

## REMOCION DE FENOLES, DETERGENTES Y COLIFORMES PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DE IRRADIACION

Jaime MORENO<sup>1</sup>, Arturo COLIN<sup>2</sup> y Octavio VAZQUEZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Gerencia de Investigación Aplicada, Apartado Postal 18-1027, Col. Escandón, 11801 México, D.F.

<sup>2</sup> Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Química, Toluca, Edo. de México.

(Recibido abril 1990, aceptado mayo 1992)

Palabras clave: irradiación, agua residual, fenoles, detergentes, coliformes.

### RESUMEN

Muestras de aguas con distinto grado de contaminación (con tratamiento primario y biológico), fueron expuestas a diez diferentes dosis de radiación gamma de Co-60 en el intervalo de 6 a 37 kGy, a una razón de dosis de 25 kGy/h para definir en que etapa del tratamiento convencional de las aguas residuales, la radiación puede remover contaminantes químicos y biológicos. Con 6 a 10 kGy se eliminó hasta 5 órdenes de magnitud de microorganismos coliformes. No se encontró una dosis específica para fenoles, sin embargo, se observó que son susceptibles de ser suprimidos cuando su concentración es de 7 a 20 mg/L. La mayor remoción de detergentes se obtuvo al aplicar 20 a 30 kGy y cuando su concentración es de 3 a 4 mg/L. Es importante mencionar que el abatimiento de fenoles y detergentes fue mayor al aplicar la irradiación después del tratamiento biológico y de la misma dimensión para coliformes en ambos casos.

### ABSTRACT

The objective of this paper is to find out the stage on the conventional treatment of wastewater in which it is more convenient the application of gamma radiation for removing toxic chemicals and coliform bacteria. Samples with different degree of contamination from primary and biological treatment were irradiated with 10 different doses between 6 to 37 kGy (using Cobalt-60 at a dose rate of 25 kGy/h). Doses between 6 to 10 kGy reduced the population of coliform bacteria up to 5 orders of magnitude. It was not possible to find a specific dose of radiation to remove phenols, but they were best eliminated when their concentration were between 7 to 20 mg/L. The detergents were significantly reduced with doses between 20 to 30 kGy when their concentration were between 3 to 4 mg/L. It is worth mention that reduction of phenols and detergents were higher for samples irradiated after biological treatment than for samples irradiated after primary treatment. However, the reduction of coliform bacteria was on the same order of magnitude in both cases.

### INTRODUCCION

Algunas aguas de desecho se emplean en suelos de cultivo o incluso se les dan de beber a animales, representando, por su gran contenido y complejidad de contaminantes químicos y biológicos, un peligro potencial tanto para el ser humano como para el ambiente. Existen en la actualidad una variedad de plantas de tra-

tamiento que contribuyen, en parte, a resolver este problema; sin embargo, en algunos casos no son tan eficientes como se desea; por ejemplo, las investigaciones efectuadas por Wielson (1975) y Takehisa (1982), demostraron que este tipo de aguas, después de recibir el proceso biológico y la cloración, contienen cantidades significativas de compuestos químicos tóxicos y microorganismos patógenos. El aumento en la canti-

dad, concentración y complejidad de contaminantes en aguas residuales ha generado la necesidad de experimentar nuevas tecnologías de tratamiento, entre las que se encuentra la aplicación de la radiación ionizante, área en la que se han llevado a cabo estudios con la finalidad de conocer el efecto de la radiación en soluciones acuosas de contaminantes como los fenoles (Miccic *et al.* 1975), detergentes (Markarochkina *et al.* 1975), pesticidas (Vollner *et al.* 1975) y colorantes (Nagai y Susuki 1975). Sin embargo, son pocos los casos en los que se ha evaluado la acción de la radiación ionizante para eliminar contaminantes químicos en aguas residuales (Black *et al.* 1970).

