

Determinación de la línea base ambiental y evaluación de radiactividad en el desierto de Sechura, Perú

José Osoros*, Jorge Martínez, Jorge Yap

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

Resumen

Situado en la parte noroccidental de Perú, el desierto de Sechura últimamente ha estado recibiendo atención internacional debido a sus reservas de roca fosfórica. Este estudio evalúa los niveles de radiactividad ambiental de la región a través de mediciones de dosis gamma y actividades de radionucleidos en la superficie del suelo y la vegetación. Las dosis obtenidas oscilaron entre 0,3 y 1,6 mSv/año y la concentración de actividad obtenidas en las muestras de suelos colectados de la zona de estudio estuvieron entre 46 y 485 Bq/kg; 4 y 48; 3 y 62 Bq/kg y entre 218 y 734 Bq/kg para los radionucleidos naturales K-40, Ra-226, U-238 y actividad beta total, respectivamente. Para el caso de las muestras de vegetación colectadas en la región el promedio de actividad fue de 92 Bq/kg de K-40 y 129 Bq/kg de actividad beta total. Los resultados obtenidos en este estudio indican que la región tiene un nivel de radiación de fondo con alta variabilidad, pero dentro de los límites naturales y no muestra riesgo significativo para el medio ambiente y el público.

Palabras clave: Fosfatos, Radiactividad natural, Dosis de radiación, Radioisótopos de desintegración beta, Sechura

Environmental baseline and evaluation of radioactivity in the Sechura desert, Peru

Abstract

Located in the north-western part of Peru, the Sechura desert has lately been receiving international attention because of its phosphate rock reserves. This study assesses the levels of environmental radioactivity in the region through gamma dose measurements and radionuclide activities on soil surface and vegetation. The obtained doses varied between 0.3 and 1.6 mSv/year and the concentration of activity obtained in soil samples collected from the study area were between 46 and 485 Bq/kg; 4 and 48; 3 and 62 and between 218 and 734 Bq/kg for natural radionuclides K-40, Ra-226, U-238 and gross beta activity, respectively. For the case of vegetation samples collected in the region the average activity was 92 Bq/kg K-40 and 129 Bq/kg total beta activity. The results obtained in this study indicate that the region has a background radiation level with high variability, but within the natural limits and does not show significant risk to the environment and the public.

Keywords: Phosphates, Natural radioactivity, Radiation doses, Beta decay radioisotopes, Sechura

1. Introducción

Los estudios de línea base ambiental son importantes porque permiten conocer, a través de la caracterización de los elementos del medio ambiente presentes, la situación actual del área de estudio así como de su zona de influencia [1], sirven de punto de partida y comparación para evaluar y predecir los impactos positivos y negativos identificados antes de ejecutarse cualquier proyecto de transformación del medio ambiente, como por ejemplo la extracción de roca fosfórica.

El muestreo de identificación tiene por

objetivo investigar la existencia de contaminación del suelo y otros componentes ambientales, a través de la obtención de muestras representativas, con el fin de establecer si estas muestras superan los estándares de calidad radiológica ambiental y/o los valores de fondo natural, establecido en nuestro país de acuerdo con el Reglamento de Seguridad Radiológica [2] o por las recomendaciones internacionales establecidas por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) [3].

* Correspondencia autor: josoros@ipen.gob.pe

En el muestreo de identificación no se dispone de datos precisos sobre la concentración de compuestos contaminantes; sin embargo, para contar con un límite de confianza aceptable es pertinente realizar un número mínimo de puntos de muestreo [4]. En el Perú, los primeros estudios de línea base radiológica ambiental se llevaron a cabo para la construcción del Centro Nuclear Oscar Miró Quesada de la Guerra “Racso” [5]. Posteriormente; con la promoción de la minería de uranio se llevaron a cabo estudios preliminares en la Región Puno [6].

El desierto de Sechura se encuentra al sur de la Región Piura de Perú, a lo largo de la costa del océano Pacífico y en el interior de las faldas de las montañas de los Andes. Su extrema aridez es causada por el ascenso de aguas costeras frías y subsidencia atmosférica subtropical. En esta zona se encuentra ubicado los yacimientos de fosfatos de Bayovar, considerados como uno de los más grandes del Pacífico, su volumen se estima en 10,000 millones de toneladas métricas de concentrados obtenibles al 31 % de P205. Esta roca es un fluor-hidroxiapatita proveniente de un depósito de origen orgánico. Tiene aproximadamente un 30 % de P205, de los cuales el 25 % del total es soluble en citratos [7]. Estos yacimientos representan una gran oportunidad para empresas interesadas en su extracción, razón por la cual desde hace algunos años se realizó un primer estudio de línea base radiológica ambiental en las áreas de explotación, en donde se evaluaron los índices de actividad beta total y dosimetría ambiental [8].

