

## Estudio de línea base radiológica ambiental en el área de influencia de un laboratorio de pruebas de lixiviación de uranio en Juliaca, Puno

José Osores<sup>1,\*</sup>, Susana Gonzáles<sup>2</sup>, Jorge Martínez<sup>2</sup>, Edith López<sup>2</sup>, Raúl Jara<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Radioecología. Dirección de Investigación y Desarrollo. Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, San Borja, Lima, Perú

<sup>2</sup>Laboratorios de Radiactividad Ambiental. Dirección de Servicios. Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, San Borja, Lima, Perú

### Resumen

Se realizaron estudios de línea base radiológica ambiental, relacionados con la concentración de uranio total y sus isótopos radiactivos en el área de influencia a un laboratorio suelo de lixiviación, ubicado en la ciudad de Juliaca, Puno. El área estudiada presentó valores comprendidos entre 0,2056 y 0,7192 mg/kg de uranio total, entre 2,54 y 8,88 Bq/kg de U-238, entre 0,19 y 0,41 Bq/kg de U-235 y entre 2,55 y 8,92 Bq/kg de U-234. Estas concentraciones son consideradas como naturales y servirán para evaluar el impacto radiológico de las actividades desarrolladas por el laboratorio.

### Abstract

Radiological-environmental baseline studies, related to the total uranium concentration and its radioactive isotopes, were performed in the area of influence of a leaching laboratory, located in the city of Juliaca, Puno. The studied area showed values in soil comprised between 0,2056 and 0,7192 mg/kg of total uranium; 2,54 and 8,88 Bq/kg of U-238, 0,19 and 0,41 Bq/kg of U-235 and 2,55 and 8,92 Bq/kg of U-234. These concentrations are considered as natural and will serve to evaluate the radiological impact of the activities developed by the laboratory.

## 1. Introducción

De conformidad con lo establecido en el artículo 4° de la Ley N° 28028 [1], y en los artículos 20° y 22° de su reglamento aprobado por D.S. N° 041-2003-EM [2], la Oficina Técnica de la Autoridad Nacional del IPEN recibió una solicitud de Licencia de Operación para un Laboratorio de Pruebas de Lixiviación ubicado en la ciudad de Juliaca [3].

Dentro de los requisitos necesarios para obtener la licencia, se requiere la presentación de un estudio de línea base radiológica ambiental que permita conocer los niveles de radiactividad previos a las operaciones del laboratorio con la finalidad de monitorear el impacto radiológico ambiental durante la ejecución del proyecto. Esta labor fue encargada a la Dirección de Servicios a partir del 11 de Septiembre del 2008. El presente documento técnico reporta los resultados del muestreo realizado en el área de influencia del proyecto.

## 2. Material y Métodos

### 2.1. Área de influencia

El área del laboratorio se encuentra ubicado en la Manzana A, Sub lote 2-A del Parque Industrial de Taparachi, distrito y ciudad de Juliaca. Se encuentra dentro de un área de 315 m<sup>2</sup> debidamente cercados, cuenta con luz, agua y desagüe. Las áreas aledañas son terrenos industriales generalmente sin uso; la instalación más cercana corresponde al SENATI y se encuentra ubicada a 100 metros del laboratorio en dirección sureste (Figura 1). El laboratorio instalado consta de dos container, uno dispuesto como sala de preparación de muestras y una segunda destinada a las columnas de lixiviación; la sala de preparación de muestras cuenta con un chancador de rodillo, un chancador de mandíbula, un pulverizador, dos mesas de trabajo y un ROTAP; la sala de lixiviación cuenta con una estufa, una mesa de trabajo y quince columnas de lixiviación.

