

# PROCESO DE ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MONITOREO AMBIENTAL DE VERIFICACIÓN DEL COMPLEJO FABRIL MALARGÜE

Bonetto Juan Pablo<sup>1</sup>; Czerniczyniec Mariela<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Autoridad Regulatoria Nuclear, Av. Del Libertador 8250 C.A.B.A., Argentina

## RESUMEN

Recientemente, la Autoridad Regulatoria Nuclear inició un proceso de actualización de sus planes de monitoreo radiológico ambiental en los distintos complejos mineros y/o fabriles de uranio del país, bajo la premisa de que el operador debe llevar a cabo un monitoreo ambiental propio y el regulador debe realizar un monitoreo independiente con fines de verificación. Este proceso de actualización se inició con el plan de monitoreo ambiental correspondiente al Complejo Fabril Malargüe, e implicó la revisión bibliográfica de la hidrología de la zona, incluyendo la red de riego de la ciudad. Paralelamente, se llevó a cabo una evaluación de los resultados históricos provenientes de los muestreos radiológicos ambientales anuales llevados a cabo por la ARN, en la que se realizaron tests de hipótesis para la comparación de puntos blancos y puntos aguas abajo del complejo, entre otros puntos de muestreo. En base a esto, se determinó qué puntos de muestreo no aportaban información útil, y si fuera necesario incorporar nuevos puntos, cuáles pueden ser los más adecuados. Finalmente, luego de un relevamiento *In Situ*, se comprobó en conjunto con el operador, la ubicación precisa de cada punto de muestreo, para que la verificación pueda realizarse en el mismo sitio que la toma de muestra y la evaluación de los resultados sea la más adecuada. El presente trabajo describe los pasos realizados y presenta algunos resultados de la evaluación de datos, junto con las conclusiones obtenidas de todo el proceso.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Subgerencia de Mediciones en Seguridad Nuclear de la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN) presenta hacia el final de cada año un plan anual de monitoreo radiológico ambiental, en base al cual se efectuarán los muestreos de matrices ambientales en alrededores de las instalaciones bajo control regulatorio que lo ameriten, durante el año siguiente.

La descripción de los objetivos y los criterios utilizados para el diseño de estos planes ha sido presentada en publicaciones anteriores [1], sin embargo, es importante destacar que los planes de monitoreo deben coincidir en cuanto a puntos de muestreo, matrices a muestrear, y radionucleidos a analizar, con los planes de monitoreo que en forma independiente se les

solicita que lleven a cabo las instalaciones reguladas. De esta manera, la ARN puede realizar una verificación más adecuada del cumplimiento por parte del regulado.

A través de los años, los distintos puntos de muestreo empleados para el monitoreo ambiental en los alrededores de una instalación pueden ir variando, de acuerdo a cambios geográficos o dificultades en el acceso a los puntos. Por otro lado, el desarrollo de planes de independientes puede llevar a diferencias, al cabo de varios años, entre los monitoreos ambientales de la ARN y de las instalaciones reguladas.

Se hace necesario, por lo tanto, realizar con cierta periodicidad revisiones integrales de los planes de monitoreo propios y determinar, fundamentalmente, si los puntos de muestreo han resultado apropiados para los objetivos perseguidos. En base a esto se pueden proponer cambios en los planes de monitoreo propios o se pueden requerir cambios en los de las instalaciones reguladas, o ambas cosas.

En el año 2013 se inició la revisión de los planes de monitoreo radiológico ambiental de los complejos minero fabriles (de uranio) con el Complejo Fabril Malargüe (CFM). El CFM cesó sus operaciones en el año 1986, momento desde el cual se inició la planificación para su cierre, que implica la restitución ambiental del predio, la cual se encuentra actualmente en sus últimas fases [2].

Para verificar la utilidad de los puntos de muestreo utilizados hasta el momento, se realizó un relevamiento de las series de datos históricas obtenidas a partir de los muestreos anuales llevados a cabo por la ARN, con la intención de comparar estadísticamente los resultados de los distintos puntos. En base a lo comparado se decidió cuáles puntos resultaban apropiados para seguir siendo muestreados y cuáles no.