Con la finalidad de continuar con los estudios de línea base radiológica ambiental, en áreas libres de explotación minera del desierto de Sechura se llevó a cabo una evaluación estadística de los niveles de dosis ambiental, índices beta total, K-40, Ra-226 y U-238 en muestras de suelo y vegetación colectadas durante el año 2015.

2. Material y métodos

El área de estudio se localiza en la costa norte del Perú, en el distrito y provincia de Sechura, departamento de Piura, aproximadamente a 1000 km al norte de la capital de Lima, a 110 km al sur de la ciudad de Piura. La Tabla 1 muestra los puntos que delimitan el área de estudio.

El plan de muestreo de identificación se llevó a cabo en diciembre del año 2014 y consistió en seleccionar de manera aleatoria 53 unidades de muestreo de 0,1 hectáreas (100 x 100 metros). En cada unidad de muestreo se establecieron de manera aleatoria 4 puntos de muestreo de suelo superficial.

Tabla 1. Datos geográficos del área de estudio.

| N° | Zona UTM | Coordenadas | |
|----|----------|-------------|--------|
| | | Norte | Este |
| 1 | 17 M | 9360000 | 495000 |
| 2 | | 9360000 | 545000 |
| 3 | | 9330000 | 495000 |
| 4 | | 9330000 | 545000 |

No fueron consideradas en este estudio las áreas en donde se viene desarrollando la explotación de roca fosfórica porque las condiciones naturales del terreno han sido alteradas y el proceso de extracción de este material va a generar residuos o descargas que alteran los niveles naturales de Ra-226 en suelo superficial. Para la toma de muestras de suelo superficial se aplicaron sondeos manuales hasta una profundidad de cinco centímetros en cada punto de muestreo, además se tomaron muestras de manera aleatoria de *Capparis scabrida* Kunth (zapote), la vegetación silvestre más abundante en la zona. Para determinar la tasa equivalente de dosis ambiental se realizó la lectura directa sobre suelo superficial con un detector RadEye (Figura 1), los valores son registrados en nanoSievert/hora (nSv/h).

Mediante el uso de técnicas de radiometría se determinaron los niveles concentración de radionucleidos naturales (K-40, Ra-226, U-238 y Beta total), estos elementos son los principales responsables de la dosis externa de radiación. Las muestras de suelo fueron llevadas al laboratorio, secadas al aire y tamizadas con una malla de 2 mm antes de ser analizadas.

El análisis radiométrico se llevó a cabo en el Laboratorio de Radioecología del IPEN, para la determinación de radionucleidos emisores beta se utilizó un detector proporcional marca Tennelec LB4110 y para los radionucleidos emisores gamma se utilizó un detector de germanio hiperpuro marca Canberra con ventana de carbono y una eficiencia relativa de 35 %, asociado al software Genie 2000

Canberra. Para el procedimiento de ensayo se utilizó la Norma ASTM D-3648 [9].



Figura 1. Muestreo ambiental.

Se determinaron las estadísticas descriptivas y gráficos de frecuencia para cada una de las variables estudiadas; asimismo, se realizó la prueba de distribución normal de Anderson-Darling [10], el grado de asociación entre los valores de K-40 versus Beta total y U-238 versus Ra-226 mediante la determinación del coeficiente de correlación de Pearson con un nivel de confiabilidad del 95 %.

3. Resultados y Discusión

En la Tabla 2 se muestra los diferentes parámetros estadísticos obtenidos del análisis de los valores de dosis ambiental y concentraciones de radionucleidos naturales en muestras colectadas de suelo superficial. Se pueden observar mayores valores de la

concentración de K-40 con respecto a las concentraciones de Ra-226 y U-238, además, se observa que el grado de variabilidad porcentual fue más significativo en las concentraciones de radionucleidos naturales con un amplio rango de dispersión.

En la Figura 2 se presenta el análisis gráfico del equivalente de dosis ambiental expresado en mSv/año. Los valores no siguen una distribución normal y se puede observar una mayor frecuencia de dosis entre 0,54 y 1,10 mSv/año; estos valores se encuentran por debajo de la dosis media anual debido a fuentes naturales equivalente a 2,4 mSv/año [11].

