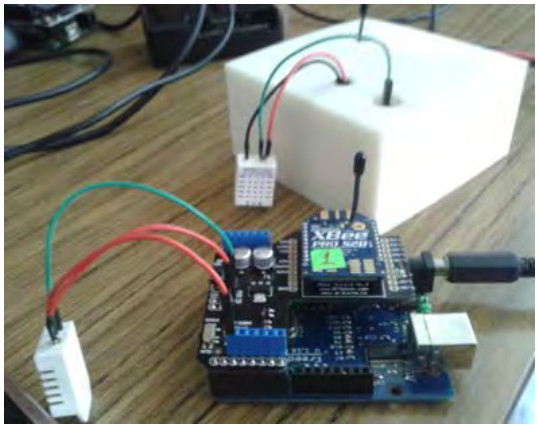


Figura 7. Nodo dentro del Case 3D.

3. Resultados y discusión

En la Figura 1 se puede apreciar el funcionamiento de la red que se inicia con una validación previa de los datos obtenidos, antes de pasar a la etapa de transmisión de los mismos; luego, el nodo central recoje los datos para almacenarlos con una estampa de tiempo en formato de tablas para que sean postprocesados.

Los resultados de la prueba de registro automático de temperatura y humedad se muestran en la Tabla 1. Se han monitoreado dos laboratorios simultánemente y se puede observar que los datos obtenidos por el sistema desarrollado son consistentes con los datos medidos con los instrumentos clásicos dentro del laboratorio (Sala 1: T = 24 °C , H = 56 % y Sala 2: T = 24.2 °C y H = 54 %).

Las mediciones obtenidas con confirman el correcto desempeño de la red de sensores en el tiempo. Actualmente, el nodo coordinador es encendido mediante una fuente de alimentación y los nodos transmisores utilizan baterías de 12V para operar.

No obstante que las pruebas se han realizado únicamente con dos puntos de medición, el sistema es fácilmente escalable a mayor número de puntos. Teóricamente, el protocolo ZigBee utilizado permite incluir dentro de su topología un máximo de 65,535 nodos; sin embargo, para esta aplicación el requerimiento de nodos es significativamente menor, razón por la cual la tasa y velocidad de transferencia de datos no se verá afectada por la carga de los nodos adicionales que se

ISSN 1684-1662 (impreso)
ISSN 2225-2029 (en línea)

implementarían.

Tabla 1. Valores obtenidos de temperatura y humedad relativa para la Sala 1 y Sala 2, respectivamente en forma simultánea.

	Fecha	Hora	Temperatura Sala 1 (°C)	Humedad Sala 1 (%)	Temperatura Sala 2 (°C)	Humedad Sala 2 (%)
1	14/10/2015	10:29:31	23.9	56	24.3	54
2	14/10/2015	10:29:32	23.9	56	24.3	54
3	14/10/2015	10:29:33	23.8	56	24.3	54
4	14/10/2015	10:29:35	23.8	56	24.1	54
5	14/10/2015	10:29:36	23.8	56	24.1	54
6	14/10/2015	10:29:41	23.8	56	24.3	54
7	14/10/2015	10:29:42	23.8	56	24.3	54
8	14/10/2015	10:29:43	23.8	56	24.1	55
9	14/10/2015	10:29:44	23.8	56	24.1	55

