

## Caracterización y cálculo de la cantidad de barros generados en el tratamiento de aguas arsenicales por el método Arcis-UNR

Crisanto, T\* Aguinaga, A\*\*

\*Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica

Quito, Ecuador (Tel: 593-2-2507-144 ext. 2410; e-mail: [tania.crisanto@epn.edu.ec](mailto:tania.crisanto@epn.edu.ec), [taniacrisanto@hotmail.com](mailto:taniacrisanto@hotmail.com))

\*\*Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica

Quito, Ecuador (Tel: 593-2-2507-144 ext. 2400; e-mail: [alvaro.aguinaga@epn.edu.ec](mailto:alvaro.aguinaga@epn.edu.ec))

**Resumen:** El presente trabajo se enfoca en la caracterización de los barros generados por la tecnología de abatimiento de arsénico, ArcIS-UNR, en la planta de potabilización de agua en la ciudad de Lezama, República de Argentina, mediante el ensayo Toxicity Characteristic Lechate Procedure TCLP, cuyos resultados son comparados con los límites legales permitidos en la Legislación Argentina. Se compara con los resultados obtenidos en el año 2010 y 2011 con los ensayos realizados en el 2012, llegándose a la conclusión de que el arsénico removido del agua y contenido en los residuos, cambia su movilización, pues en el último año se comporta como un residuo peligroso, mientras que en los anteriores no. Se calculó la cantidad de lodos generados mediante la fórmula empírica de Corwell y posteriormente se comparó con la cantidad real de lodos obtenidos, presentando un error del 8,5%.

**Palabras clave:** Arsénico, barros arsenicales, cantidad de barros, tecnología ArcIS-UNR, caracterización de barros.

**Abstract:** This work focuses on the characterization of the sludge generated by the arsenic abatement technology, Arcis-UNR in the water purification plant in the small town Lezama, Republic of Argentina, by testing Lechate Procedure Toxicity Characteristic TCLP, the results are compared to the legal limits allowed in Argentina Legislation. Compared with the results obtained in 2010 and 2011 tests conducted in 2012, and concluded that arsenic removed from the water contained in waste, change their mobilization, as in the last year it behaves like a hazardous waste, while in the above no. The amount of sludge generated was calculated from the empirical formula of Corwell and subsequently compared with the actual amount of sludge obtained, introducing an error of 8.5%

**Key words:** arsenic, arsenical sludge, amount of sludge, technology Arcis-UNR, characterization of sludge.

### 1. INTRODUCCION

El objetivo principal de todo Gobierno Nacional o Seccional, es dotar a su población de agua apta para el consumo humano, razón por la cual, se han desarrollado varias técnicas para cumplir con este objetivo.

Se conoce que en varias regiones de la República de Argentina, las fuentes subterráneas de agua contienen arsénico (As) y otros químicos.

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) sitúa al As inorgánico en su clasificación más alta de sustancias cancerígenas (Grupo I) y el Grupo de Evaluación del Cáncer de la Environmental Protection Agency de los Estados Unidos (USEPA), lo coloca en el grupo A por su potencia para producir cáncer, que corresponde a la categoría más elevada para los productos químicos generadores de cáncer.

Una de las enfermedades más comunes que se desarrollan por la ingesta de agua o alimentos con As, es el HACRE o Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico. Esta enfermedad se caracteriza por presentar lesiones en la piel y

alteraciones sistémicas cancerosas y no cancerosas tales como hiperpigmentación e hiperqueratosis de las palmas de las manos y de las plantas de los pies, afección al sistema nervioso, irritación del aparato respiratorio y tracto gastrointestinal, anemia, desórdenes en el hígado, enfermedades vasculares e inclusive diabetes mellitus y cáncer de piel, pulmón y vejiga [16], [17].

Por lo expuesto anteriormente, resulta de vital importancia la remoción del As de las fuentes de agua para conferirles las características de potabilidad que garanticen que su consumo sea apto para la población. Con este fin, se han desarrollado técnicas de abatimiento del As, dentro de ellas se tiene la coagulación-floculación-adsorción-filtración, la cual ha sido base para el desarrollo de un proceso modificado y mejorado denominado ArcIS-UNR, el cual realiza el tratamiento de aguas subterráneas con presencia de As y fluoruros. Este método resulta particularmente aplicable para tratar aguas con As que posean bajos contenidos de sales totales.

