

Evolución de la calidad de los líquidos lixiviados y contaminación de las napas durante la vida útil del relleno sanitario de la ciudad de Santa Fe

Alejandro Bernabeu*, Mauro Cabrero**, Ana Laura Pino***
y Eduardo Groppelli****

Resumen

En el presente trabajo se analizan durante un lapso de 11 años, los líquidos lixiviados generados por el relleno sanitario de la ciudad de Santa Fe y la calidad del agua de la napa freática. Se pretende con este estudio conocer la calidad de los percolados, la presencia de contaminantes, su evolución en el tiempo, así como los volúmenes recogidos en las diferentes estaciones del año. Se analizan los resultados a fin de establecer el tipo de tratamiento a que podrían ser sometidos los lixiviados y establecer pautas para el desarrollo de experiencias tendientes a obtener los principales parámetros de diseño de la futura planta de procesamiento de residuos sólidos urbanos de esta ciudad. Asimismo, se analiza la calidad del agua de la napa freática, a fin de constatar si ha habido contaminaciones en la misma y poder evaluar la performance de la aislación del relleno.

Palabras claves: líquidos lixiviados, napas freáticas, caracterización, degradación

Fecha de recepción del original: 13/05/2010 | Fecha de evaluación del original: 21/07/2010

• Facultad de Ingeniería Química – UNL – CEGA - Santiago del Estero 2654 (3000) Santa Fe | T.E.: 0342 4571160 | e-mail: bernabeu@unl.edu.ar

•• Municipalidad de Santa Fe –Relleno Sanitario –Callejón El Sable 4040. T.E: 0342 4884223 | e-mail: mpcabrero@hotmail.com

••• Facultad de Ingeniería Química – UNL - CEGA - Santiago del Estero 2654 (3000) Santa Fe | T.E.: 0342 4571160 | e-mail: alpino@fiq.unl.edu.ar

•••• Facultad de Ingeniería Química – UNL – CEGA - Santiago del Estero 2654 (3000) Santa Fe | T.E.: 0342 4571160 | e-mail: groppellieduardo@arnet.com.ar

Abstract

In the present research, we analyze the leachate that had been generated by the landfill as well as the quality of the water in drainage systems, for a period of 11 years, in the city of Santa Fe. It is expected with this study to get to know the quality of the leaching, the presence of contaminants, its evolution on time, as well as the picked volumes during the different seasons of the year. We examine the results in order to establish the type of treatment that would be suitable for these leaching. We are expecting to establish the patterns for the development of pathways that would allow us to obtain the main parameters for the design of the future plant for processing of urban solid residues in this city. Furthermore, we study the quality of water in the drainage systems with the ultimate goal of confirming if any sort of contamination had taken place on them, as well as evaluating the performance of the isolation of the fillings.

Key words: leachate, drainage systems, characterization, degradation

I. Introducción

Desde tiempos inmemorables el hombre dispuso la basura a cielo abierto en las inmediaciones de las urbes, en zonas frecuentemente bajas y cerca de aguas superficiales. Entre algunos de los impactos ambientales que esto trae aparejado, podemos mencionar, los olores, los incendios, los vectores como moscas y roedores, y la contaminación del agua superficial y subterránea entre otros (ver Figura 1). La introducción de la tecnología de los rellenos sanitarios, significó enterrar la basura en un sitio aislado en su base y taludes laterales, así como la cobertura de la misma, lo que trajo como consecuencia la remediación de parte de estos inconvenientes o su mitigación. Para países con condiciones de desarrollo económico como la Argentina, este tipo de tecnología, es una alternativa válida. La utilización de programas de clasificación y selección de los residuos sólidos domiciliarios, complementa y mejora esta metodología. Sin embargo, una de las dificultades a resolver, es la ubicación de los mismos por las tensiones sociales, económicas y políticas que esto conlleva, e implica necesariamente una negociación entre los diferentes actores.