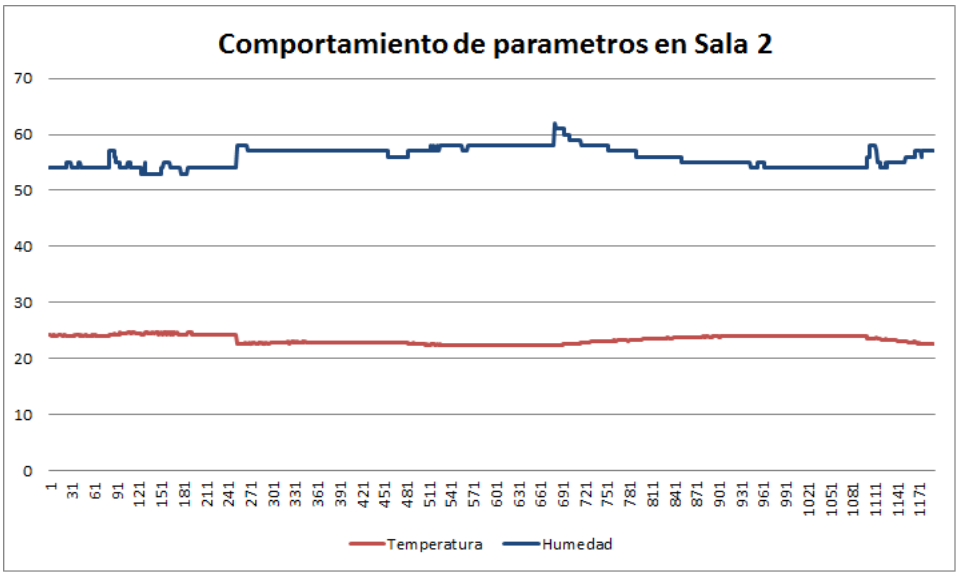


Figura 8. Comportamiento de la temperatura y humedad ambiental dentro de la Sala 2 en el rango de 0 a 70 (°C y % HR, respectivamente) en el transcurso de 1171 segundos.

4. Conclusiones

El sistema transmite satisfactoriamente los parámetros de temperatura y humedad ambiental a través de todos sus nodos, facilitando al personal el registro de las condiciones ambientales de los laboratorios en una memoria SD dentro de un formato de tablas para su procesamiento posterior, concluyendo así que, es posible desarrollar e implementar este tipo de redes dentro de los laboratorios del IPEN.

Adicionalmente, es posible obtener una gráfica del registro realizado por el monitor automático de ambiente, de tal forma que nos permita mostrar la variabilidad de los datos en un rango de variación prefijado y de acuerdo con el requerimiento establecido por el laboratorio.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo brindado por el Bachiller Renzo Chan para la realización de las pruebas finales de la red.

6. Bibliografía

[1]. Lambebo A, Haghani S. A wireless sensor network for environmental monitoring of greenhouse gases. In: ASEE 2014 Zone I Conference. 2014 April 3-5; Connecticut, USA; 2014.

[2]. Valverde J, *et al*. Wireless sensor network for environmental monitoring: Application in a coffee factory. Centro de

Electrónica Industrial, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid: España; 2012.
[3]. Rhman Z, Ramzy A, Jasim B. Wirelessly controlled irrigation system. Iraq J Electrical and Electronic Engineering. 2014; 10(2): 89-99.
[4]. Gaddam A, Hrooby M, Esmael W. Designing a wireless sensors network for monitoring and predicting droughts. In Proceedings of the 8th International Conference on Sensing Technology. 2014 September 2-4; Liverpool, United Kingdom; 2014.
[5]. Cunya E, Baltuano O, Bedregal P. Implementación de una red de comunicación y control para instrumentos de un laboratorio de técnicas analíticas nucleares. Informe Científico Tecnológico. 2013; 13: 95-109.
[6]. DIGI International [Homepage]. Wireless mesh networking ZigBee vs. DigiMesh. [acceso 2015]. Disponible en: https://www.digi.com/pdf/wp_zigbeevsdigimesh.pdf
[7]. Abbasi A, Younis M. A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks. Computer Communications. 2007; 30(14-15): 2826-2841.
[8]. World Metereological Organization (WMO). Guide to meteorological instruments and methods of observation. 2008 edition. WMO N° 8, Chapter 2. Measurement of temperature. Geneva: Switzerland; 2008.
[9]. World Metereological Organization (WMO). Guide to meteorological instruments and methods of observation. 2008 edition. WMO-N° 8. Chapter 4. Measurement of humidity. Geneva: Switzerland; 2008.
[10]. Aosong Electronics Co., Ltd. Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22.
[11]. FFI: Free as in Free Internet. Blogspot. [Homepage]. Disponible en: http://freeasinfreeinternet.blogspot.pe/2011/06/xbee-mesh.html

ISSN 1684-1662 (impreso)
ISSN 2225-2029 (en línea)

Dosimetría ambiental en el Centro Nuclear Oscar Miró Quesada de la Guerra "RACSO" (1980-2015)

José Osores*, Paula Huamanlazo

Subdirección de Seguridad Radiológica, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú.