El procedimiento de irradiación se basa en la oxidación de los contaminantes químicos inducida por la interacción de la radiación con los electrones orbitales de la molécula del agua (Allen 1961), formándose el radical OH como agente oxidante que, al interactuar con las moléculas del ácido desoxirribonucleico (ADN) de los virus y bacterias presentes en el agua, provoca su inactividad o su muerte (Block y Loman 1973, Grone-man 1975). El ensayo en la actualidad no resulta económicamente atractivo, sin embargo, al combinarlo con un proceso convencional se aumenta la eficiencia y se reducen tiempos y requerimientos de energía. El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) y la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), establecieron un trabajo de investigación para conocer el efecto de la radiación gamma en la remoción de fenoles, detergentes y coliformes en aguas residuales mixtas, 80% industrial y 20% urbana, después de haber recibido tratamientos químicos y biológicos. El propósito es localizar en que etapa del proceso convencional es recomendable aplicar la radiación para eliminar la contaminación química generada principalmente por fenoles y detergentes y, a la vez, inactivar o matar a los microorganismos patógenos.

## MATERIALES Y METODOS

### *Muestreo*

El agua residual se obtuvo de la planta de tratamiento ubicada en el corredor industrial de Lerma en el Estado de México que es operada por la Empresa para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua (EPCCA). Se estudiaron aguas con distinto grado de contaminación, eligiéndose dos puntos de muestreo: después que el influente recibió el tratamiento primario y a la salida del secundario (biológico); en lo sucesivo, se denominan estas muestras TP y TB, respectivamen-

te. El material colectado fue del tipo compuesto, es decir cada semana y durante un total de 19 semanas, se colectó un litro cada hora hasta tener un volumen de 20 litros, el cual fue dividido en dos fracciones, una de 15 litros expuesta a la radiación y el resto usada como testigo.

### *Irradiación*

Los experimentos se realizaron en el ININ con un irradiador industrial de Cobalto 60. Las muestras se sometieron a la radiación en un recipiente de aluminio de 15×20×60 cm, suministrándose aire a razón de 14 L/min durante el proceso de irradiación a través del fondo, para favorecer la oxidación de los contaminantes. El recipiente fue colocado en la parte central a la fuente radiactiva para tener un campo homogéneo. La radiación cubrió el intervalo de 6 a 37 kGy\* con una razón de dosis de 25 kGy/h. La dosis de radiación se obtuvo utilizando dosímetros de acrílico rojo, de acuerdo con las consideraciones establecidas por Martínez y Carrasco (1982).

### *Técnicas analíticas*

Para los análisis de detergentes, microorganismos coliformes y demanda química de oxígeno (DQO), se siguieron las técnicas sugeridas por la American Public Health Association (1980), los fenoles fueron cuantificados por espectroscopía infrarroja (Simard *et al.* 1951). Las determinaciones analíticas se realizaron tanto en las fracciones testigo no expuestas a la radiación, como en las irradiadas.

## RESULTADOS Y DISCUSION

*Detergentes:* las figuras 1 y 2 presentan las concentraciones promedio de las muestras TP y TB, respectivamente y en ambos casos después de ser irradiadas (TPI y TBI). Se observa que las no irradiadas tienen una gran variación en su contenido de detergentes, el promedio de las TP es de 2.8 mg/L con un valor mínimo de 0.7 y un máximo de 6.6, mientras que para las TB es de 2.7 mg/L con un mínimo de 0.2 y un máximo de 9.6. Los resultados evidencian que la radiación reduce la concentración de los detergentes principalmente a dosis entre 20 y 37 kGy. Es importante señalar que los detergentes aparentemente se eliminan en la misma

\* 1 Gy (gray) = 1 Joule/kg.