\* Correspondencia autor: josores@ipen.gob.pe

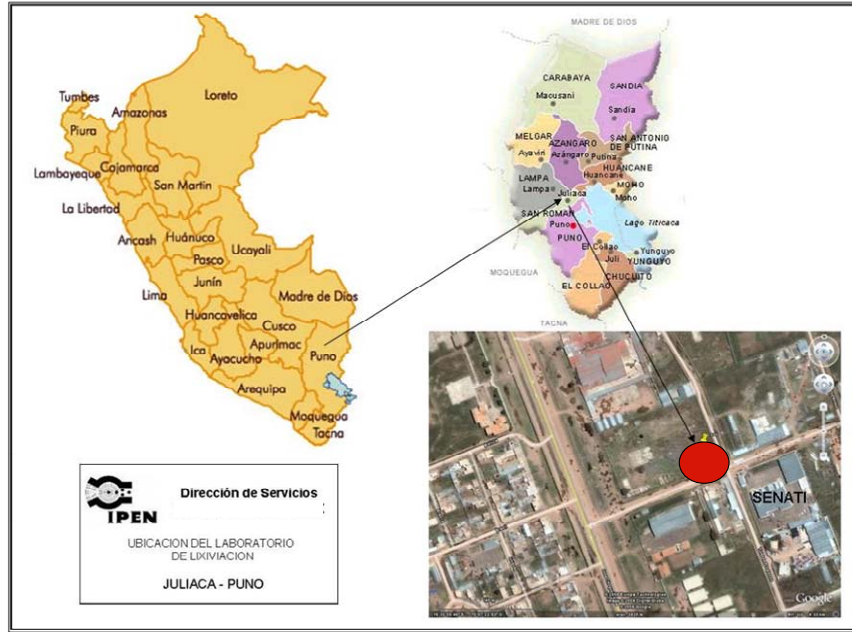


Figura 1. Ubicación del Laboratorio de Lixiviación – Juliaca.

El laboratorio instalado consta de dos container, uno dispuesto como sala de preparación de muestras y una segunda destinada a las columnas de lixiviación; la sala de preparación de muestras cuenta con un chancador de rodillo, un chancador de mandíbula, un pulverizador, dos mesas de trabajo y un ROTAP; la sala de lixiviación cuenta con una estufa, una mesa de trabajo y quince columnas de lixiviación (Figura 2).

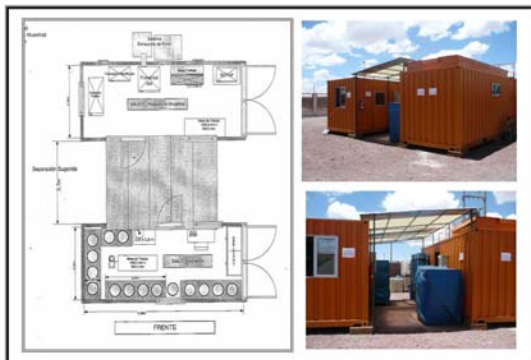


Figura 2. Instalaciones del Laboratorio.

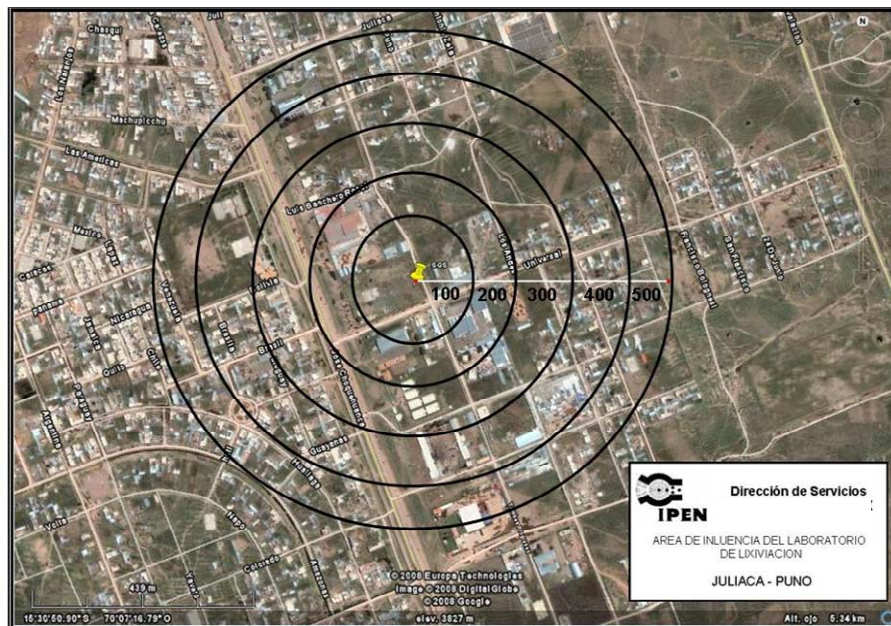
El personal de la planta se encuentra provisto con los implementos adecuados de protección como por ejemplo lentes de seguridad,

protector auditivo, casco, calzado de seguridad, máscaras anti polvo/gases y dosímetro de película cuyo servicio es proporcionado por la empresa Nuclear Control SAC.