Resumen

Se presentan los valores de dosis ambiental del área de emplazamiento del Centro Nuclear Oscar Miró Quesada de la Guerra "RACSO" durante el período 1980 – 2015. El equivalente de dosis ambiental promedio fue de 0,84 ± 0,01 (k=1) mSv/año. No se observó incremento alguno de la dosis ambiental debido a las operaciones de las instalaciones nucleares y radiactivas durante este período. Considerando que la dosis promedio anual mundial es de 2,40 mSv/año, se puede afirmar que los valores de dosis ambiental en el emplazamiento se encuentran dentro de los rangos de radiactividad natural.

Palabras clave: Dosis ambiental; Radiactividad natural; Vigilancia de la radiactividad

Environmental dosimetry in the Oscar Miró Quesada de la Guerra "RACSO" Nuclear Center (1980 – 2015)

Abstract

Environmental dose values of the site area of the Oscar Miró Quesada de la Guerra "RACSO" Nuclear Center are presented for the period 1980-2015. The average ambient dose equivalent was 0.84 ± 0.01 (k=1) mSv/year. No increase in the ambient dose due to operations of nuclear and radioactive facilities during this period was observed. Whereas the global annual average dose is 2.40 mSv / year, we can say that the values of ambient dose at the site are within the ranges of natural radioactivity.

Keywords: Environmental dose; Natural radioactivity; Radiation monitoring

1. Introducción

La radiación natural constituye la fracción más importante de dosis recibida de manera colectiva por los organismos vivos, incluyendo al hombre. Esta tiene un promedio de 2,4 mSv/año, de los cuales 0,38 a 2,0 corresponden a los rayos cósmicos, 0,43 a 4,3 a la corteza terrestre y 1,2 a 10,0 mSv de exposición anual al radón [1].

La proliferación de fuentes artificiales de radiación en el ambiente, particularmente en las instalaciones nucleares y radiactivas, ha creado la necesidad del monitoreo de los niveles de exposición de radiación en el ambiente. Este monitoreo debe contemplar el relevamiento de los valores índices de dosis durante ciertos períodos a fin de para poder establecer valores normales para cada punto. Con los valores normales se puede confeccionar un mapa dosimétrico, el cual indica de forma ordenada los valores de exposición a la radiación ionizante en distintos puntos distribuidos en una región de interés. El conocimiento de los niveles de radiación ionizante tiene como propósito detectar en forma temprana apartamientos de dichos valores y permitir o iniciar una inmediata búsqueda y estudio de las causas que podrían ocasionarlos [2].

La medición de la radiación ambiental en el área límite entre la zona de emplazamiento y la zona de influencia del Centro Nuclear permite evaluar y garantizar la protección a la población y el medioambiente, contra los riesgos radiológicos asociados a las radiaciones ionizantes [3].

La dosis ambiental se estima mediante el equivalente de dosis ambiental H*(d) en un punto de campo de radiación, es el equivalente de dosis que se produciría por el correspondiente campo alineado en la esfera ICRU a una profundidad "d" sobre el radio opuesto a la dirección del campo alineado. La esfera ICRU es una esfera equivalente a tejido de 30 cm de diámetro, de una densidad de 1 g/cm^3 y una composición en masa de

* Correspondencia autor: josores@ipen.gob.pe

76,2 % de O; 11,1 % de C; 10,1 % de H y 2,6 % de N [4]. La unidad en el Sistema Internacional es el Joule/kg y su nombre especial es el Sievert (Sv). Para radiación fuertemente penetrante se recomienda una profundidad de 10 mm, lo cual se expresa como H*(10), mientras que para la débilmente penetrante se emplea 0,07 mm para la piel y 3 mm para el cristalino.