Uno de los aspectos que debe tenerse en especial consideración son los referidos a los efectos que pueden potencialmente generar sobre la salud, la interacción de los líquidos lixiviados con las aguas superficiales o subterráneas. A fin de evitar dicha contaminación, es que se impermeabiliza el relleno y se efectúan controles que permiten monitorear el estado de la napa.

El estudio de las características de los líquidos lixiviados a lo largo de la operación del relleno sanitario de Santa Fe, así como la calidad del agua subterránea, es el objetivo del presente trabajo en especial atendiendo a la necesidad de construir un nuevo relleno sanitario por haber llegado el actual al final de su vida útil. La fecha de inicio de las actividades del relleno se remonta a 1997 y es operado por una empresa privada que es controlada por la Municipalidad de la ciudad de Santa Fe, en la provincia del mismo nombre. El proyecto original previó su funcionamiento durante un lapso de 10 años, período que ha sido superado, dado que a la fecha esta en operación. Es necesario indicar también, que la zona en la que se encuentra emplazado, ha aumentado el grado de urbanización sin servicio de cloacas, así como actividades de naturaleza agropecuaria. A partir de la información obtenida, y las conclusiones arribadas, se procederá a realizar a posteriori, las experiencias que tiendan a proponer una alternativa de tratamiento de los líquidos lixiviados.



Fig. 1 | Basural a cielo abierto y animales

II. Metodología de trabajo

Dado que la actual planta de disposición de residuos sólidos urbanos cuenta con una laguna de acopio de líquidos lixiviados, se tomaron muestras del material bombeado a la laguna proveniente del relleno, en un envase adecuado y de acuerdo a las técnicas clásicas [2]. Es menester aclarar que en la laguna de acopio se mezclan los lixiviados provenientes de diferentes celdas, con diferentes edades.

La frecuencia de muestreo fue 2 veces por año según lo estipulado oportunamente en el plan de gestión ambiental. Una de las muestras se tomó en otoño y la segunda en primavera, atendiendo a las condiciones climáticas locales y en especial, teniendo en cuenta las diferencias en las precipitaciones que se producen en la región en los períodos mencionados.

Se tomaron dos muestras de agua subterránea por año, desde 2001 a 2009, en dos freatrímetros denominados P2O y P2E practicados a tal efecto, a las que se le practicaron ensayos normalizados [2]. Se determinaron metales pesados como se describe en el párrafo siguiente, hidrocarburos totales, pH, alcalinidad total, cloruros, DBO, DQO, nitrato, nitrito, fenoles totales, mesófilos, Coliformes totales y Coliformes fecales.

Sobre las muestras de lixiviado se realizaron los siguientes controles: DBO, DQO, pH, Sólidos Sedimentables, por métodos clásicos [2]. Metales tales como: cadmio, cromo, níquel, mercurio y plomo se determinaron por espectrometría de absorción atómica, con un equipo PERKIN ELMER modelo 5000.

Los plaguicidas evaluados en lixiviado fueron: Aldrin mas Dieldrin, Clordano y DDT, Heptacloro y Heptacloro epóxido, Lindano, Metoxicloro y dentro de los

fosforados, Malation, Metil Paration y Paration por cromatografía gaseosa, con un cromatógrafo gaseoso HEWLET-PACKARD.

Se determinó el contenido en fenol por espectrometría de UV-Visible e Hidrocarburos Totales por espectrometría de infrarrojo, según las técnicas indicadas [2] con un espectrofotómetro de infrarrojo PERKIN-ELMER. Los ensayos se llevaron a cabo en el laboratorio del CERIDE, Servicio Centralizado de Grandes Aparatos. Paralelamente, se midieron los caudales recogidos en la laguna de acopio en forma directa (volumen y tiempo).

III. Estado del Arte

Respecto de los estudios existentes se pueden mencionar algunas conclusiones que han resultado de valor al momento de estudiar los resultados obtenidos.

En primer lugar se han realizado estudios para remarcar el efecto de las precipitaciones en la calidad de los lixiviados [3]. En el caso que nos ocupa, se registran los menores valores de precipitación en la región en el período invernal, mientras que la época lluviosa es el verano, como se ilustra a continuación en la Figura 2.