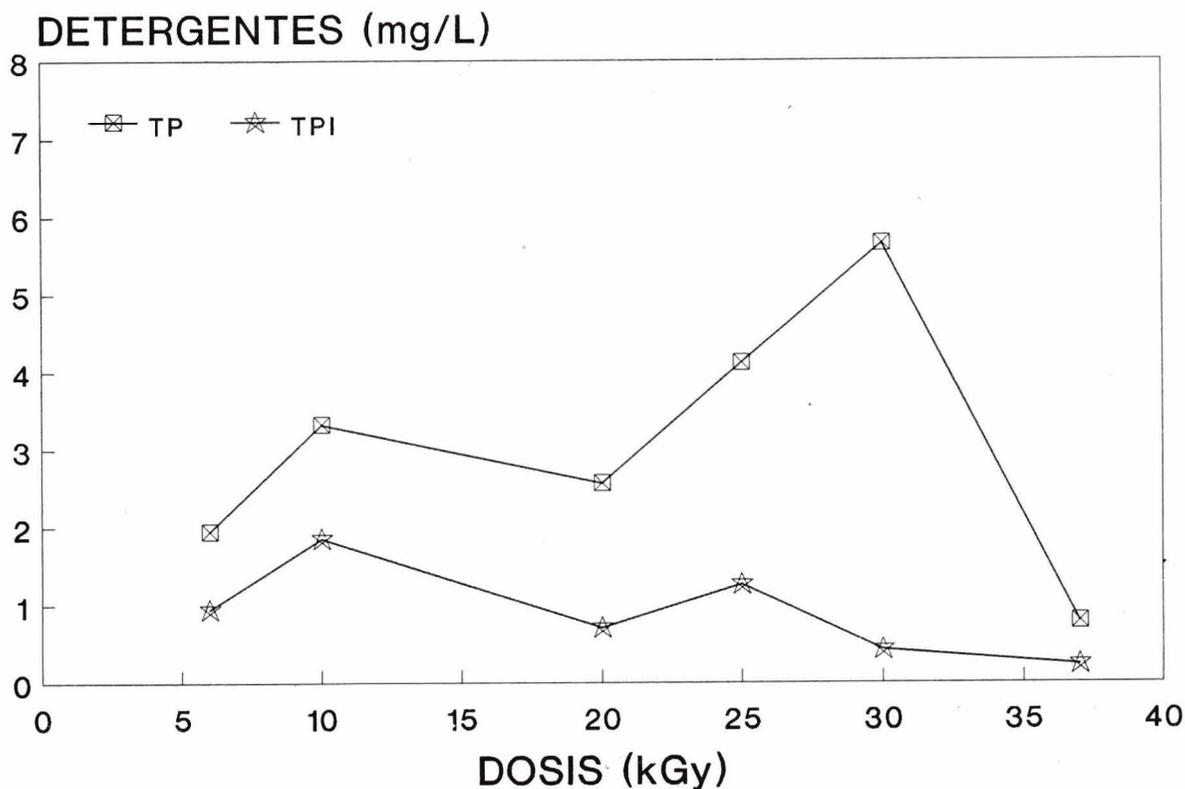


Fig. 1. Concentración de detergentes en muestras de agua residual con tratamiento primario (TP) y después de ser irradiadas (TPI)