El método ArcIS-UNR, como cualquier proceso genera residuos, lo que evidencia la necesidad de avanzar en el tema de tratamiento y disposición final de los barros, y es precisamente donde se centra ésta investigación

Para la caracterización de los barros generados, se trabajó en la planta de Agua Potable de Lezama, República Argentina.

El Partido de Lezama se encuentra ubicado a dos horas vía terrestre de Buenos Aires, Capital Federal, y posee una planta de remoción de As que sirve a una población de 5000 habitantes.

El límite máximo permitido de ciertas sustancias depende de la legislación del país donde se realice la investigación. En el caso específico del As, la Ley Ecuatoriana en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente, TULAS, establece para el agua de bebida el límite máximo permitido de contenido de As es 0,05 mg/L mientras que el Instituto Ecuatoriano de Normalización lo establece en 0,01 mg/L. En la República Argentina, el Artículo 982 del Código Alimentario Argentino (CAA), establece para el agua de bebida el límite máximo de contenido de As en 0,01 mg/L.

Con el fin de determinar si un residuo es peligroso o no, se debe aplicar el Toxicity Characteristic Lechate Procedure TCLP, cuyo valor máximo permitido es de 100 veces el valor para el agua de bebida establecido en la norma.

Para el análisis de suelos, la Ley Nacional Argentina de Residuos Peligrosos 24051 en su Decreto 831/93, en el Anexo II, Tabla 9, desglosa los niveles guía de calidad suelos para diferentes usos, estableciendo para el uso agrícola como límite el valor de 20 mg/Kg, mientras que en la Legislación Ecuatoriana, el valor máximo permitido para ese mismo uso es de 12 mg/Kg.

## 2. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS GENERADOS POR EL ABATIMIENTO DE ÁRSENICO EN LA PLANTA DE AGUA POTABLE DE LEZAMA

En la planta de potabilización de Agua de Lezama, el abatimiento del As, se lo hace a través del proceso ArcIS-UNR que es un proceso de coagulación-floculación seguido de una doble etapa de filtración. Este método resultó particularmente aplicable para tratar aguas arsenicales con bajos contenidos de sales totales, casos en los que compitió favorablemente con los procesos de ósmosis inversa, que requiere alta inversión de operación y mantenimiento. Este proceso utiliza como coagulante al policloruro de aluminio, PAC, que es un polímero inorgánico de Al de uso creciente en el campo de la potabilización de agua y posee las características que se describen en la **Tabla 1**

**Tabla 1.** Características PAC

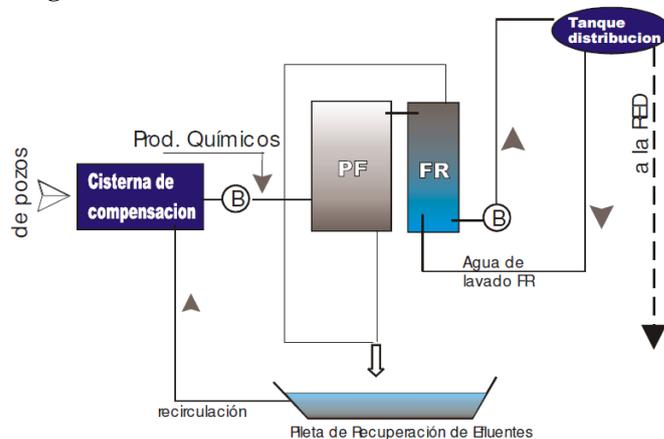
| Característica                 | Valor       | Unidad            |
|--------------------------------|-------------|-------------------|
| Cl                             | 7,8 – 8,6   | %                 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 18 – 23     | %                 |
| Basicidad                      | 81 – 84     | %                 |
| Densidad                       | 1,33 – 1,35 | Kg/m <sup>3</sup> |

Fuente: Ingallinella, 2000

Los filtros deben ser sometidos a un proceso de lavado, pues es el sitio donde el As va a ser retenido. Las aguas de este

lavado son enviadas hacia una pileta o piscina de recuperación de efluentes para su recirculación.

El proceso de abatimiento del As del agua, se esquematiza en la **Figura 1**.