Los dosímetros ambientales se calibran en términos del equivalente de dosis ambiental H*(d). Para el caso de radiaciones fuertemente penetrantes se utiliza una profundidad de 10 mm y se escribe como H*(10). Los detectores termoluminiscentes (TLD) son detectores pasivos e integradores que permiten realizar la determinación de dosis y al ser utilizados en conjunto con otros TLD permiten discriminar las componentes principales de distintos campos de radiación [5].

2. Material y método

Se recolectó la información proporcionada por el Laboratorio Secundario de Calibraciones Dosimétricas (LSCD) del IPEN y los estudios ambientales realizados por la Comisión de Energía Atómica de Argentina (CNEA) y el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) en el área de emplazamiento del Centro Nuclear "RACSO" [6]. Las lecturas de radiación ambiental se llevaron a cabo usando dosímetros TLD en cuatro estaciones ubicadas en el emplazamiento del Centro Nuclear "RACSO" con respecto a la posición del reactor nuclear RP-10 (Tabla 1).

Tabla 1. Estaciones de lectura de radiación ambiental.

N°	*Estación*	*Distancia del reactor RP-10 (metros)*	*Dirección*
1	G	550	Sur
2	F	475	Sur-Oeste
3	A	500	Nor-Este
4	AZ	750	Este

En la Figura 1 se muestran los puntos de monitoreo respecto a la ubicación del emplazamiento del Centro Nuclear "RACSO", así como sus coordenadas geográficas correspondientes.

Figura 1. Estaciones de muestreo con dosimetría ambiental TLD.

La información colectada fue transformada en miliSievert y procesada en MS-Excel versión 14.0.4760.1000 (64 bits) y Golden Software Surfer [7] a fin de evaluar la distribución dosimétrica en el emplazamiento así como su evolución temporal durante el período estudiado.

3. Resultados y discusión

El estudio abarcó tres etapas de monitoreo claramente definidas, la etapa 1980-1981 correspondiente a los estudios realizados por la Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina, antes de la construcción del Centro Nuclear "RACSO" y los períodos 2001-2004 y 2013-2015 correspondiente a las lecturas realizadas por el Laboratorio Secundario de Calibraciones Dosimétricas durante las operaciones de las instalaciones nucleares y radiactivas del Centro Nuclear. Las estaciones de muestreo así como las características de los dosímetros TLD son los mismos desde 1980. En la Tabla 2 se presentan los valores de equivalente de dosis ambiental H*(10)

ISSN 1684-1662 (impreso)
ISSN 2225-2029 (en línea)

para cada una de las estaciones de muestreo expresadas en mSv/año pudiendo observarse que el rango de dosis anual se encuentra entre 7,10E-01 y 1,13E+00 mSv/año, con un promedio aritmético de 8,44E-01 ± 9,87E-02 (k=1) mSv/año.

Tabla 2. Equivalente de dosis ambiental H*(10) (mSv/año).

Año	Estaciones de Muestreo				Promedio Anual	Desviación Estándar	Variabilidad
	A	AZ	G	F			
1980	1,02E+00	1,06E+00	1,18E+00	1,27E+00	1,13E+00	1,14E-01	10,1%
1981	9,28E-01	8,97E-01	1,02E+00	1,12E+00	9,91E-01	1,00E-01	10,1%
2001	7,80E-01	7,36E-01	9,37E-01	7,45E-01	8,00E-01	9,36E-02	11,7%
2002	8,06E-01	7,27E-01	1,01E+00	7,27E-01	8,18E-01	1,34E-01	16,3%
2003	7,88E-01	7,62E-01	9,55E-01	7,27E-01	8,08E-01	1,01E-01	12,5%
2004	7,80E-01	8,23E-01	9,11E-01	7,18E-01	8,08E-01	8,11E-02	10,0%
2013	6,80E-01	6,40E-01	8,60E-01	6,60E-01	7,10E-01	1,01E-01	14,3%
2014	7,40E-01	6,90E-01	8,80E-01	6,80E-01	7,48E-01	9,22E-02	12,3%
2015	7,65E-01	7,65E-01	8,85E-01	7,20E-01	7,84E-01	7,08E-02	9,0%
		Promedio Total (1980-2015)			8,44E-01	9,87E-02	11,8%

En el mapa dosimétrico ambiental del emplazamiento, elaborado con todos los datos mensuales de dosis, se observa que el reactor RP-10 y en general la instalación se encuentran ubicados en la franja comprendida entre 1,11E+00 y 1,15E+00 mSv/año (Figura 2).