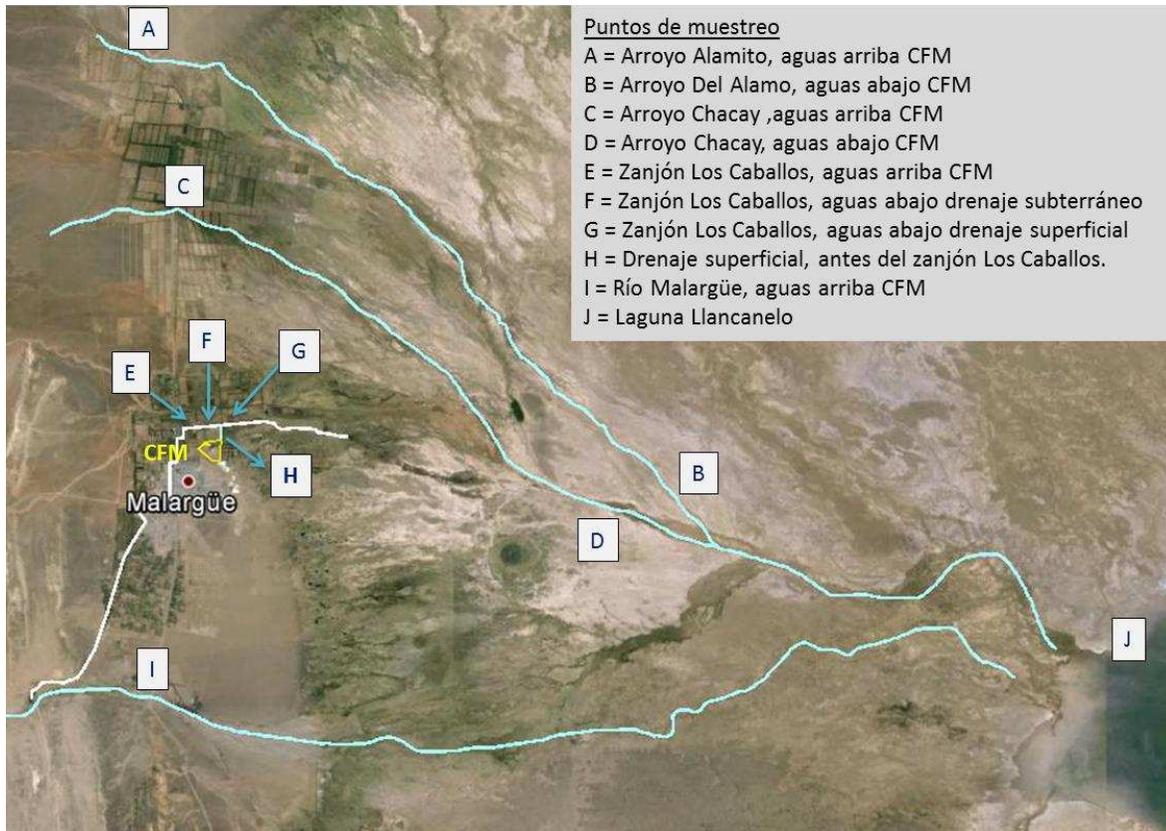
En el caso de reemplazar o agregar puntos de muestreo, se realizó un relevamiento de la información disponible sobre hidrografía de la zona, para finalmente verificar en campo la accesibilidad a los nuevos puntos de muestreo propuestos.

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1. Plan de muestreo**

En forma simplificada, el plan anual de monitoreo radiológico ambiental para los alrededores del CFM, comprende la toma de muestras anuales en cuatro cursos de agua superficiales que atraviesan la región de oeste a este (Fig.1):

- Arroyo Alamito/Del Alamo
- Arroyo Chacay
- Zanjón Los Caballos
- Río Malargüe



**Figura 1. Mapa con la ubicación de los cursos de agua y sus puntos de muestreo aguas arriba y aguas abajo del Complejo Fabril Malargüe (CFM)**

En estos cursos de agua se toman muestras de agua superficial y de sedimentos en un punto aguas arriba (Oeste) y en otro punto aguas abajo (Este) con respecto a la ubicación del complejo, con excepción del río Malargüe, el más alejado del complejo, que solo se muestrea aguas arriba.

El curso de agua más cercano al CFM es el zanjón Los Caballos, el cual recibe la descarga de un drenaje subterráneo que mantiene deprimidos los niveles freáticos bajo del complejo, y de drenajes superficiales de campos linderos. Por lo tanto, este curso de agua se muestrea aguas abajo del drenaje subterráneo y también aguas abajo de un drenaje superficial que bordea al CFM. Dicho drenaje superficial también se muestrea antes de su desembocadura

en el zanjón Los Caballos. Entre el primero y el último punto de muestreo de este curso de agua hay una separación levemente menor a los 500 metros.