**Figura 1.** Esquema del proceso ArcIS-UNR.  
Fuente: Ingallinella, 2000.

Los residuos de la coagulación/floculación, incluyendo el proceso ArcIS-UNR, son generados principalmente en los decantadores y/o en los filtros, cuya concentración de As es directamente proporcional al volumen de agua tratada, volumen de agua usada en el lavado de filtros, dosis de agente coagulante y eficiencia alcanzada en la remoción. Estos barros contiene principalmente Fe (H<sub>2</sub>AsO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> o Al (H<sub>2</sub>AsO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, dependiendo si el coagulante usado son sales de hierro o de aluminio [31]

### 2.1. Caracterización de los barros

#### 2.1.1 Determinación de humedad

La determinación de la humedad se realizó sobre barros de la playa de secado con una permanencia de 10 semanas y en los barros del sitio de disposición final. Los resultados se detallan en la **Tabla 2**.

**Tabla 2.** Porcentaje de humedad en los barros

| LUGAR             | HUMEDAD (%) |
|-------------------|-------------|
| Playa de secado   | 88          |
| Disposición final | 39          |

#### 2.1.2 Contenido de As en el percolado de la playa de secado.

En diferentes fechas se tomaron tres muestras del agua de percolado de la playa de secado, en el punto que la conecta con la pileta de recuperación. Las tres muestras se analizaron para conocer el contenido de As y Al, mediante el método del

dietilditiocarbato de plata. Los valores presentaron escasa variabilidad y el promedio consta en la **Tabla 3**.

**Tabla 3.** Resultados del análisis de percolado de la playa de secado.

|          | PARÁMETRO ANALIZADO |             |
|----------|---------------------|-------------|
|          | As total (mgAs/L)   | Al (mgAl/L) |
| Promedio | 0,02                | 0,04        |

### 2.1.3 Contenido de As en los barros de playa de secado y disposición final.

Entre los años 2010 y 2011, se tomaron muestras de la playa de secado y se envió a dos laboratorios diferentes; en estas muestras se determinó el contenido de As total y además se aplicó el test TCLP. En el año 2012, se tomó una muestra de los barros de la playa de secado con 10 semanas de deshidratación y otra del sitio de disposición final. Cada muestra fue enviada al laboratorio, para la realización del TCLP sobre As.

Los resultados obtenidos en los tres años se encuentran resumidos en la **Tabla 4**.

Como se observa, en los años 2010 y 2011, en primera instancia, los barros cumplen con el valor límite de lixiviación establecido por el CAA de la República Argentina correspondiente a 1 mgAs/L, en tanto en el año 2012, los barros no cumplen con dicho límite. En lo referente al contenido de As total en el barro, en primera instancia, éstos cumplen con el valor límite para uso agrícola establecido por el Decreto 831/93 de la Ley Nacional Argentina de Residuos Peligrosos 24051, que es de 20 mgAs/Kg suelo.

También es apreciable que todos los laboratorios donde se realizaron los análisis de las muestras, utilizaron distintas técnicas para el lixiviado y para la detección del As, por lo que, se hace complicado una conclusión categórica sobre el cumplimiento de éstas con la normativa local vigente. Es necesario unificar las metodologías de análisis, para con ello facilitar las decisiones sobre el tratamiento y disposición final de los barros.

### 2.1.4 Contenido de As en el suelo del sitio de disposición final

En los análisis del suelo subyacente al depósito final de barros destinado por la Planta de Dotación de Agua Potable de Ledesma se estableció que el mismo no se encontraba contaminado con As a pesar de que estos barros eran depositados directamente en el suelo sin ningún tipo de construcción especial para el efecto. El análisis de estos barros fue prioritario pues éstos estuvieron sometidos a variaciones climáticas por lo que la probabilidad de formación de lixiviados era alta.