Tabla 2. Parámetros estadísticos de radiactividad en suelo superficial.

| Parámetro Estadístico | Dosis (mSv/año) | Beta (Bq/kg) | K-40 (Bq/kg) | Ra-226 (Bq/kg) | U-238 (Bq/kg) |
|-----------------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|---------------|
| Media | 7,50E-01 | 4,16E+02 | 1,62E+02 | 1,58E+01 | 2,26E+01 |
| Error típico | 1,55E-02 | 7,89E+00 | 6,55E+00 | 6,04E-01 | 8,56E-01 |
| Mediana | 7,45E-01 | 3,99E+02 | 1,46E+02 | 1,30E+01 | 1,85E+01 |
| Moda | 8,77E-01 | 3,99E+02 | 8,10E+01 | 1,20E+01 | 1,80E+01 |
| Desv. estándar | 2,26E-01 | 1,15E+02 | 9,51E+01 | 8,77E+00 | 1,24E+01 |
| Varianza | 5,10E-02 | 1,31E+04 | 9,05E+03 | 7,69E+01 | 1,55E+02 |
| Rango | 1,40E+00 | 6,37E+02 | 8,07E+02 | 5,20E+01 | 7,00E+01 |
| Mínimo | 2,63E-01 | 2,15E+02 | 2,90E+01 | 2,00E+00 | 2,00E+00 |
| Máximo | 1,67E+00 | 8,52E+02 | 8,36E+02 | 5,40E+01 | 7,20E+01 |
| Cuenta | 2,11E+02 | 2,11E+02 | 2,11E+02 | 2,11E+02 | 2,11E+02 |
| Incertidumbre (K=2) | 3,07E-02 | 1,56E+01 | 1,29E+01 | 1,19E+00 | 1,69E+00 |
| Variabilidad | 30,1% | 27,5% | 58,6% | 55,6% | 55,1% |

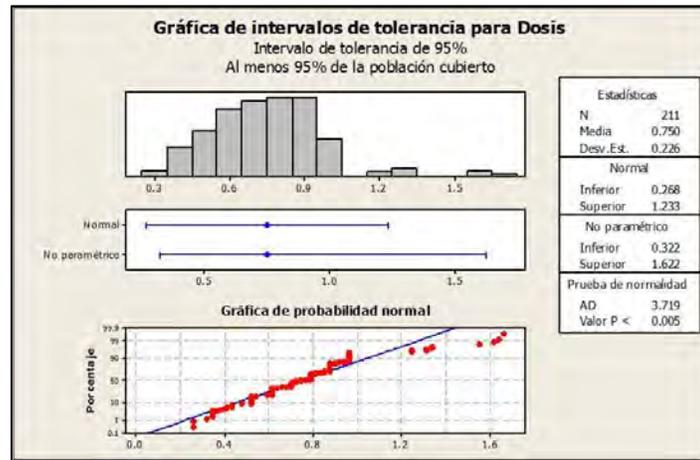


Figura 2. Equivalente de Dosis Ambiental en suelo superficial.

En la Figura 3 se muestra los niveles de concentración de actividad Beta total, K-40, Ra-226 y U-238 en suelo superficial; la actividad Beta total indica la cantidad de radionúclidos emisores beta y sirve como un índice para identificar rápidamente probables anomalías radiológicas en una región, el K-40 es un radionucleido que se encuentra como

parte del potasio natural en suelo con una composición isotópica de 1,17E-04 [12]; el Ra-226 es producto de semidesintegración del U-238 y su estudio permite evaluar las alteraciones en la distribución de estos radioelementos debido a condiciones naturales o antropogénicas.