La hidrografía de la zona tiene a la laguna Llancañelo, a unos 35 km al Este del CFM, como el cuerpo receptor de los cursos superficiales que se muestrean. Entre ellos, el río Malargüe es el principal tributario. El arroyo Chacay también vierte sus aguas en la laguna mientras que el zanjón Los Caballos primero y el arroyo Del Alamo después, se unen al Chacay antes de desembocar en la laguna. Por lo tanto, la laguna Llancañelo es parte fundamental del muestreo. Existen otros tributarios de la laguna, pero por su dirección sudeste y por encontrarse más alejados, no se consideran influenciados por el CFM [3].

Los radionucleidos medidos en todos estos puntos, tanto en las aguas como en los sedimentos, son  $^{226}\text{Ra}$  y U.

También se realizan otras mediciones como parte del plan de monitoreo, como por ejemplo  $^{226}\text{Ra}$  y U en agua potable y aguas subterráneas, y Rn en aire en viviendas de los alrededores y en el perímetro del complejo. Sin embargo dichos resultados no han sido incorporados al presente trabajo.

## 2.2. Análisis estadísticos

Se recopilaron resultados anuales desde el año 1994 hasta el 2013 inclusive. Algunos de los puntos de muestreo estudiados comenzaron a utilizarse más tarde o dejaron de muestrearse, por lo que no todas las series de datos abarcan exactamente el periodo mencionado ni presentan la misma cantidad de datos.

En general, los datos ambientales presentan características tales como presencia de *outliers* y sesgo positivo, que alteran la normalidad de la distribución de los datos. También pueden presentar valores no detectados, es decir valores por debajo de los límites de detección (<LD) de las técnicas de análisis empleadas [4]. Una vez recopilados los datos de cada punto de muestreo, se analizaron para detectar y eliminar errores, y luego para determinar la normalidad o no de sus distribuciones. Finalmente se promediaron los valores y se realizaron tests paramétricos y no paramétricos, de comparaciones de medias, de acuerdo a la normalidad o no de las distribuciones y de la presencia o ausencia de valores <LD.

Los *outliers* son valores mayores (también pueden ser menores) a los usualmente registrados, producto de errores en la medición o en la transcripción de los resultados (valores incorrectos), en cuyo caso debe intentarse corregirlos y, si no es posible, deben eliminarse. Pero también pueden tratarse de valores correctos, de muy baja probabilidad de ocurrencia, producto de la variabilidad natural, o pueden representar observaciones provenientes de una población diferente de la que está en estudio. Este último caso puede

representar, por ejemplo, un punto de muestreo impactado, lo que convierte a dicho *outlier* en información valiosa [4].

En esta revisión se utilizó el test de Dixon para detección de *outliers*. Este tipo de tests solo son para detección, la eliminación o no de cada uno de estos valores detectados es una decisión propia del analista [5]. Para el presente trabajo, se eliminaron estos valores solamente en aquellos casos en los que con ello se obtenía una normalización de la distribución, cuando los valores resultaron extremadamente altos, y cuando se trató de puntos de muestreo aguas arriba, de manera de asegurar que los datos restantes sean representativos de un punto no impactado (blanco).

Para determinar normalidad en la distribución de las series de datos correspondientes a cada punto de muestreo se realizó el test de bondad de ajuste Shapiro-Wilk ( $\alpha = 0.05$ ). Este test se repitió antes y después de la eliminación de outliers para justificar dicha eliminación.

La presencia de datos <LD en algunas de las series, genera complicaciones adicionales. La cantidad de resultados disponibles fue apenas suficiente para realizar los tests estadísticos, por lo que la información aportada por este tipo de datos no es despreciable. Usar el valor del límite de detección o una fracción del mismo para reemplazar el valor faltante no es adecuado. Existen algunas técnicas estadísticas que permiten utilizar la información aportada por este tipo de datos [6]. Para la determinación de la normalidad en presencia de valores <LD se utilizó primero el método estadístico “Regression on Order” (ROS) que permite imputar los valores faltantes a partir de los valores positivos (> LD), para luego aplicar el Shapiro-Wilk. Para obtener el promedio de las series de datos con valores <LD se utilizó el método no paramétrico Kaplan-Meier [6, 7].