La evolución temporal de dosis ambiental muestra que durante el período de estudio los valores no han presentado variaciones significativas y se encuentran por debajo de la dosis promedio mundial (Figura 3).

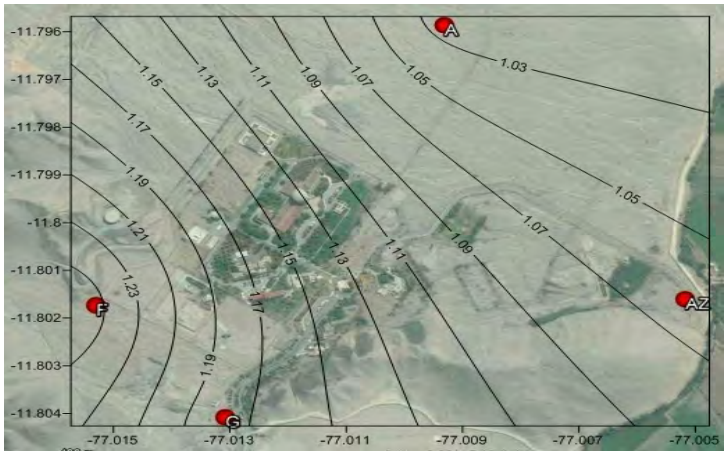


Figura 2. Mapa dosimétrico ambiental del emplazamiento del Centro Nuclear "RACSO" (Período 1980 – 2015).

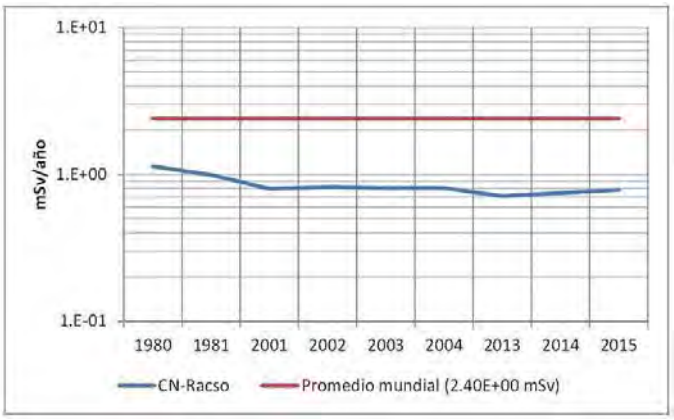


Figura 3. Evolución del equivalente de dosis ambiental en el Centro Nuclear "RACSO" (Período 1980 – 2015).

Estos resultados concuerdan con los estudios realizados por Benavente y Celedonio, quienes demuestran que la exposición de radiación ambiental presenta una variación menor en un 20,0 %, con respecto a los resultados hallados en los estudios pre-operacionales. Asimismo, de las mediciones realizadas durante el período 1998-2003 obtuvieron variaciones menores al 5 % [8,9].

En el año 2010, Manosalva utilizando instrumentación con menor precisión reporta un valor de dosis ambiental de 152 nanoSievert/hora para la localidad de Vitarte, ubicada a 355 metros sobre el nivel del mar (msnm) [10]. Este valor es equivalente a 1,33 E+00 mSv/año y considerando que el Centro Nuclear "RACSO" se encuentra ubicado a 410 msnm el valor se encuentra muy cercano a los valores de dosis reportados en el presente estudio.

Por lo tanto, podemos afirmar que la dosis ambiental del emplazamiento del Centro Nuclear "RACSO" se debe a condiciones naturales propias de la geología y ubicación altitudinal de la zona.