Las pruebas de lixiviado se realizaron sobre:

**Tabla 4.** Resultados del análisis del contenido de As en barros de playa de secado en los años 2010, 2011 y 2012.

| FECHA      | TIPO DE MUESTRA  | U       | LAB. ANALÍTICO   | TÉCNICA                    |  | RESULT        | LÍM |
|------------|--|---------|--|----------------------------|--|---------------|-----|
|            |  |         |  | PARA LIXIVIADO             | PARA As  |               |     |
| 24/05/2010 | Contenido de As en el lixiviado del barro extraído de la playa de secado | mgAs/L  | Laboratorio de Ingeniería Sanitaria Universidad Nacional de la Plata | SM-3500-As B               | Dietildiotio car-bamato de plata                       | 0,010         | 1   |
| 12/04/2011 |  |         | C&D Laboratorio  | EPA SW 846 M 7061A -EAA GH | EPA SW 846 M 7061A -EAA GH                             | 0,041         |     |
| 25/06/2012 |  |         | Induser  | EPA 1310B                  | EPA3015 A/ 6010C                                       | 3,90<br>1,27* |     |
| 24/05/2010 | Contenido de As total en el barro  | mgAs/Kg | Laboratorio de Ingeniería Sanitaria Universidad Nacional de la Plata | SM-3500-As B               | Digestión Método 3050 Dietildiotio car-bamato de plata | 2,00          | 20  |
| 12/04/2011 |  |         | C&D Laboratorio  | EPA SW 846 M 7061A -EAA GH | EPA SW 846 M 7061A -EAA GH                             | 4,58          |     |

\* Muestra tomada del sitio de disposición final

- El barro acopiado durante aproximadamente un año y medio.
- Porción de suelo subyacente al acopio, de profundidad comprendida entre 0 y 30 cm.
- Porción de suelo subyacente al acopio de profundidad comprendida entre 30 y 60 cm.
- Blanco de suelo extraído de una zona del predio alejado de la zona de acopio y/o probable escurrimiento superficial.

La **Figura 2** esquematiza las profundidades de las cuales fueron tomadas las muestras para el análisis de lixiviación sobre As.

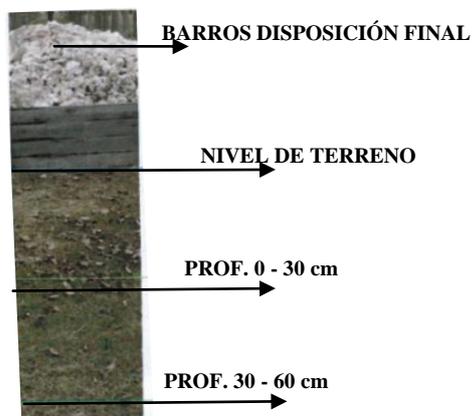
Se enviaron a laboratorio muestras de suelo obtenidas a 30 y 60 cm de profundidad, además de un blanco para analizar el contenido de As en el suelo y el lixiviado de As.

El blanco de muestra o testigo es una muestra que no es sometida a tratamiento o no es invadida por la sustancia a estudiar y contra la que se va a comparar los resultados de las demás muestras tratadas o contaminadas.

Los resultados se resumen en la **Tabla 5** y **Tabla 6**. Las muestras fueron obtenidas en diferentes fechas.

Al realizar la comparación con los valores de contenido de As total en el lixiviado, con lo establecido por el CAA, en su Artículo 982 sobre *calidad de agua de bebida*, el cual se aplica para límites en el ensayo de lixiviado, se puede observar que, en primera instancia, todas las muestras cumplen el límite establecido de 1mgAs/L.

**Figura 2.** Profundidades para la toma de muestras en el sitio de disposición final.



Fuente: Cooperativa de Provisión de Agua Potable de Lezama

Al igual que en los análisis realizados para los barros de la playa de secado, se observa que los laboratorios donde realizaron los análisis de las muestras, utilizaron distintas técnicas para el lixiviado, por lo que llegar a una conclusión categórica es complicado. Es necesario unificar las metodologías de análisis, para con ello saber a ciencia cierta si el suelo circundante el sitio de disposición final está afectado o no con As.

En el contenido de As sobre el sólido, se observa que en ningún caso supera el valor legal establecido por la República Argentina para terreno agrícola, por el Decreto 831/93 de la Ley Nacional 24051 de residuos peligrosos, en el Anexo II, Tabla 9, que es de 20 mgAs/Kg. Se eligió como comparable este uso de suelo por el tipo de zona donde se encuentra emplazada la Planta de Potabilización de Lezama.