Para las comparaciones entre puntos de muestreo se consideró a aquellos aguas abajo, incluyendo a la laguna, como susceptibles de ser impactados y a los puntos de muestreo aguas arriba como blancos o fondos contra los cuales comparar los primeros. Se utilizaron tests de hipótesis para dos muestras (poblaciones), en particular el test *t* de Student para variancias iguales y su versión de Welch-Satterthwaite para variancias distintas cuando las poblaciones presentaban distribuciones normales, y el test no paramétrico Wilcoxon-Mann-Whitney cuando al menos una de ellas no presentaba dicha distribución. Cuando al menos una de las distribuciones presentaba valores <LD se usaron los tests no paramétricos Gehan y Tarone-Ware (se muestran solo los resultados de Gehan) [5]. En todas las comparaciones se estipuló como hipótesis nula que “la población aguas abajo  $\leq$  la población aguas arriba” y como hipótesis alternativa que “la población aguas abajo  $>$  la población aguas arriba” (forma 1 de los tests), y se utilizó un coeficiente de confianza del 90% ( $\alpha=0,10$ ) para incrementar la potencia de los tests.

### 3. RESULTADOS

Se analizaron los datos aguas arriba y aguas abajo del arroyo El Alamito/Los Alamos. En la Tabla 1 se presentan algunos parámetros de las series de datos, y en la Tabla 2 el resultado de las comparaciones entre ambos puntos de muestreo.

**Tabla 1. Características de las series de datos del arroyo Alamito/Del Alamo**

	Ao. Alamito/Alamo, aguas arriba			Ao. Alamito/Alamo, aguas abajo		
	U en agua	U en sedimento	<sup>226</sup> Ra en sedimento	U en agua	U en sedimento	<sup>226</sup> Ra en sedimento
N° datos <sup>a</sup>	10	7	8 (1)	4	7	9
Valores <LD	4	1	0	0	0	0
Distribución	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Promedio (µg/l o µg/g)	2,6 <sup>b</sup>	2,8 <sup>b</sup>	35,7	7,0	2,6	34,7

<sup>a</sup> Número de datos sin *outliers*, número de *outliers* removidos entre paréntesis

<sup>b</sup> Promedio calculado con método no paramétrico Kaplan-Meier

**Tabla 2. Comparación entre puntos de muestreo del arroyo Alamito /Del Alamo**

Resultados analizados	Comparación puntos de muestreo	Valor p ( $\alpha=0,1$ ) y test empleado <sup>a</sup>
U en agua	Aguas abajo > Aguas arriba	0,002 G
U en sedimento	Aguas abajo <= Aguas arriba	0,592 T
Ra-226 en sedimento	Aguas abajo <= Aguas arriba	0,573 S

<sup>a</sup> G = Test de Gehan; T = Test *t* de Student; Test *t* de Welch-Satterthwaite.

En el caso del arroyo Chacay, los parámetros de las series de datos históricos se presentan en la Tabla 3, y los resultados de su comparación en la Tabla 4.

**Tabla3. Características de las series de datos del arroyo Chacay**

	Arroyo Chacay, aguas arriba			Arroyo Chacay, aguas abajo		
	U en agua	U en sedimento	<sup>226</sup> Ra en sedimento	U en agua	U en sedimento	<sup>226</sup> Ra en sedimento
N° datos <sup>a</sup>	10	9	9	18 (2)	18	17
Valores <LD	4	2	1	2	0	2
Distribución	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Promedio (µg/l o µg/g)	2,1 <sup>b</sup>	1,9 <sup>b</sup>	31,2 <sup>b</sup>	6,8 <sup>b</sup>	2,2	33,8 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Número de datos sin *outliers*, número de *outliers* removidos entre paréntesis

<sup>b</sup> Promedio calculado con método no paramétrico Kaplan-Meier

**Tabla 4. Comparación entre puntos de muestreo del arroyo Chacay**

Resultados analizados	Comparación puntos de muestreo	Valor p ( $\alpha=0,1$ ) y test empleado <sup>a</sup>
U en agua	Aguas abajo > Aguas arriba	0,002 G
U en sedimento	Aguas abajo <= Aguas arriba	0,359 G
Ra-226 en sedimento	Aguas abajo <= Aguas arriba	0,363 G

<sup>a</sup> G = Test de Gehan.