4. Conclusiones

- El equivalente de dosis ambiental promedio en el Centro Nuclear "RACSO" para el período 1980-2015 fue de 8.44E-01 ± 9,87E-02 (k=1) mSv/año.
- Durante el período de estudio, no se han presentado variaciones significativas de dosis ambiental debido a las operaciones de las instalaciones nucleares y radiactivas.
- Considerando que la dosis promedio anual mundial es de 2,40E+00 mSv/año, se puede afirmar que los valores de dosis ambiental en el emplazamiento se encuentran dentro de los rangos de radiactividad natural.

5. Agradecimiento

A todo el personal del Laboratorio Secundario de Calibraciones Dosimétricas por su apoyo con la información proporcionada.

6. Referencias

[1] Manosalva J. Radiación ambiental en la ruta Cusco-Machu Picchu. Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geogáficas. 2013; 15(30): 116-119.

[2] Germanier A, Rubio M, Campos M, Sbarato D, Sbarato V, Ortega JE, Salort MR. Mapa dosimétrico de radiaciones ionizantes ambientales: Ciudad de Córdoba, Argentina. Universidad Nacional de Córdoba. Organización Panamericana de la Salud. Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. 27628–CD/2300/U42/040711. 2000. Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/unc/paper35.pdf

[3] Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). Reglamento de Seguridad Radiológica. D.S. N° 009-97-EM. Disponible en: URL: http://www.ipen.gob.pe/site/regulacion/leyes_normatividad.htm

[4] International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU). ICRU Report N° 47. Measurement of dose equivalents from external photon and electron radiations. Bethesda, Maryland; 1992.

[5] Aguerre L, Carelli J, Gregori B. Sistema de monitoreo ambiental con TLD. En: 1° Congreso Americano del IRPA. 2006 Septiembre 4-8; Acapulco, México; 2006. Disponible en: http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/37/115/37115855.pdf

[6] Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). Evaluación de la zona de emplazamiento del área de influencia del Centro Nuclear de Investigaciones del Perú. Capítulo 10. Radiactividad ambiental. Lima; 1981.

[7] Golden Software [Homepage]. Surfer software. [acceso 2015]. Disponible en: http://www.goldensoftware.com/

[8] Benavente T, Celedonio E. Medición de radiación ambiental en el Centro Nuclear "RACSO" usando dosimetría termoluminiscente. Revista de Investigación de Física. 1998; 1(1): 60-62.

[9] Benavente T, Celedonio E. Medición de la radiación ambiental en el Centro Nuclear "RACSO" usando dosímetros termoluminiscentes. Informe Científico Tecnológico; 2003. p. 148.

[10] Manosalva J. Radiación ambiental en el eje vial Amazonas Centro (Lima-Tingo María). Revista del Instituto de Investigación FIGMMG. 2010; 2010; 13(25): 70-74.

Instrucciones para autores

El Informe Científico Tecnológico (Inf. Cient. Tec.) es una revista científica editada por el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) con una periodicidad semestral en formato impreso y electrónico. La publicación es de acceso libre y se distribuye bajo una Licencia *Creative Commons*.

El Inf. Cient. Tec. acepta artículos originales, notas técnicas, estudios de casos y revisiones sobre temas relacionados con la ciencia y tecnología nuclear. Temáticamente cubre las siguientes áreas: Ingenierías de operación y mantenimiento nuclear; instrumentación y electrónica nuclear; reactores nucleares; combustible nuclear; gestión de desechos radiactivos; diseño, desarrollo, innovación y fabricación de prototipos de aplicación nuclear; física nuclear, atómica y molecular; física de las partículas elementales; mecánica clásica y cuántica; radioquímica y química nuclear; producción de radioisótopos, moléculas marcadas y fuentes radiactivas; química de las radiaciones; métodos y técnicas analíticas nucleares y convencionales; seguridad nuclear y protección radiológica; accidentes e incidentes nucleares; protección física de los materiales nucleares; efectos biológicos de las radiaciones; dosimetría; metrología de las radiaciones; protección radiológica; aplicaciones de los isótopos y fuentes radiactivas en la salud, industria, agricultura, biología, medioambiente; difracción de neutrones, neutrografía; arqueometría; ciencia de los materiales; efectos de la radiación sobre los materiales; preparación y manufactura de materiales; estudios de estructuras y fases; propiedades mecánicas, ópticas, magnéticas, eléctricas asociadas; aspectos de gestión regulación y normativa en instalaciones nucleares y radioactivas; gestión del conocimiento y capital humano en la actividad nuclear.