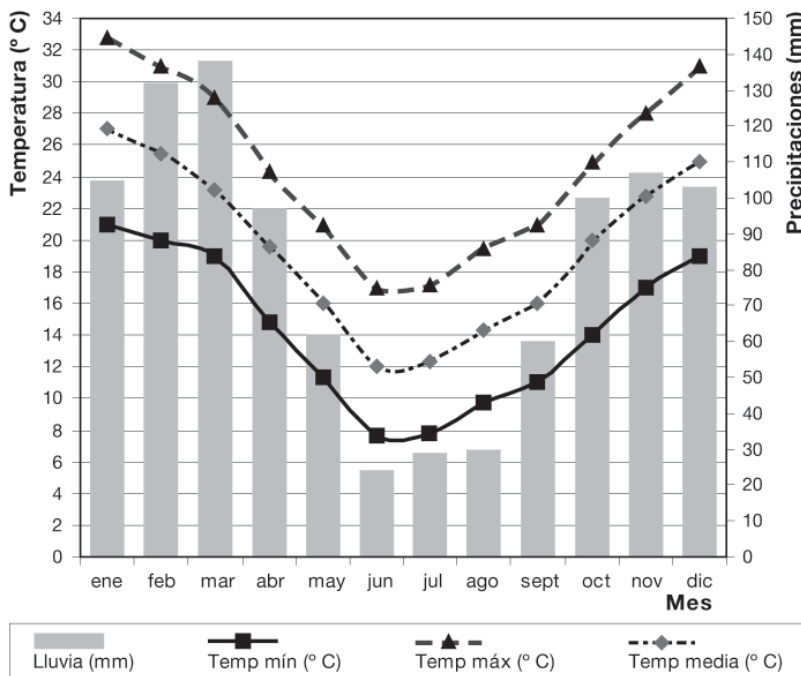


Fig. 2 | Climatograma de la ciudad de Santa Fe

El promedio en la región oscila en los 1000 mm por año. Es necesario también mencionar que se producen variaciones anuales, con valores medios en un decenio (1991 a 2001) que van de 1.625,7 mm a 792 mm. [4].

En particular, dentro del período estudiado, en el año 2003 se produjeron anomalías en el ingreso de residuos al relleno, debido a la inundación de la ciudad de Santa Fe por el desborde del Río Salado y la consecuente necesidad de depositar los restos provenientes de las viviendas del sector inundado en el relleno. Cabe destacar que el sector inundado involucró a un tercio de la población, aproximadamente unos 130.000 habitantes y parte de estos habitantes fueron ubicados en la zona norte en cercanías del relleno.

Asimismo, las variaciones de temperatura a lo largo del año que se evidencian en la Fig. 2 anterior, afectan tanto a la actividad biológica sobre la basura como a la evapotranspiración del lixiviado.

Una relación particularmente interesante para estudiar los datos obtenidos, es el llamado Índice de Biodegradabilidad, que es igual a la relación entre la demanda biológica de oxígeno y demanda química de oxígeno, DOB_5/DQO . Según sea su valor, queda condicionada la posibilidad de degradación por vía biológica o química de los líquidos residuales. Este índice refleja también la edad del relleno, por cuanto los residuos en la etapa inicial de su degradación anaeróbica o fase acidogénica, presentan valores altos del Índice de Biodegradabilidad (mayor que 0,4) y valores bajos en el pH. Este Índice, disminuye a medida que avanza el proceso anaeróbico e ingresa en la etapa metanogénica, en la cual el Índice de Biodegradabilidad es menor y el pH aumenta. Es de subrayar entonces que este Índice de biodegradabilidad, permite orientar la naturaleza del tratamiento posterior del lixiviado y a su vez refleja el estado del relleno.

Algunos autores proponen que la superficie de las partículas con material orgánico, tienen la capacidad de adsorber sobre su superficie metales pesados y transportarlos, lo cual podría ser el mecanismo de transporte en el caso en estudio [1].