Parámetros de las series de datos históricos del zanjón los caballos y del drenaje superficial antes de desembocar en dicho zanjón, se presentan en las Tablas 5 y 6.

**Tabla 5. Características de las series de datos del zanjón Los Caballos**

	Zanjón Los Caballos aguas arriba			Zanjón Los Caballos, aguas abajo (después de drenaje subterráneo)		
	U en agua	U en sedimento	<sup>226</sup> Ra en sedimento	U en agua	U en sedimento	<sup>226</sup> Ra en sedimento
N° datos <sup>a</sup>	16	8 (1)	11	15 (1)	6	5
Valores <LD	4	0	4	4	2	0
Distribución	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Promedio (µg/l o µg/g)	3,2 <sup>b</sup>	1,6	28,6 <sup>b</sup>	3,3 <sup>b</sup>	1,7 <sup>b</sup>	27,1

<sup>a</sup> Número de datos sin *outliers*, número de *outliers* removidos entre paréntesis

<sup>b</sup> Promedio calculado con método no paramétrico Kaplan-Meier

**Tabla 6. Características del zanjón Los Caballos (cont.) y del drenaje superficial**

	Drenaje superficial			Zanjón Los Caballos, aguas abajo (después de drenaje superficial)		
	U en agua	U en sedimento	<sup>226</sup> Ra en sedimento	U en agua	U en sedimento	<sup>226</sup> Ra en sedimento
N° datos <sup>a</sup>	11	8 (1)	9 (1)	20 (1)	16	16 (2)
Valores <LD	0	1	0	3	0	3
Distribución	Normal	Normal	Normal	No normal	No normal	Normal
Promedio (µg/l o µg/g)	41,5	11,4 <sup>b</sup>	35,6	5,0 <sup>b</sup>	4,2	38,6 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Número de datos sin *outliers*, número de *outliers* removidos entre paréntesis

<sup>b</sup> Promedio calculado con método no paramétrico Kaplan-Meier

Los resultados de las comparaciones efectuadas entre los diversos puntos de muestreo asociados al zanjón Los Caballos se presentan en la Tabla 7.

**Tabla 7. Comparación entre puntos del zanjón Los Caballos y del drenaje superficial**

Resultados analizados	Comparación puntos de muestreo	Valor p ( $\alpha=0,1$ ) y test empleado <sup>a</sup>
U en agua	ZLC aguas abajo 1 $\leq$ ZLC aguas arriba	0,463 G
U en sedimento	ZLC aguas abajo 1 $\leq$ ZLC aguas arriba	0,500 G
Ra-226 en sedimento	ZLC aguas abajo 1 $\leq$ ZLC aguas arriba	0,523 G
U en agua	ZLC aguas abajo 2 <sup>c</sup> $>$ ZLC aguas arriba	0,024 G
U en sedimento	ZLC aguas abajo 2 $>$ ZLC aguas arriba	0,002 WMW
Ra-226 en sedimento	ZLC aguas abajo 2 $>$ ZLC aguas arriba	0,069 G
U en agua	ZJLCAabajo2 $>$ ZLC aguas abajo 1 <sup>c</sup>	0,039 G <sup>b</sup>
U en sedimento	ZJLCAabajo2 $>$ ZLC aguas abajo 1	0,014 G
Ra-226 en sedimento	ZJLCAabajo2 $>$ ZLC aguas abajo 1	0,056 G <sup>b</sup>
U en agua	Drenaje superficial $>$ ZLC aguas abajo 1	5,3E <sup>-5</sup> G
U en sedimento	Drenaje superficial $>$ ZLC aguas abajo 1	0,010 G
Ra-226 en sedimento	Drenaje superficial $>$ ZLC aguas abajo 1	0,020 T
U en agua	Drenaje superficial $>$ ZLC aguas abajo 2	1,2E <sup>-4</sup> G
U en sedimento	Drenaje superficial $>$ ZLC aguas abajo 2	0,044 WMW
Ra-226 en sedimento	Drenaje superficial $\leq$ ZLC aguas abajo 2	0,649 WMW

<sup>a</sup> G = Test de Gehan; WMW = Test de Wilkison-Mann-Whitney; T = Test *t* de Student

<sup>b</sup> En estos casos el test Tarone-Ware dio una conclusión distinta, pero se optó por el resultado conservativo.