Las muestras fueron llevadas a un mismo laboratorio, y analizadas con una misma técnica, por lo que se podría decir que el contenido de As en suelo circundante al lugar designado para la disposición final de los barros deshidratados, está bajo el límite máximo permitido

### 3. CÁLCULO TEÓRICO DE LA CANTIDAD DE BARROS GENERADOS

Para el cálculo de la cantidad de barros generados en la planta de dotación de agua potable de Lezama, se realizó una adaptación de la fórmula empírica propuesta por Corwell (1999) aplicada al PAC 18, que es el coagulante usado en este ensayo y cuyo contenido de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> es de 18%. La fórmula es la siguiente:

$$S = Q(0,467Al + SS + A) \quad (1)$$

Donde:

S = cantidad de barro producido (Kg/día)

Q = caudal de la planta (m<sup>3</sup>/día)

Al = dosis de aluminio seco (mg/L)

SS = sólidos suspendidos en el agua cruda (mg/L)

A = químicos adicionales añadidos, como son polímeros, arcilla o carbón activado en polvo (mg/L).

**Tabla 5.** Resultados del análisis de TCLP sobre las muestras de suelo años 2010 y 2011

| TIPO DE MUESTRA  | U      | MATRIZ          | FECHA      | LAB. ANALÍTICO   | TÉCNICA                     |                                | RESULT. | LÍM. |  |
|--|--------|-----------------|------------|--|-----------------------------|--------------------------------|---------|------|--|
|  |        |                 |            |  | PARA LIXIVIADO              | PARA As                        |         |      |  |
| Contenido de As en el lixiviado las muestras de suelo del sitio de disposición final | mgAs/L | Blanco          | 19/10/2010 | Laboratorio de Ingeniería Sanitaria Universidad Nacional de la Plata | SM-3500-As B                | Dietildiotiocarbamato de plata | 0,01    | 1    |  |
|  |        |                 | 12/04/2011 | C&D Laboratorio  | EPA SW 846 M 7061A - EAA GH | EPA SW 846 M 7061A - EAA GH    | 0,038   |      |  |
|  |        | Suelo 0 -30 cm  | 19/10/2010 | Laboratorio de Ingeniería Sanitaria Universidad Nacional de la Plata | SM-3500-As B                | Dietildiotiocarbamato de plata | 0,140   |      |  |
|  |        |                 | 12/04/2011 | C&D Laboratorio  | EPA SW 846 M 7061A - EAA GH | EPA SW 846 M 7061A - EAA GH    | 0,045   |      |  |
|  |        | Suelo 30 -60 cm | 12/04/2011 | C&D Laboratorio  | EPA SW 846 M 7061A - EAA GH | EPA SW 846 M 7061A - EAA GH    | 0,048   |      |  |

Fuente: Cooperativa de Provisión de Agua Potable de Lezama

En la ecuación (1), la dosis del coagulante está expresada como Al, por lo que hay que convertir la dosis de PAC a dosis de Al, mediante la ecuación (2)

$$D_{AL} = \frac{\text{Peso Al}}{\text{Peso Al}_2\text{O}_3} \times \text{dosis PAC} \quad (2)$$

La dosis de PAC usada en el ensayo fue de 113 mg/L. Entonces se tiene que:

$$D_{AL} = \frac{54}{102} \times 113 = 59,82 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Como no se añade ningún polímero adicional A= 0, la cantidad de sólidos suspendidos en este tipo de agua es de aproximadamente 5 mg/L y el caudal de la planta es de 960 y m<sup>3</sup>/día, entonces la cantidad de barro teórica generada en la planta es:

**Tabla 6.** Resultados del análisis de contenido de As sobre las muestras de suelo años 2010 y 2011

| TIPO DE MUESTRA                   | U       | MATRIZ          | FECHA      | LAB.            | TÉCNICA                     |                             | RESULT. | LÍM. |
|-----------------------------------|---------|-----------------|------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|---------|------|
|                                   |         |                 |            |                 | PARA LIXIVIADO              | PARA As                     |         |      |
| Contenido de As total en el suelo | mgAs/Kg | Blanco          | 12/04/2011 | C&D Laboratorio | EPA SW 846 M 7061A - EAA GH | EPA SW 846 M 7061A - EAA GH | 1,80    | 20   |
|                                   |         | Suelo 0 -30 cm  | 12/04/2011 | C&D Laboratorio | EPA SW 846 M 7061A - EAA GH | EPA SW 846 M 7061A - EAA GH | 1,73    |      |
|                                   |         | Suelo 30 -60 cm | 12/04/2011 | C&D Laboratorio | EPA SW 846 M 7061A - EAA GH | EPA SW 846 M 7061A - EAA GH | 1,90    |      |