Respecto de los valores informados por otros autores para estos indicadores, se pueden mencionar valores de DBO de hasta 60.000 mg/l [5] o de valores medios de DBO_5 de 1652 mg/l y DQO total medio de 5764 mg/l en la ciudad de Mérida, México [6].

Contribución

Se detallan a continuación los principales resultados obtenidos desde el año 1998 al 2009 en las variables controladas, visualizándose la evolución de diferentes parámetros, a lo largo del período estudiado. Las Figuras 3 y 4 grafican la variación de DBO y DQO en el tiempo, respectivamente.

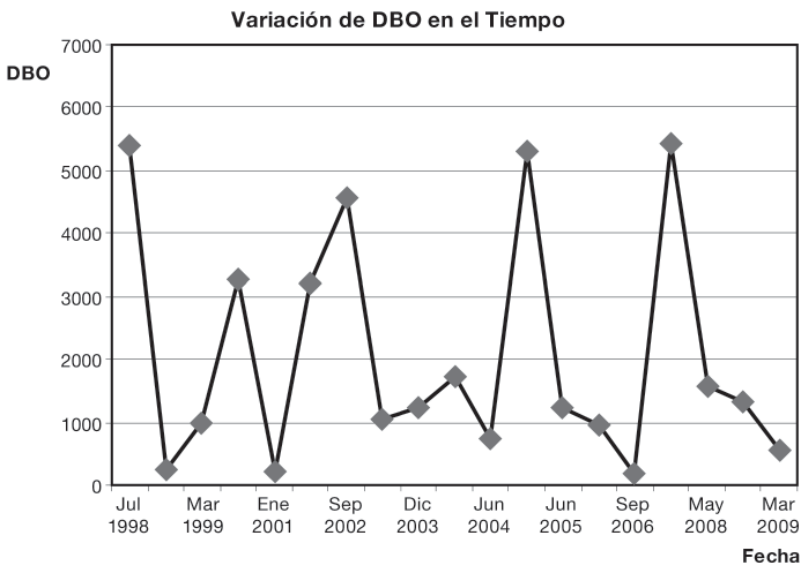


Fig. 3 | Variación de la DBO en el tiempo

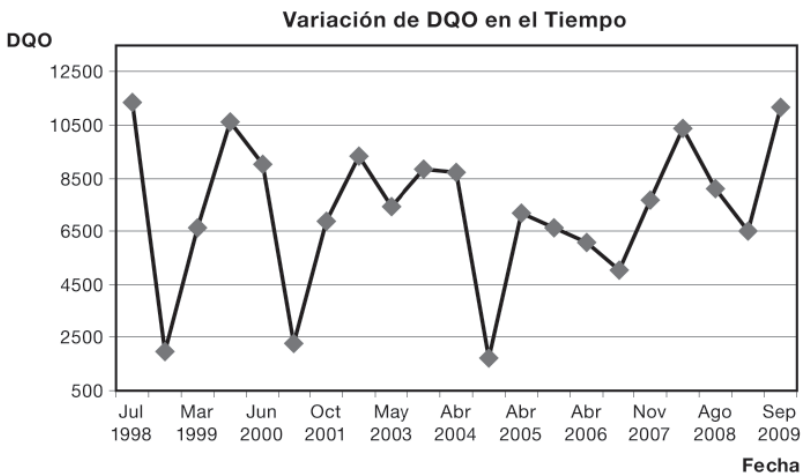


Fig. 4 | Variación de la DQO en el tiempo

Se pueden observar oscilaciones marcadas tanto en la DBO como DQO, las que pueden explicarse por las precipitaciones que se registran en la Región Pampeana Argentina y que conllevan a una dilución de los líquidos residuales, así como a las altas temperaturas registradas en la época seca que implican una concentración de los líquidos lixiviados por evaporación de los mismos al estar acumulados en una laguna.

Los caudales de líquido lixiviado resultantes observados responden a la misma función, resultando valores medios de 30 m³/d para las épocas secas y de 100 m³/d para las épocas lluviosas, en virtud del mayor ingreso de lluvia especialmente por el frente de trabajo del relleno. De esta manera, se puede ver en la Tabla 1, los promedios de DBO₅ y DQO para las épocas lluviosas y secas, así como los Índices de biodegradabilidad.