Figura 3. Implementos de protección del personal del Laboratorio de Lixiviación.

Debido a que el proyecto constituye una instalación de pequeña escala y los niveles de radiactividad en el material de proceso son menores de 40 kBq [4], se estableció un área de influencia de 500 metros con respecto a la ubicación del laboratorio, dividida en cinco sectores de 100 metros cada una (Figura 4).



**Figura 4.** Área de Influencia del Laboratorio de Lixiviación – Juliaca.

### 2.2. Medición de exposición radiactiva

Se realizó la medición de la tasa de exposición (mR/h) en diez puntos dentro del área de influencia con un monitor de contaminación marca Technical Associates modelo TBM-3; se realizaron diez lecturas sobre la superficie del suelo por cada punto de muestreo.

### 2.3. Muestreo de polvo en aire

Se realizó el muestreo de partículas de polvo en aire mediante el uso de un colector de aire marca Staplex, ubicado en el interior de las instalaciones del laboratorio, se realizaron tres muestreos con un tiempo de colecta de 20 minutos cada uno.

### 2.4. Muestreo de suelo

Se realizó la colecta de suelo en diez puntos dentro del área de influencia, la muestra colectada corresponde a suelo superficial, es decir, con una profundidad de hasta 2 cm y la superficie colectada fue de 900 cm<sup>2</sup> por punto de muestreo. Se colectaron aproximadamente dos kilogramos de suelo por cada punto de muestreo los cuales fueron colocados en una bolsa plástica adiamantada debidamente rotulada.



**Figura 5.** Muestreo de componentes ambientales.

### 2.5. Muestreo de vegetación

La vegetación predominante en la zona es el “ichu” (*Stipa ichu*, Kunth 1829), llamada también “paja brava” o “paja ichu”, que es un pasto del altiplano andino sudamericano empleado como forraje para el ganado, principalmente de camélidos sudamericanos (Figura 5). Se colectaron aproximadamente 500 gramos de materia vegetal en cuatro puntos de muestreo dentro del área de influencia.

## 2.6. Muestreo de agua

La fuente natural de agua superficial más cercana se encuentra aproximadamente a 10 km del emplazamiento por lo que no está incluido dentro del área de influencia del proyecto. Como fuente de agua potable se colectó una muestra procedente del tanque de agua del proyecto.

## 2.7. Tratamiento de muestras

Las muestras de suelo y vegetales fueron secadas en estufa eléctrica a 120 °C, posteriormente las muestras de suelo fueron tamizadas en malla 200 y las muestras de vegetales sometidas a incineración a 512 °C por 8 horas. Las muestras de agua fueron evaporadas hasta sequedad y acondicionadas en la geometría de recuento correspondiente, el filtro de aire no fue sometido a tratamiento alguno y se realizó su análisis en forma directa.

## 2.8. Análisis instrumental

Una fracción de cada una de las muestras de suelo se envió al laboratorio SGS para la determinación del contenido de uranio total y análisis elemental por espectrometría de masas con fuente de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS).

Los isótopos de uranio así como sus productos de decaimiento más relevantes se evaluaron en el Laboratorio de Radiometría Ambiental del IPEN (Figura 6) a través de un sistema de espectrometría gamma de alta resolución según protocolos del Organismo Internacional de Energía Atómica [5].



Figura 6. Laboratorio de Radiometría Ambiental.

## 3. Resultados

El área de influencia del proyecto incluye zonas libres o con escasa población en dirección nordeste, presentando una mayor densidad poblacional en las zonas ubicadas en dirección este, donde se pueden apreciar complejos habitacionales.