Fuente: Cooperativa de Provisión de Agua Potable de Lezama

$$S = 960 \frac{m^3}{día} (0,467 \times 59,82 + 5) \frac{mg}{L}$$

$$S = 31,62 \approx 32 \frac{Kg}{día}$$

#### 4. MEDICION DE LA CANTIDAD DE BARROS GENERADOS

Las mediciones de la cantidad de barro generado se realizaron a la semana 10 de la deshidratación. Se midió la altura que había llegado el barro y se estimó un factor de ocupación volumétrica, pues como se observa en la **Figura 3**, el barro no ocupa todo el volumen de la playa ya que está fraccionado.

La playa de secado tiene 13,5 m de largo, 5,50 m de ancho y la altura de barros medida es de 0,30 m. Al calcular el volumen en base seca, se lo afectará por el factor de ocupación volumétrica, estimado en 0,85

$$V = l \times a \times h \times \eta \tag{3}$$

$$V = 18,934 m^3$$

$$V_{diario} = \frac{18,934 m^3}{9 \text{ semanas} \times 7 \text{ días}}$$

$$V_{diario} = 0,300 \frac{m^3}{día}$$

**Figura 3.** Playas de secado de barros



Se realizó la determinación de la densidad de los barros a la semana 10 mediante la fórmula 4

$$\rho = \frac{(W_L - W_V) \text{ Kg}}{(l \times a \times h) \text{ m}^3} \tag{4}$$

Donde:

- $W_L = 4,685 \text{ Kg}$
- $W_V = 0,5 \text{ Kg}$
- $L = 0,225$
- $A = 0,16$
- $H = 0,12$

Por tanto: 
$$\rho = 968,75 \frac{Kg}{m^3}$$

También se conoce que la humedad del barro a la semana 10 es de 88%, y mediante la ecuación 5 se calcula la cantidad real de barros generados por día.

$$S = V_{diario \text{ barros}} \times \rho \times \left[ 1 - \left( \frac{hum}{100} \right) \right] \frac{Kg}{día} \tag{5}$$

$$S = 0,300 \frac{m^3}{día} \times 968,75 \frac{Kg}{m^3} \left[ 1 - \frac{88}{100} \right] \frac{Kg}{día}$$

$$S = 34,88 \approx 35 \frac{Kg}{día}$$

Comparando los resultados obtenidos, se puede apreciar que la diferencia entre el valor real vs el teórico corresponde al **8,5%**.

#### 5. DISCUSIÓN SOBRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

La fórmula provista por Cornwell et al, para el cálculo teórico de la cantidad de barros generados fue utilizada para determinar la cantidad de barros generados. Se comparó el resultado teórico obtenido por la fórmula empírica de

Cornwell, con la generación real de barros obteniéndose un error del 8,5%, con lo cual la ecuación empírica permite tener un criterio bastante aproximado de la generación real de barros, convirtiéndose en una herramienta útil para el diseño de playas de secado en el tratamiento de barros, así como para su manejo y disposición final.

Uno de los criterios provistos por la bibliografía y las leyes locales vigentes para discriminar entre residuos peligrosos y no peligrosos, son los resultados del TCLP sobre As y el contenido de As total sobre el barro. En el caso analizado, los barros obtenidos como producto del abatimiento del As en la Planta de Agua Potable de Lezama, con la tecnología Arcis-UNR, son variables. En el 2010 y 2011 cumplían con lo estipulado en el CAA y el Decreto 831/93 de la Ley Nacional Argentina 24051, por lo que se los calificó como residuos no peligrosos, mientras que en el análisis realizado en el 2012 no cumplen con la normativa vigente.

Los ensayos en los años 2010, 2011 y 2012, fueron realizados por diferentes laboratorios y con diferentes técnicas de detección de As y de realización del TCLP, es por ello, que se sugiere que los laboratorios se estandaricen en las metodologías aplicadas, por ejemplo, usar las Normas IRAM. Por todo lo expuesto anteriormente se concluye que se deben realizar *monitoreos sistemáticos de los barros generados*, que servirán para establecer la metodología para la detección de As y de lixiviado así como el procedimiento de tratamiento y disposición final de los mismos.