Los manuscritos que se envían al Inf. Cient. Tec. deben adoptar el formato IMRYD (Introducción, Material y Método, Resultados y Discusión) del American National Standard Institute, añadiéndole las siguientes secciones: título y resumen (en español e inglés), filiación, dirección electrónica para correspondencia, conclusiones, agradecimientos si aplica y referencias. Asimismo, para los aspectos de la representación de fórmulas, tablas, figuras, etc. los autores deben ceñirse a las pautas recomendadas por la AIP Style Manual (American Institute of Physics, 4th Ed.). Para el tratamiento de los datos numéricos y medidas se exige la adopción del Sistema de Unidades y para el tratamiento de las referencias bibliográficas el Estilo Vancouver.

Proceso de revisión por pares

Los manuscritos enviados al Inf. Cient. Tec. son sometidos a una evaluación inicial por los miembros del Comité Editor, con la finalidad de verificar el cumplimiento de los requisitos mínimos, alcance temático, correcciones de estilo y redacción. El incumplimiento de las normas de publicación condiciona el rechazo del manuscrito. En la segunda fase, los manuscritos son enviados —sin firma, filiación o signos que puedan identificar la autoría— a dos revisores nacionales o extranjeros especialialistas en el área de conocimiento del trabajo, de acuerdo con los criterios señalados por los editores. Los informes y recomendaciones de los revisores deben ser subsanados obligatoriamente por los autores. En casos de discrepancia entre los revisores (un informe favorable y otro desfavorable) se solicitará un tercer parecer.

Financiación

La publicación es patrocinada por el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) y es de acceso abierto. La versión impresa se distribuye, gratuitamente, a las bibliotecas públicas, entidades del Estado, universidades y la comunidad científica nacional. Todas las colaboraciones de los autores tendrán la condición de aportación voluntaria y gratuita.

Periodicidad

Semestral.

Aviso de derechos de autor

El Inf. Cient. Tec. es una revista de acceso abierto. Los autores ceden sus derechos de propiedad intelectual bajo la licencia *Creative-Commons*.

Indicaciones generales

a) La extensión de los artículos no deberá sobrepasar de las 3500 palabras (equivalente a 7 páginas).
b) Los trabajos presentados no deben haber sido publicados anteriormente.
c) Los artículos serán redactados en la fuente "Times New Roman", tamaño 11 puntos, papel tamaño A4 (márgenes izquierdo 3 cm, derecho, superior e inferior 2,5 cm).
d) El resumen no deberá exceder de las 200 palabras.
e) El número de citaciones para la redacción de un artículo deberá tener como mínimo 10 referencias a trabajos publicados en libros, revistas nacionales e internacionales, patentes, tesis, actas de congresos, monografías, etc. Los autores deberán restringir al mínimo el empleo de referencias a documentos internos de difícil obtención.
f) En las autorías de los trabajos, se consignará en primer lugar al autor principal, quien deberá colocar su e-mail para correspondencia; seguidamente, se incluirán a los coautores que hayan realizado contribuciones substanciales al artículo durante la concepción, diseño, análisis y la interpretación de datos. Un coautor, ante la ausencia del autor principal, deberá dar cuenta y estar en condiciones de sustentar el trabajo.
g) Los autores deberán poner su filiación institucional indicando el nombre, dependencia, dirección, ciudad y país de la institución, universidad u organización a la que están vinculados. En caso de que tuviesen 2 o más filiaciones las colocarán en orden de importancia.
h) Los autores deben registrarse en la plataforma de la revista (http://revistas.ipen.gob.pe/revistas/) y subir sus manuscritos de acuerdo con las pautas indicadas o enviarlos directamente en formato electrónico al E-mail: ceid@ipen.gob.pe

Los artículos originales, notas técnicas y casos estudio publicados en el Informe Científico Tecnológico son indizadas en el **INIS Database del International Atomic Energy Agency (IAEA)**.