<sup>c</sup> 1 = aguas abajo del drenaje subterráneo; 2 = aguas abajo del drenaje superficial

No se pueden efectuar comparaciones similares en el caso del río Malargüe ya que sólo se muestrea aguas arriba del CFM. En la Tabla 8 se presentan algunos parámetros de la serie de datos de dicho punto de muestreo, al igual que de la laguna Llancanelo. En la Tabla 9 se presentan los resultados de las comparaciones de los datos históricos de la laguna con los de los puntos blancos (*i.e.* aguas arriba del CFM) de los cursos de agua estudiados.

**Tabla 8. Características de las series de datos del río Malargüe y la Lag. Llancanelo**

	Río Malargüe, aguas arriba			Laguna Llancanelo		
	U en agua	U en sedimento	<sup>226</sup> Ra en sedimento	U en agua	U en sedimento	<sup>226</sup> Ra en sedimento
Nº datos <sup>a</sup>	18 (2)	9	8	14 (1)	13	10
Valores <LD	4	1	1	0	0	0
Distribución	No normal	Normal	Normal	No normal	Normal	Normal
Promedio ( $\mu\text{g/l}$ o $\mu\text{g/g}$ )	1,2 <sup>b</sup>	1,4 <sup>b</sup>	38,9 <sup>b</sup>	9,2	2,3	30,4

<sup>a</sup> Número de datos sin *outliers*, número de *outliers* removidos entre paréntesis

<sup>b</sup> Promedio calculado con método no paramétrico Kaplan-Meier

**Tabla 9. Comparación con serie de datos de la laguna Llacanelo**

Resultados analizados	Comparación puntos de muestreo	Valor p ( $\alpha=0,1$ ) y test empleado <sup>a</sup>
U en agua	Lag. Llacanelo > A. Alamito, aguas arriba	0,002 G
U en sedimento	Lag. Llacanelo $\leq$ A. Alamito, aguas arriba	0,697 G
Ra-226 en sedimento	Lag. Llacanelo $\leq$ A. Alamito, aguas arriba	0,959 S
U en agua	Lag. Llacanelo > A. Chacay aguas arriba	5,5E <sup>-4</sup> G
U en sedimento	Lag. Llacanelo $\leq$ A. Chacay aguas arriba	0,296 G
Ra-226 en sedimento	Lag. Llacanelo $\leq$ A. Chacay aguas arriba	0,533 G
U en agua	Lag. Llacanelo > ZLC aguas arriba	0,002 G
U en sedimento	Lag. Llacanelo $\leq$ ZLC aguas arriba	0,186 T
Ra-226 en sedimento	Lag. Llacanelo $\leq$ ZLC aguas arriba	0,286 G
U en agua	Lag. Llacanelo > R. Malargüe, aguas arriba	1,7E <sup>-5</sup> G
U en sedimento	Lag. Llacanelo > R. Malargüe, aguas arriba	0,038 G
Ra-226 en sedimento	Lag. Llacanelo $\leq$ R. Malargüe, ag. arriba	0,909 G

<sup>a</sup> G = Test de Gehan; WMW = Test de Wilkison-Mann-Whitney; T = Test *t* de Student

Por encima del 90% de los resultados de <sup>226</sup>Ra en agua de los cursos de agua superficiales muestreados se encuentran por debajo del límite de detección, por lo que no se trabajó con esos datos.

#### 4. CONCLUSIONES Y NUEVOS PUNTOS DE MUESTREO

Si bien el presente trabajo no tiene como fin evaluar el impacto de la instalación, sino readecuar el muestreo para permitir una futura evaluación lo más adecuada posible, el análisis de los resultados permitió arrojar algunas conclusiones provisorias, al menos con respecto al período de muestreo abarcado.

La concentración de U en agua resultó consistentemente mayor en los puntos aguas abajo (incluyendo la laguna Llacanelo) que en los puntos aguas arriba. Sin embargo no se verificó lo mismo con la concentración de U en los sedimentos, que actúan como reservorios de potenciales contaminantes y pueden reflejar mejor su historia de acumulación [8].