## 6. CONCLUSIONES

Los ensayos de lixiviación aplicados sobre las muestras de lodos mostraron que la movilidad de los contaminantes es variable con el tiempo, por ello se debe aplicar un plan de monitoreo permanente de los residuos generados en la planta para asegurar que el contenido de contaminantes, especialmente de As en el residuo esté por debajo de los límites máximos permisibles por las normas ambientales empleadas en este estudio.

La determinación del contenido de As en los residuos generados en la planta debe realizarse empleando la misma técnica analítica, de lo contrario no se puede establecer una comparación real de los resultados obtenidos de los mismos.

La fórmula empírica de Cornwell es una herramienta analítica factible de ser aplicada para la estimación de la cantidad de barros generados, pues el error generado respecto a la cantidad real de barros obtenidos fue del 8,5%.

## REFERENCIAS

- [1] ADAMS, C. FORD, D. ECKENFELDER, W. Development of Design and Operational Criteria for Wastewater Treatment. CBI publishing, Estados Unidos, 1981.
- [2] AMBROSOLIO, Silvina. Problemática del arsénico en el agua subterránea. OPDS 2007. [Fecha de consulta 18 de enero de 2012]. [En línea] Disponible <http://www.slideshare.net/profesoradoquimica/arsnico-ppoint-ing-ambrosolio-opds-chacabuco>.
- [3] BARROSO, Marcelo. Gerenciamento de Resíduos Gerados no Tratamento de Água. Engenharia Ambiental- UNIR, Abril/2009 [fecha de consulta: 15 de maio de 2012] [En línea] Disponible [http://www.engenhariaambiental.unir.br/admin/prof/arq/Apostila\\_Aula\\_GerenciamentoLodoETA.doc](http://www.engenhariaambiental.unir.br/admin/prof/arq/Apostila_Aula_GerenciamentoLodoETA.doc)
- [4] BUNDSCHUH, Jochen, [et al]. Distribución del Arsénico en las Regiones Ibérica e Iberoamericana. Buenos Aires. Editado por CYTED, 2003.
- [5] CASTRO DE ESPARZA, María Luisa. Tratamiento de lodos, post remoción de arsénico en el agua de bebida en Iberoamérica. Curso/Taller Remoción de Arsénico en Aguas Sede IATA. Red IBEROARSEN de CYTED. Valencia-España, 2008.
- [6] CASTRO DE ESPARZA, María Luisa. Remoción del arsénico en el agua para bebida y bioremediación de suelos. International Congress: Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America. México DF, Junio 2006.
- [7] CASTRO MUÑOZ, Guillermina. Problemática del arsénico en agua potable. Tecnologías de abatimiento. Junio 2011.
- [8] CHENG, Robert, et al. Enhanced Coagulation for Arsenic Removal. JAWWA, 86:9:79, 1994.
- [9] CHWIRKA, J. Residuals Generation, Handling and Disposal. In Arsenic Treatment Options and Residuals Handling Issues. Draft Final Report. AWWA, Denver, 1999.
- [10] CHWIRKA, J., COLVIN, C., GOMEZ, J., MUELLER P. Arsenic removal from drinking water using the coagulation/microfiltration process. J. Am. Water Works Assoc., 96 págs. 106-114, 2000.
- [11] CLIFFORD, Dennis, and LIN, C. Arsenic (III) and Arsenic (V) Removal from Drinking Water in San Ysidro, New Mexico. Cincinnati OH, USEPA, 1991.
- [12] CÓDIGO ALIMENTARIO NACIONAL, Anexo 1, Artículo 982, Resolución Conjunta SPR y RS y SAGP y A No 68/2007 y 196/2007
- [13] CORNWELL, David. Water Treatment Plant Residuals Management. In Water Quality and Treatment. Edited by Raymond Letterman. New York, McGraw-Hill, Inc. 1999.
- [14] DE LUCA, Marcela. Apuntes de clase residuos peligrosos. Maestría en Ingeniería Ambiental UTN. Buenos Aires, 2010
- [15] DE SOUZA, [et al]. Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estacoes de tratamento de agua. Rede Cooperativa de Pesquisas. Rio de Janeiro 1999.
- [16] DEL RAZO, [et al]. Arsenic levels in cooked food and assessment of adult dietary intake of arsenic in the Region Lagunera, Mexico. Mexico 2002
- [17] DEL RAZO, [et al]. Studies on the mechanisms of arsenic-induced self tolerance developed in liver epithelial cells through continuous low-level arsenite exposure, 2000
- [18] DOE, Peter. Water Treatment Plant Waste Management. Chapter of Water Quality Treatment de la AWWA, 1999.
- [19] DURÁN, Jorge. Apuntes de clase Aguas y Aguas Residuales. Maestría en Ingeniería Ambiental. Universidad Tecnológica Nacional. Escuela de Posgrados. 2011.
- [20] FERNÁNDEZ-CIRELLI, Alicia. Seminario de Tecnologías de Remoción de Arsénico en Agua, Centro de estudios Transdisciplinarios del Agua Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires, Octubre 2011
- [21] INGALLINELLA, Ana María. Experiencias en Argentina con plantas basadas en Procesos de Coagulación-Adsorción. Curso/Taller Remoción de Arsénico en Aguas Sede IATA. Red IBEROARSEN de CYTED. Valencia-España, 2008.
- [22] INGALLINELLA, Ana María. Remoción de arsénico y flúor mediante coagulación con cloruro de polialuminio y doble filtración. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Rosario, 2006.
- [23] LEIST, M. CASEY, R.J. and CARIDI D. The management of arsenic wastes: problems and prospects. Victoria, Australia. Febrero, 2000
- [24] LEY DE RESIDUOS ESPECIALES Y PELIGROSOS 11720. Publicada el 22 de abril de 1997.
- [25] LITTER, Marta, [et al]. Tecnologías económicas para el abatimiento de arsénico en aguas. CYTED, red Iberoarsen. Argentina, 2010.
- [26] MACPHEE, M., CHARLES, G. y CORNWELL, D. Treatment of Arsenic Residuals from Drinking Water Removal Processes.