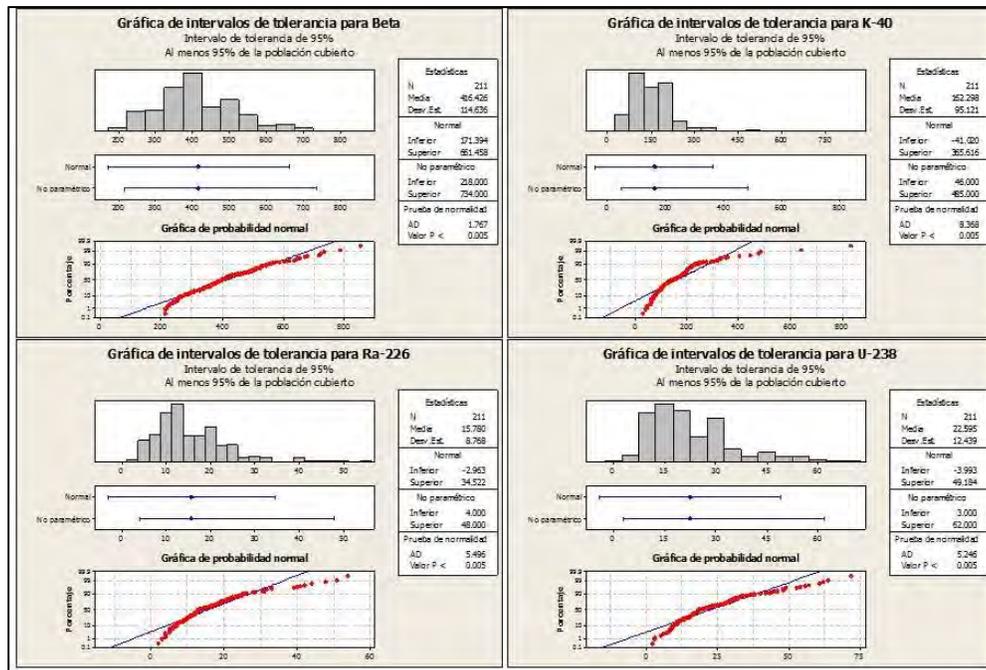


Figura 3. Niveles Beta Total, K-40, Ra-226 y U-238 en suelo superficial.

La distribución de frecuencias y el análisis de Anderson-Darling sugieren que los valores no siguen una distribución normal, razón por la cual la distribución de radiactividad en el área es del tipo no paramétrica, posiblemente se

deba al diverso grado de variabilidad geológica presente en toda el área de estudio. Solo los resultados de actividad Beta total sugieren una distribución log normal la cual

fue confirmada mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov [13,14].

Dado que los valores de radiactividad no siguen una distribución normal, la media aritmética no expresa el valor medio más probable, por lo que es necesario realizar la prueba de Wilcoxon de una muestra para estimar la mediana de la población con un

intervalo de confianza del 95 % bajo el supuesto de que todas las variables presentan cierto rango de simetría [15]. Asimismo, se determinó el intervalo de confianza no paramétrica al 95 % a fin de establecer el rango de dosis o concentración que cubra el 95 % de la población de valores obtenidos (Tabla 3).

Tabla 3. Estimación de medianas e intervalos de tolerancia no paramétrica.

| Variable | Mediana estimada | Intervalo de confianza de la mediana al 95% | | Intervalo de tolerancia no paramétrica al 95% | |
|--------------------|------------------|---|----------|---|----------|
| | | Inferior | Superior | Inferior | Superior |
| Dosis (mSv/año) | 7,45E-01 | 7,01E-01 | 7,67E-01 | 3,22E-01 | 1,62E+00 |
| Beta total (Bq/kg) | 4,08E+02 | 3,93E+02 | 4,25E+02 | 2,18E+02 | 7,34E+02 |
| K-40 (Bq/kg) | 1,50E+02 | 1,42E+02 | 1,60E+02 | 4,60E+01 | 4,85E+02 |
| Ra-226 (Bq/kg) | 1,48E+01 | 1,37E+01 | 1,58E+01 | 4,00E+00 | 4,80E+01 |
| U-238 (Bq/kg) | 2,11E+01 | 1,95E+01 | 2,28E+01 | 3,00E+00 | 6,20E+01 |

En la Figura 4 se muestran los coeficientes de correlación de Pearson para los diferentes grupos de radiactividad evaluados en el presente estudio, se observa una alta

correlación entre los valores de U-238 y Ra-226 debido a que este último elemento es producto del decaimiento del uranio.