Con excepción de la Av. Jorge Choquehuanca que se encuentra asfaltada, el resto de las calles y avenidas no presentan ningún tipo de asfaltado o afirmado, por lo que el transporte vial origina el levantamiento de considerables cantidades de polvo que se depositan sobre los techos de las viviendas cercanas.

La información sobre la dirección de vientos, proporcionada por el SENAMHI durante los años 2006 y 2007 (Tabla 1), presenta mucha variabilidad entre los diferentes meses del año por lo que no es posible identificar una "área crítica" que se pueda considerar como la que recibe el impacto de las operaciones del Laboratorio de Lixiviación, por lo que el monitoreo radiológico ambiental se realizó en diferentes puntos de muestreo dentro del área de influencia establecida.

Tabla 1. Dirección predominante y velocidad del viento (m/s) (Estación: Juliaca/007/454/DRE-13).

Mes	Año	
	2006	2007
Enero	E - 1,7	E - 1,7
Febrero	E - 1,5	W - 2,2
Marzo	E - 1,5	NE - 1,4
Abril	E - 0,8	E - 0,9
Mayo	N - 0,8	W - 1,2
Junio	W - 0,9	NE - 1,2
Julio	E - 1,3	NW - 1,5
Agosto	W - 1,7	W - 1,8
Septiembre	N - 1,5	E - 1,7
Octubre	NE - 1,8	NE - 1,7
Noviembre	NE - 1,6	SW - 1,5
Diciembre	E - 2,0	W - 1,7

Fuente: SENAMHI

### 3.1 Tasa de Exposición (mR/h)

La tasa de exposición del suelo (en contacto) presentó valores promedio inferiores a 0,5 mR/h en los diferentes sectores del área de influencia (Tabla 2), el análisis de varianza de estas lecturas no presentó diferencias significativas entre los diferentes sectores, por lo que se asume que la tasa de exposición

en toda el área de influencia es homogénea (Tabla 3). Como control se realizó una evaluación en la zona de almacenamiento del material que será procesado durante el desarrollo del proyecto, las lecturas se realizaron en contacto y a un metro de distancia de los bultos.

**Tabla 2.** Tasa de exposición (mR/h) en el área de influencia del Laboratorio.

No.	Distancia del Laboratorio				
	100 m	200 m	300 m	400 m	500 m
1	0.60	0.40	0.30	0.45	0.45
2	0.45	0.10	0.35	0.30	0.50
3	0.60	0.45	0.45	0.35	0.30
4	0.45	0.60	0.30	0.45	0.50
5	0.50	0.35	0.35	0.50	0.30
6	0.30	0.30	0.40	0.30	0.50
7	0.30	0.35	0.40	0.50	0.35
8	0.30	0.50	0.35	0.30	0.40
9	0.55	0.30	0.35	0.30	0.45
10	0.45	0.45	0.40	0.45	0.45
Media	0.45	0.38	0.37	0.39	0.42
1 DS	0.11	0.14	0.04	0.09	0.08
CV%	24.8%	37.9%	12.1%	23.1%	19.7%

**Tabla 3.** Análisis de varianza de la tasa de exposición en el área de influencia del laboratorio.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	GL	Cuadrados Medios	F	Valor crítico para F
Entre sectores	0.0462	4	0.01155	1.19	2.57
Dentro de los sectores	0.43625	45	0.009694		
Total	0.48245	49			

**Tabla 4.** Tasa de exposición (mR/h) en la zona de almacenamiento de mineral.

No.	Contacto	1 metro
1	30.00	1.40
2	30.00	1.25
3	30.00	1.45
4	25.00	1.25
5	30.00	1.30
6	25.00	1.45
7	25.00	1.50
8	30.00	1.15
9	30.00	1.20
10	30.00	1.45
Media	28.50	1.34
1 DS	2.50	0.13
CV%	8.8%	9.7%

El contenido de uranio total presente en muestras de suelo colectadas dentro del área de influencia del laboratorio presentó valores comprendidos entre 0,2056 y 0,7192 mg/kg.