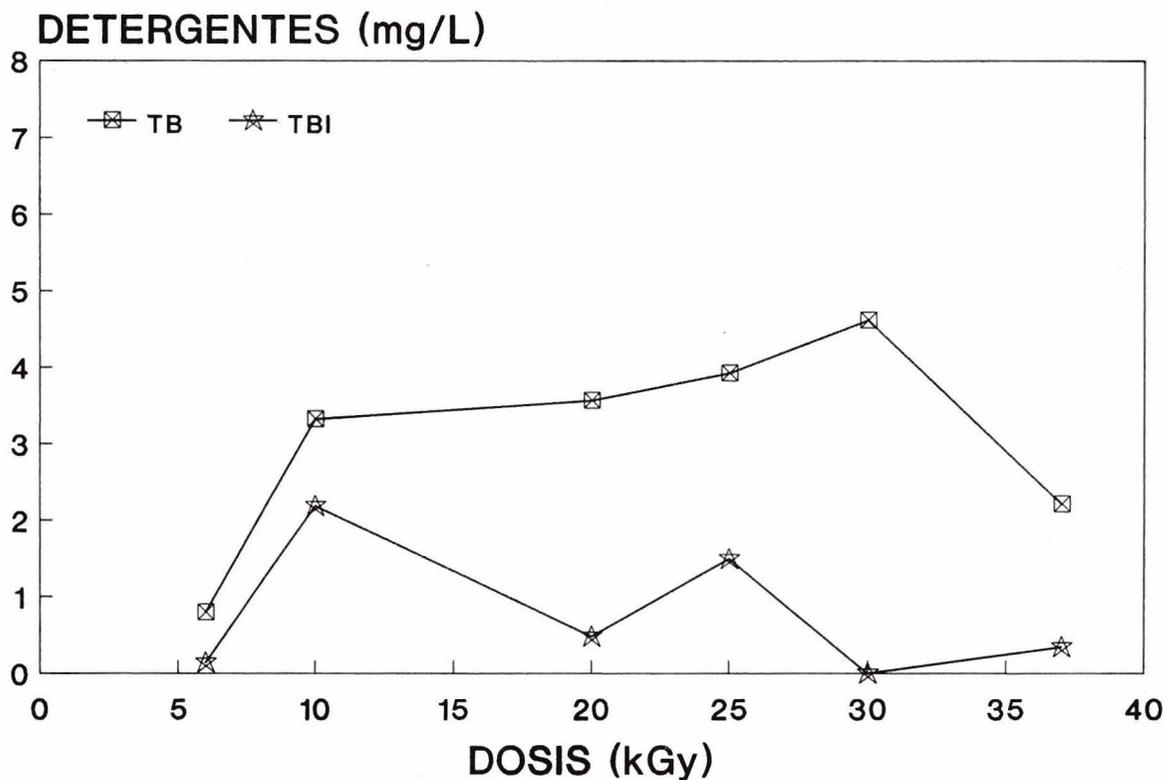


Fig. 2. Concentración de detergentes en muestras de agua residual con tratamiento biológico (TB) y después de ser irradiadas (TBI)

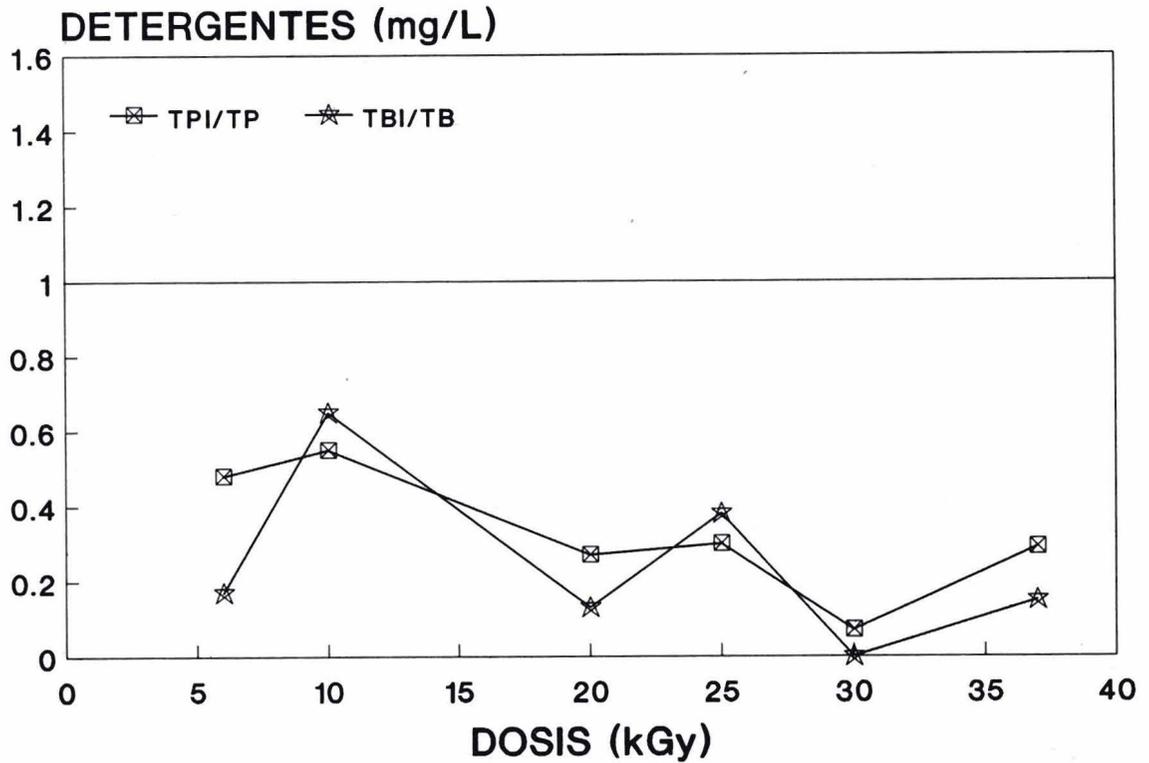


Fig. 3. Cocientes TPI/TP y TBI/TB de las concentraciones de detergentes en las muestras de agua residual con tratamiento primario (TP) y tratamiento biológico (TB) después de ser irradiadas