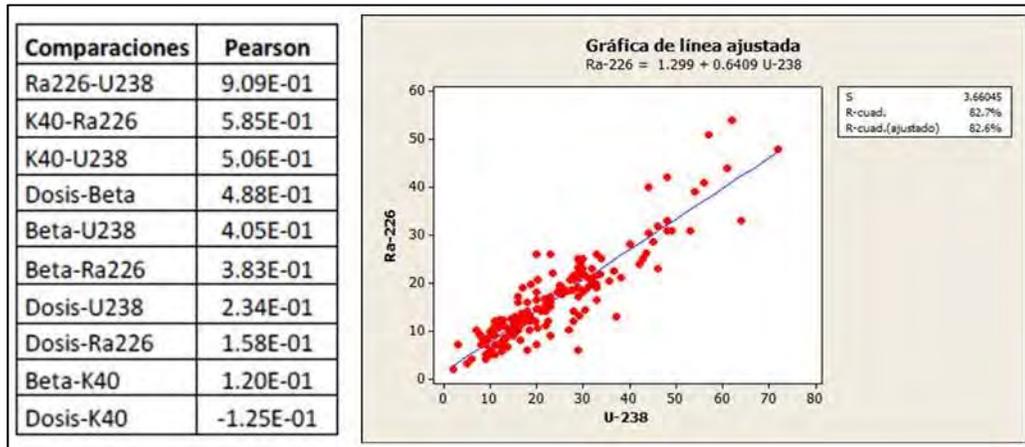


Figura 4. Coeficientes de correlación de Pearson.

Debido a esta alta correlación entre los niveles de U-238 y Ra-226, se espera que las muestras de suelo, que no han sido alteradas por actividades de explotación de roca fosfórica, presenten el índice $Ra-226/U-238 \leq 1$. La Figura 5 muestra la frecuencia de este indicador, verificando que solo en 2 de los 211 puntos muestreados se encontraron valores por encima de 2 (coordenadas 9360335, 492911 y 9344873, 518962), lo cual demuestra que los suelos analizados no han sufrido alteraciones antropogénicas a la fecha del muestreo.

En la Guía de Seguridad RS-G-1.7 del OIEA se recomienda valores de exclusión para K-40 de 10 Bq/g ($1,00E + 04$ Bq/kg) y para los demás radionucléidos valores de 1 Bq/g ($1,00E + 03$ Bq/kg) [15].

En ninguna de las muestras colectadas se registraron valores cercanos a los niveles de exclusión, razón por la cual no se llevó a cabo la evaluación de riesgo radiológico debido a la presencia de público en la zona estudiada.

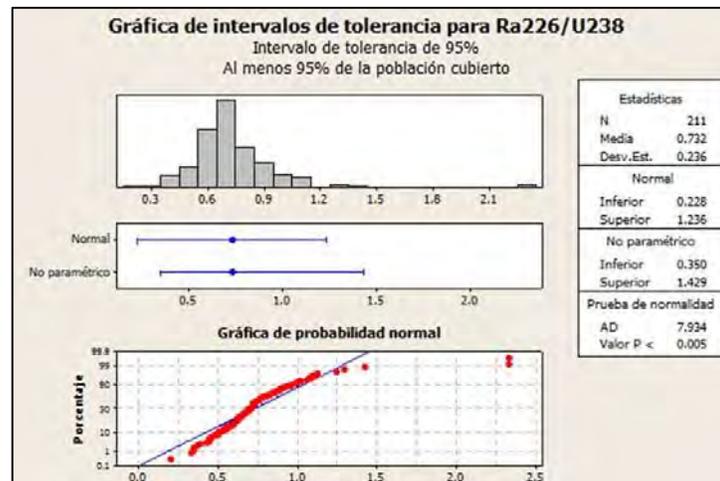


Figura 5. Índice Ra-226/U-238 en suelo superficial.

En la Figura 6 se presentan las concentraciones de actividad Beta total y K-40 encontradas en muestras de *Capparis scabrada* Kunth; si bien la actividad beta muestra un comportamiento no paramétrico, las concentraciones de K-40 presentan una distribución normal; estos valores no representan riesgo radiológico para el

ambiente y se las puede considerar dentro de los rangos naturales.

En ninguna muestra de vegetación se detectó la presencia de Ra-226 o U-238, debido a que en condiciones naturales, esta especie no incorpora estos radionucleidos en su organismo.

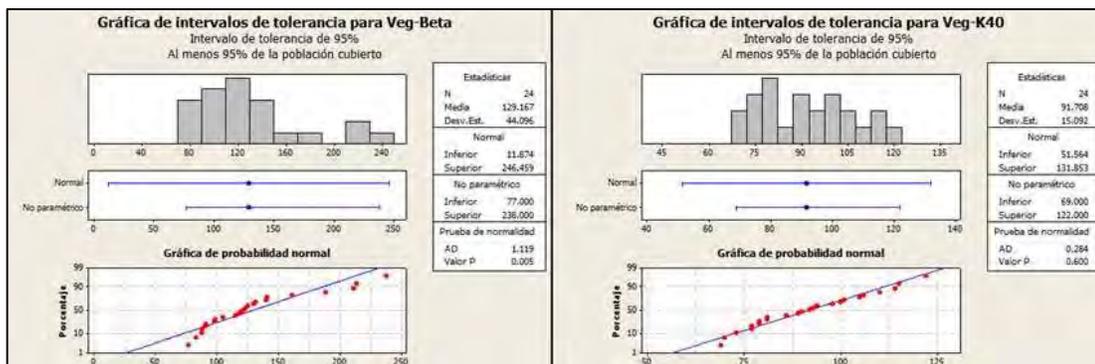


Figura 6. Radiactividad en *Capparis scabrada* Kunth (Capparaceae).