**Tabla 5.** Contenido de uranio total en suelos.

Zona	Coordenadas Geográficas		Uranio Total (mg/kg)
	Latitud S	Longitud O	
PJ-01	15°30'48.81"	70°07'20.00"	0,6855
PJ-02	15°30'47.18"	70°07'20.56"	0,6701
PJ-03	15°30'47.96"	70°07'22.53"	0,6337
PJ-04	15°30'44.09"	70°07'19.24"	0,2434
PJ-05	15°30'50.22"	70°07'24.78"	0,7192
PJ-06	15°30'44.37"	70°07'13.69"	0,3389
PJ-07	15°30'42.63"	70°07'11.01"	0,2056
PJ-08	15°30'59.11"	70°07'20.22"	0,6633
PJ-09	15°30'50.39"	70°07'33.02"	0,5289
PJ-10	15°30'35.46"	70°07'11.57"	0,5139

Fuente: SGS

La tabla 6 muestra las concentraciones de los isótopos de uranio presentes en las muestras de suelo colectadas dentro del área de influencia del proyecto. Se puede observar que el máximo valor determinado es 8,92 Bq/kg de U-234, destacando que en ninguno de los casos se alcanza el valor límite establecido para productos NORM, equivalente a 1000 Bq/kg [6].

**Tabla 6.** Isótopos de uranio en suelos (Actividad en Bq/kg).

Zona	U-238	U-235	U-234
PJ-01	8,46	0,40	8,50
PJ-02	8,27	0,39	8,31
PJ-03	7,82	0,37	7,86
PJ-04	3,00	0,14	3,02
PJ-05	8,88	0,41	8,92
PJ-06	4,18	0,20	4,20
PJ-07	2,54	0,19	2,55
PJ-08	8,19	0,38	8,23
PJ-09	6,53	0,31	6,56
PJ-10	6,34	0,30	6,38

Los ensayos por espectrometría gamma de alta resolución en muestras de aire, agua y vegetales dieron como resultado valores por debajo del límite de detección y de la concentración mínima detectable.

#### 4. Conclusión

Los niveles de uranio total y de sus radioisótopos presentes en suelos, colectados dentro del área de influencia del laboratorio de lixiviación, se encuentran dentro de los valores típicos de un ambiente natural y sirven como punto de partida para la evaluación de las actividades que desarrollará este laboratorio. Estos niveles base de radiactividad ambiental deberán ser comparados con los resultados del monitoreo radiológico durante el desarrollo de las actividades del laboratorio a fin de evaluar el impacto producido en el medio ambiente.

#### 5. Agradecimiento

Al personal de las empresas SOLEX y SGS por su apoyo logístico durante la ejecución del presente estudio.

#### 6. Bibliografía

[1] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Leyes y Normatividad. Ley 28028. Ley de Regulación del Uso de Fuentes de Radiación Ionizante. [serie en Internet]. Disponible en: [http://www.ipen.gob.pe/site/regulacion/ley\\_27028\\_01.htm](http://www.ipen.gob.pe/site/regulacion/ley_27028_01.htm)

[2] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Leyes y Normatividad. Reglamento de Autorizaciones, Fiscalización y Sanciones de la Ley 28028, Ley de Regulación del Uso de Fuentes de Radiación Ionizante. [serie en Internet]. Disponible en URL:

[http://www.ipen.gob.pe/site/publicaciones/ley28028/reglamento\\_ley28028.pdf](http://www.ipen.gob.pe/site/publicaciones/ley28028/reglamento_ley28028.pdf)

[3] SGS. Requisitos para Licencia de Laboratorio de Pruebas de Lixiviación. SGS Mineral Services. Lima. Agosto 2008. 40 p.

[4] Osorio JM, Martínez, JA. Muestreo ambiental en el área de influencia del Proyecto SGS-SOLEX (Juliaca). Documento Técnico DT-08-015. [Informe Interno]. Instituto Peruano de Energía Nuclear. Lima, Perú. 12 páginas. 2008.

[5] International Atomic Energy Agency. Measurement of Radionuclides in Food and the Environment. Technical Report Series No. 295. Vienna: Austria; 1989.

[6] International Atomic Energy Agency. Naturally occurring radioactive materials (NORM IV). IAEA-TECDOC 1472. Proceedings of an international conference held in Szczecyn, Poland, 17–21 May 2004. October 2005. 584 p.