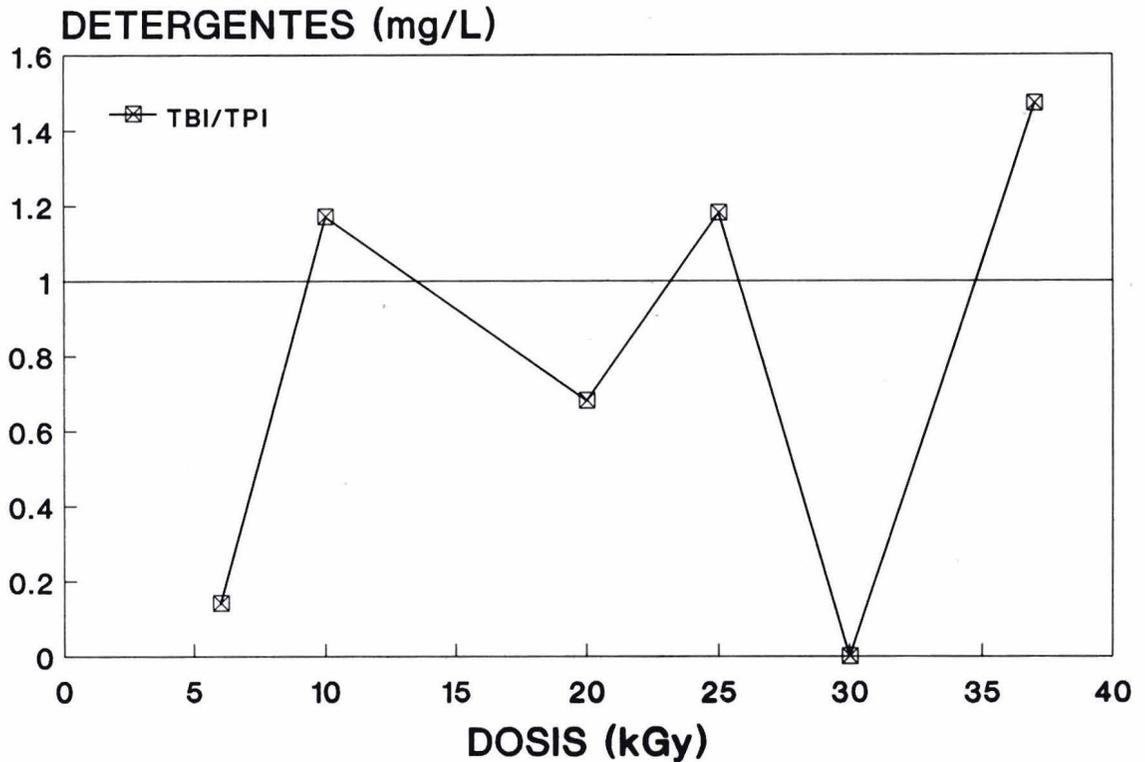


Fig. 4. Cociente TBI/TPI de las concentraciones de detergentes en las muestras de agua residual con tratamiento primario (TP) y biológico (TB) después de ser irradiadas