Los valores observados en Santa Fe, tal como se visualizan en las Fig. 3 y 4, y en la Tabla 1 son algo superiores a los del estudio de Mérida [6], pero están dentro del rango de los valores publicados.

En la Fig. 5 se grafica la variación observada en los valores de pH a lo largo del estudio. El valor del mismo presenta una tendencia estable a lo largo del tiempo y contrariamente a lo que podría suponerse, no se observaron valores inferiores a 7 correspondiente a la etapa acetogénica. Se recuerda que las muestras tomadas corresponden a la mezcla de los líquidos provenientes de las diferentes celdas y globalmente resultan líquidos alcalinos. El valor de pH medio en el período ensayado es de 8,17 con variaciones que van de 8,14 a 8,19 según sean épocas de lluvias o sequía respectivamente.

Tabla 1 | **Promedios de DBO y DQO en los períodos secos y lluviosos durante la vida útil del relleno**

Variable	Época lluviosa	Época seca	Promedio general
Promedio de DBO ₅ (mg/l)	1892	2194	2073
Promedio de DQO (mg/l)	6420	7766	7228
Índice de Biodegradabilidad	0.295	0.282	0.287

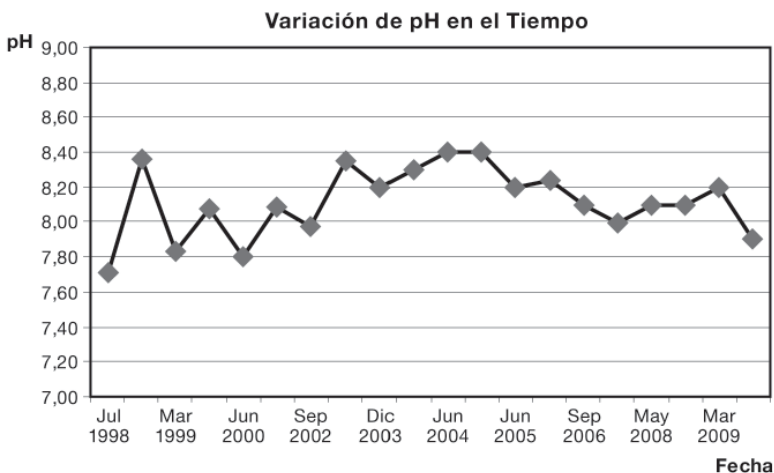


Fig. 5 | **Variación de pH a lo largo de la operación del relleno**

Se muestran en la Tabla 2 los valores registrados de parámetros básicos, y metales.

Se observa en la Tabla 2 que los metales estudiados están presentes en concentraciones bajas, cumpliendo la normativa de vuelco local a excepción del Cr, que presenta valores fuera de Norma [7]. Debido al carácter alcalino y en presencia de sulfuro, derivado de la degradación anaeróbica, es razonable pensar que estén presentes en gran medida en forma de precipitado, siendo baja su concentración en forma soluble. A modo de ejemplo, se recuerdan algunos valores de producto de solubilidad a temperatura ambiente, tales como el sulfuro de mercurio con un $k_{ps} = 2 \times 10^{-53}$ y el $\text{Cr}(\text{OH})_3$ con un $k_{ps} = 6,3 \times 10^{-31}$.

Asimismo se observa que el efluente no presenta sólidos sedimentables a 2h, debido probablemente a la acción filtrante del manto de cubierta del relleno y la factibilidad de separación de las partículas mayores por sedimentación o filtración a lo largo del lecho de residuos. Solo es factible esperar material en suspensión de tamaño coloidal.

La presencia del fenol con valores medios por encima del límite de vuelco puede generar algún efecto inhibitorio en las degradaciones biológicas, pero en función de su magnitud, es de suponer solo un efecto de menor cuantía en caso de optarse por una vía biológica. No obstante, una prueba de degradación a escala laboratorio o piloto, aportará la información necesaria para el proyecto y operación de la planta de tratamiento.