Aún las mayores concentraciones de U y <sup>226</sup>Ra registradas en las series de datos analizadas, se encuentran dentro de los valores naturales reportados para aguas y suelos por

UNSCEAR [9]. Además, los valores de agua en los arroyos y la laguna no superaron los niveles guía para U y  $^{226}\text{Ra}$  en agua potable de la Organización Mundial de la Salud [10].

Los arroyos Alamito/Del Alamo y Chacay presentan resultados muy similares, lo que sugiere que uno de ambos cursos se puede dejar de muestrear sin perder información relevante. El primero, más alejado del complejo, y con una menor cantidad de muestras en el punto aguas abajo (en su mayoría por encontrarse su cauce seco), es la opción lógica.

El río Malargüe debería muestrearse en un punto aguas abajo, antes de desembocar en la laguna Llacanelo, para poder determinar su utilidad como punto de muestreo.

El zanjón Los Caballos es el curso de agua que provee la información más útil y es recomendable tomar un mayor número de muestras, que incluyan los distintos drenajes asociados y abarcando una extensión mayor aguas abajo.

La laguna Llacanelo debe seguir siendo muestreada y sería recomendable obtener muestras de otros tributarios más alejados del CFM para comparar sus aportes con los del arroyo Chacay.

Con estas conclusiones se realizaron recorridas por la zona en conjunto con personal del complejo encargado de los muestreos ambientales y con amplio conocimiento de la zona. Se ubicó el arroyo Durazno, que la bibliografía describe con un régimen semipermanente que corre paralelo entre el zanjón Los Caballos y el arroyo Chacay, uniéndose a este último antes de su desembocadura en la laguna Llacanelo. Se verificó la accesibilidad para tomar muestras aguas arriba y aguas debajo de la altura del complejo y se integró al plan de monitoreo en reemplazo del arroyo Alamito/Del Alamo.

También se ubicaron y verificó la accesibilidad a puntos de muestreo del Río Malargüe, Arroyo Mocho y Arroyo Malo antes de su desembocadura en la Laguna. Todos estos nuevos puntos están siendo muestreados actualmente por el operador y por la ARN y serán evaluados al contarse con una cantidad adecuada de resultados.

## **Agradecimientos**

Los autores agradecen a Miguel Palacios, Ana Grinman, Soledad Acosta, Julia Mondini, Daniel Giustina y demás personal de los laboratorios de medición de  $^{226}\text{Ra}$  y U.

## 5. REFERENCIAS

1. Czerniczyniec, M. A; Bonetto, J. P.; Canoba, A, “Plan de monitoreo radiológico ambiental rutinario en las inmediaciones de las instalaciones nucleares y radiactivas del país”, *VIII Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear, I Congreso Latinoamericano del IRPA, V Congreso Nacional de Protección Radiológica DSSA*, Medellín, Colombia, 11 al 15 de Octubre de 2010.
2. “PRAMU Malargüe” <http://www.cnea.gov.ar/pramu/> (2015).
3. Chiodi Victoria, “Análisis de vulnerabilidad ambiental del acuífero de la laguna de Llananelo, en el área del bloque de concesión Llananelo”, práctica supervisada, Facultad de Cs. Exactas, Físicas y Naturales, Univ. de Córdoba, <http://hdl.handle.net/11086/1352> (2014).
4. Helsel, D.R.; Hirsch, R.M., *Statistical Methods in Water Resources, Studies in Environmental Science Vol 49*, Elsevier, Amsterdam (1992).
5. Singh A., Singh A.K., *ProUCL version 5.0.00 Technical Guide*, EPA/600/R-07/41, Environmental Protection Agency, Washington DC (2013).
6. Helsel D.R., *Nondetects and Data Analysis: Statistics for Censored Environmental Data*, John Wiley & Sons, New Jersey (2005).
7. Singh A, Maichle R, *ProUCL version 5.0.00 User Guide*, EPA/600/R-07/041, Environmental Protection Agency, Washington DC (2013).
8. USEPA, *Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses: Technical Manual*, EPA-823-B-01-002, Environmental Protection Agency, Washington DC (2001).
9. UNSCEAR, *Sources and Effects of Ionizing Radiation. Volume I: Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Annex B: Exposures of the Public and Workers from Various Sources of Radiation*, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2008 Report (CD ROM), United Nations sales publication E.10.XI.3, New York (2008).
10. WHO, *Guidelines for Drinking-Water Quality, 4th edition*, World Health Organization, Geneva (2011).