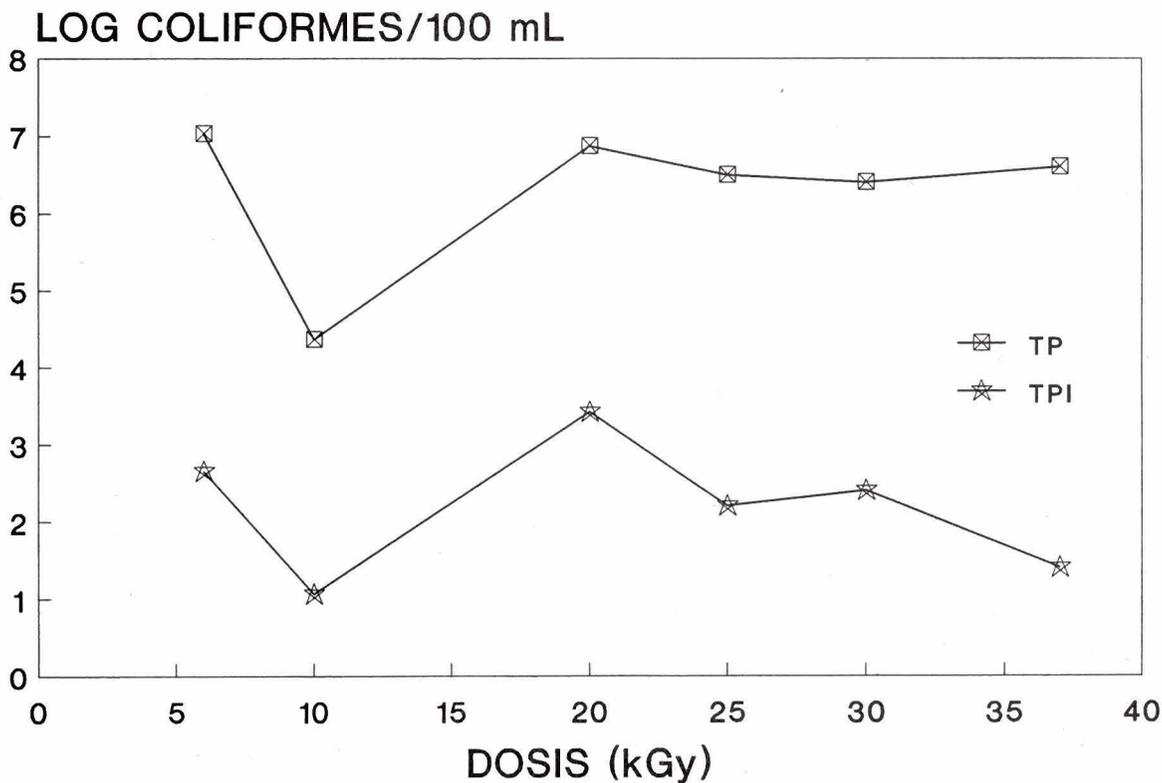


Fig. 5. Población de coliformes en muestras de agua residual con tratamiento primario (TP) y después de ser irradiadas (TPI)