- Environmental Engineering & Technology, Inc. Newport News, Va23606. EPA/600/R-01/033. Junio 2001.
- [27] METCALF & EDDY. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Tercera edición Volumen II. McGraw-Hill, Madrid-España, 1995.
- [28] MINISTERIO DE AMBIENTE DEL ECUADOR, Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ecuador, Libro VI, Anexo I y Anexo II.
- [29] RESOLUCIÓN 97/01 Reglamento para el Manejo Sustentable de Barros Generados en Plantas de Tratamiento de Efluentes Líquidos.
- [30] RIHM, A., ARELLANO, J. y SANCHA, M. Uso de test de lixiviación para caracterización de residuos del área minera y reflexiones sobre gestión de residuos peligrosos en América Latina. Universidad de Chile, División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente y Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA). Noviembre 1998.
- [31] SANCHA, A.M, Estudio de caso: Contaminación por arsénico Chile y su impacto en el ecosistema y la salud humana
- [32] SANDOVAL, Luciano y JAUREGUI, Luis. Tratamiento de residuos de arsénico provenientes del tratamiento del agua. Primera Parte. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2007.
- [33] SHAFIQUZZAMAN, Md., AZAM, S., NAKAJIMA, J. and HAMIDUL BARI, Q. Arsenic leaching characteristics of the sludges from iron based removal process. Science Direct. Junio 2010.
- [34] SULLIVAN, C., TYRER, M., CHEESEMAN, C. and GRAHAM, N. Disposal of water treatment wastes containing arsenic- A review. Science Direct. Febrero, 2010
- [35] WHO, 2005. Towards a More Effective Operational Response Arsenic Contamination of Groundwater in South and East Asian Countries Volume I: Policy Report Environment and Social Unit South Asia Region Water and Sanitation - WSP Report No. 31303, 46 págs. 106-114
- [36] USEPA, Design Manual Dewatering Municipal Wastewater Sludges. Center for Environmental Research Information. Cincinnati, 1987. [Fecha de consulta 5 de Julio de 2012]. [En línea]. Disponible <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/300045WA.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1986%20Thru%201990&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A\ZYFILES\INDEX%20DATA\86THRU90\TXT\00000001\300045WA.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h|-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r85g16/r85g16/x150y150g16/i500&Display=plf&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=74#>