Tabla 2 | **Parámetros básicos y metales**

Parámetro (unidad)	Media	Rango	Límite legal Prov. Santa Fe ³ [7]
Básicos			
DBO5 (mg/l)	2073	5420 – 200	275
DQO (mg/l)	7228	11340 – 1717	410
SS 2 hs (ml/l)	0.48	1.50	200
pH	8.17	8.4 – 7.71	5 – 10
Fenol (µg/l)	1.02	5.4 – 0.092	0.45
Hidrocarburos (µg/l)	0.7	1.4 – 0.3	10
Metales			
Cr (µg/l)	561.8	1300 – 100.7	1000 ¹
Cd (µg/l)	1.68	3.2 – 0.17	150
Hg (µg/l)	0.94	2.8 – 0.2	n/r ²
Ni (µg/l)	278.52	600 – 0.5	n/r
Pb (µg/l)	41.49	181 – 0.2	450 ³

¹ Se asume que todo el Cr esta como +6

² n/r Parámetro no reglamentado por la Res. 1089/82

³ Los límites de descarga de efluentes corresponden a una dilución de caudal del río a caudal del efluente, mayor de 5000

Se muestran en la Tabla 3 los valores registrados en el relleno para pesticidas clorados y fosforados.

Tabla 3 | **Presencia de pesticidas clorados y fosforados en lixiviados**

Parámetro (unidad)	Media	Rango	Límite legal
Pesticidas clorados			
Aldrin + Dieldrin (µg/l)	0,36	1-0,03	n/r
Clordano (µg/l)	0,86	3-0,1	n/r
DDT (µg/l)	2,07	5-0,5	n/r
Heptacloro (µg/l)	0,37	1-0,05	n/r
Heptacloro epóxido (µg/l)	0,37	1-0,05	n/r
Lindano (µg/l)	1,86	3-0,05	n/r
Metoxicloro(µg/l)	20,21	30-1,5	n/r
Pesticidas fosforados			
Malatión (µg/l)	138,5	190-10	n/r
Metil-Paratión (µg/l)	19	50-5	n/r
Paratión(µg/l)	23	35-1	n/r

La presencia de pesticidas tanto clorados como fosforados, es un aspecto que requiere la debida investigación; mas allá de que la legislación vigente en la Provincia de Santa Fe no los contempla. Es claro que la presencia de clorados en concentraciones reducidas puede provenir de la cadena trófica, atendiendo a su resistencia a la degradación. Asimismo, resulta llamativo la presencia de paratión en los lixiviados siendo que es un pesticida no autorizado actualmente.

En cuanto a los controles realizados sobre los dos pozos de agua practicados e individualizados como P2O y P2E, se pueden mencionar algunos aspectos interesantes. A fin de tener una idea mas clara de la evolución de la presencia de diferentes contaminantes se plantean los valores extremos obtenidos, esto es el valor inicial y final de cada contaminante para el periodo analizado (2001 a 2009) y se comparan a modo de referencia con lo fijado como límite legal obligatorio (LL) para el consumo humano de agua potable, según la Ley Provincial N° 11220.

En cuanto a metales se analizaron Cd, Cr, Hg, Pb y Ni. Los valores iniciales y finales resultantes para el período 2001 a 2009, para el P2O son menores a : Cr: 1 y 1 µg/l y el LL es de 50 µg/l, para el Cd: 0,5 a 0,21 µg/l y el LL es 5 µg/l, Hg: 1 y 0,6 µg/l y el LL 1 µg/l, Pb: 3 y 4 µg/l y el LL 50 µg/l , Ni : 3 a 3 µg/l y el LL 50 µg/l. Respecto del P2E no hay diferencias significativas y no justifica su informe. Otros parámetros tales como: hidrocarburos totales,