4. Conclusiones

Los valores de dosis ambiental y de concentración de actividad para los radionucleidos naturales objeto de estudio, presentan una alta variabilidad en su distribución dentro del área estudiada del desierto de Sechura. Estos valores se encuentran muy por debajo de los límites de exclusión recomendados por el OIEA, por lo que no representan riesgo radiológico para el ambiente ni el público y se pueden considerar como niveles de línea base radiológica ambiental, porque se ha demostrado que no ha recibido alteraciones debido a las actividades

de extracción de roca fosfórica que se vienen desarrollando en esa región.

Es importante considerar que los resultados obtenidos corresponden al área de estudio que comprende una amplia zona en donde se tiene previsto el incremento de proyectos de extracción de roca fosfórica y no son aplicables para todo el desierto de Sechura; sin embargo, considerando que el área evaluada es la que presenta la mayor anomalía radiológica de la región, se puede inferir que las otras áreas del desierto presentarán niveles más bajos de radiactividad y por lo tanto el probable riesgo radiológico para el público y ambiente será

mucho menor.

5. Referencias

- [1]. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente (ASEA). Guía para definir la línea base ambiental previo al inicio de las actividades petrolera. México; 2015. p. 5.
- [2]. Instituto Peruano de Energía Nuclear. Reglamento de Seguridad Radiológica. D.S. N° 009-97-EM. Disponible en: http://www.ipen.gob.pe/transparencia/regulacion/normatividad/ds009_97em.pdf
- [3]. International Atomic Energy Agency (IAEA). Extent of Environmental by Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) and Technological Options for Mitigation. Technical Reports Series N° 419. Vienna; 2004.
- [4]. Ministerio del Ambiente (MINAM). Guía para el muestreo de suelos. Lima: Ministerio del Ambiente; 2014. p. 11.
- [5]. 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. Buenos Aires: CNEA; 1981.
- [6]. Gonzáles S, Osoro J, López E, Martínez J, Jara R, Bedregal P, *et al.* Estudio de línea base radiológica ambiental en las zonas uraníferas de Macusani y Corani, Región Puno: Informe Preliminar. Informe Científico Tecnológico. 2008; 231-234.
- [7]. Alegre JC, Chumbimune R. Investigaciones y usos de la roca fosfórica en el Perú. Revista de la Facultad de Agronomía, Maracay (Venezuela). 1991 dic; 17(1-4): 217-232.
- [8]. Osoro J, Jara R. Estudio de línea base radiológica ambiental en el área de influencia del proyecto Bayovar: Radiactividad beta global en suelo superficial. Informe Científico Tecnológico. 2008; 235-238.
- [9]. American Society for Testing Materials (ASTM). ASTM-D778412. Standard practice for the rapid assessment of gamma-ray emitting radionuclides in environmental media by gamma spectrometry. New York; 2012.
- [10]. Anderson TW, Darling DA. A test of goodness of fit. Journal of the American Statistical Association. 1954 Dec; 49(268): 765-769.
- [11]. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and effects of ionizing radiation: Exposure to natural radiation sources. Volume I. Annex B. New York: 2000. p. 11.
- [12]. De Laeter JR, Böhlke JK, De Bièvre P, Hidaka H, Peiser HS, Rosman KJR, *et al.* Atomic weights of the elements: Review 2000 (IUPAC Technical Report). Pure and Applied Chemistry. 2003; 75(6): 683-800.
- [13]. Kolmogorov AN. Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione. Giornale dell' Istituto Italiano degli Attuari. 1933; 4: 83-91.
- [14]. Smirnov NV. Sui la distribution de w_2 (Criterium de M.R.v Mises). Comptes Rendus (Paris). 1936; 202: 449-452.
- [15]. Wilcoxon F. Individual comparisons by ranking methods. Biometrics Bulletin. 1945 Dec; 1(6): 80-83.