fenol, pH, alcalinidad total, cloruros, DQO, DBO, nitratos y nitritos se puede informar para igual período de tiempo, valores iniciales, finales y LL menores a : hidrocarburos totales: 0,3 a 0,3 $\mu\text{g/l}$ y el LL 500 $\mu\text{g/l}$, fenol: 2 a 3,6 $\mu\text{g/l}$ y el LL 1 $\mu\text{g/l}$, pH 7,24 a 7,5, alcalinidad total: 521 a 497 mg/l , LL 200 mg/l , cloruros 51 a 92 $\mu\text{g/l}$, el LL:400 $\mu\text{g/l}$, DQO 19 a 8,6 mg/l LL: no fijado, DBO 2,2 a 6 mg/l LL: no fijado, nitratos: 9,7 a 2,1 $\mu\text{g/l}$ y el LL 45 mg/l , nitrito: <0,1 a < 0,1, y el LL: <0,1.

En cuanto a los controles microbiológicos se analizaron mesófilos, Coliformes totales y fecales con iguales consideraciones que en los casos anteriores: Mesófilos: 21 a 69 UFC/ml, Coliformes Totales: 4 a 2 NMP/100 ml, y el LL:< 2,2 NMP/100 ml, Coliformes fecales: 0 a 2 NMP/100 ml y el LL<2,2 NMP/100 ml. El P2E presenta variaciones similares al P2O.

Conclusiones

La primera conclusión que se extrae de la evaluación del manejo de líquidos lixiviados, apuntando al nuevo relleno en construcción, es la importancia de contar con una laguna de acopio de mayor tamaño y tiempo de residencia, que permita lograr una buena ecualización de las descargas, a modo de pretratamiento.

El valor relativamente bajo de la DBO_5 encontrado a lo largo del lapso estudiado, en particular en relación con los valores de descarga admitidos para el caso en estudio que permite suponer factible un tratamiento biológico. El Índice de Biodegradabilidad registrado supone resultados alentadores para la vía biológica, aunque es razonable pensar que resultará un valor de DQO final por encima del valor fijado de descarga, si solo se proponen etapas biológicas como tratamiento en virtud de sugerir componentes en los lixiviados de naturaleza recalcitrante.

El alto valor de DQO respecto a la DBO nos indica que estaríamos en presencia de material que o bien no es biodegradable, o lo es lentamente, o bien está presente material inorgánico, por lo cual dichos tratamientos biológicos necesitarán ser complementados con un tratamiento físico químico.

Respecto de la calidad del agua puede observarse en general que la napa no ha sido afectada por cuanto los valores observados tienen variaciones mínimas en general, a excepción de la carga microbiana que aumenta pero no resulta de una afectación significativa de la calidad, siendo su origen probablemente derivado del manejo de lixiviados o la creciente urbanización. Por esto, se concluye que el sistema de aislamiento ha resultado satisfactorio a los efectos de preservar la calidad del agua.

Referencias

- [1] Dearlove, J. “Geochemical Interaction processes between landfill clay liner materials and organo – metallic leachate”. Balkema, Rotterdam, 1993.
- [2] Eaton Andrew D., American Public Health Association, Frauson Mary. Ann H., American Water Works Association, “Standard Methods for the examination of Water and Wastewater” 18th. Edition. Washington, DC: Apha. 2005.
- [3] Espinoza, C. “Efecto de la precipitación sobre la generación de líquidos Percolados en un relleno sanitario” proyecto. Technical Report. Fondecyt 1010526. 2005
- [4] Estación Meteorológica del Aeropuerto de Sauce Viejo-Provincia de Santa Fe. “Anales de Informes Meteorológicos”. Año 2005.
- [5] Kenedy, L., Everett, J., Elsevier Science Ltd “Microbial degradation simulation landfill leachates: solid iron/sulfur interaction”, www.elsevier.com/locate/ecoleng/aer,2001
- [6] Mendez, Novello, R.I. y otros. “Influencia del material de cubierta en la composición de los lixiviados de un relleno sanitario”. Ingeniería Revista Académica-Universidad Autónoma de Yucatán. Año 2002. pp 7-12.
- [7] Reglamento para el Volcamiento de los Líquidos Residuales de la Provincia de Santa Fe. Res DIPOS 1089/82.