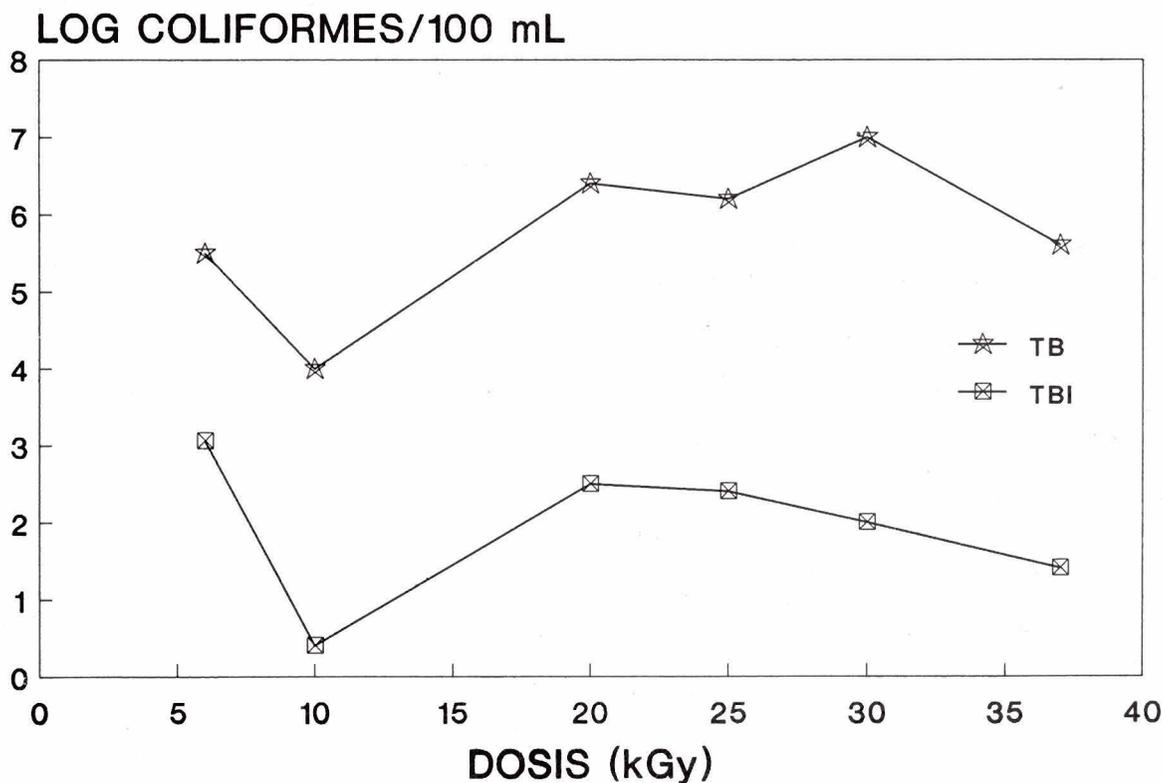


Fig. 6. Población de coliformes en muestras de agua residual con tratamiento biológico (TB) y después de ser irradiadas (TBI)

proporción en este intervalo de dosis, por lo que para fines prácticos y económicos se recomienda realizar experimentos con dosis cercanas a 20 kGy. Los cocientes TPI/TP y TBI/TB muestran en la figura 3 una reducción notable de detergentes cuando se aplica la irradiación después de los tratamientos convencionales; sin embargo, el cociente TBI/TPI (Fig. 4) manifiesta una remoción ligeramente mayor cuando la irradiación es aplicada después del proceso biológico.

**Coliformes:** en las figuras 5 y 6 se tienen las poblaciones promedio de microorganismos coliformes en TP y TB, respectivamente y en ambos casos, después de la irradiación (TPI y TBI). Es importante notar que la mayoría de las muestras sin irradiar revelan poblaciones de  $10^6$  a  $10^7$  microorganismos en 100 ml, lo que significa un grado de contaminación por patógenos bastante considerable. El promedio de la concentración de coliformes en TP es de 6.5 órdenes de magnitud con un valor mínimo de 3.4 y máximo de 7.4 mientras que para las TB es 5.7 con un mínimo de 3.4 y máximo de 7.4. En ambas figuras se aprecia que la muerte o inactivación de coliformes es notablemente mayor después de la irradiación reduciendo la concentración de 2 a 5 órdenes de magnitud. Los resultados manifiestan que con dosis de 20 a 37 kGy se eliminan coliformes de manera muy similar a cuando son de 6 a 10 kGy, así que se puede considerar que la dosis mínima de radiación gamma para inducir una desinfección considerable en este tipo de aguas es de 10 kGy.

**Fenoles:** la concentración promedio de fenoles en TP fue de 3.5 mg/L con un valor mínimo de 0.5 y un máximo de 11.4, mientras que para TB fue 3.8 mg/L con un mínimo de 0.2 y máximo de 19.6. La mayoría de las muestras sin irradiar tienen cantidades de 1 a 5 mg/L y sólo 20% de ellas de 7 a 20 mg/L. En el intervalo de dosis de radiación aplicada los fenoles son reducidos en la misma proporción, no presentándose diferencias dignas de tomarse en cuenta antes y después de la irradiación. Sin embargo, para concentraciones de 7 a 20 mg/L, la radiación los abate en mayor proporción que cuando es de 1 a 5 mg/L; estos resultados son congruentes con el hecho de que la radiación gamma tiene más probabilidades de interactuar con el soluto en soluciones concentradas. Una explicación adicional por la cual la remoción de fenoles no es grande, es que en la degradación de los detergentes se generan como subproductos compuestos fenólicos, incluyendo el fenol libre.

**DQO:** la concentración promedio de materia orgánica oxidable (demanda química de oxígeno) en TP

fue de 1567 mg/L con un valor mínimo de 692 y máximo de 5397, mientras que para TB fue de 1385 mg/L con un mínimo de 150 y máximo de 4944. Es importante señalar que en la mayoría de las muestras sin irradiar, la DQO fue de 600 a 2000 mg/L, lo que implica un grado considerable de contaminación por materia orgánica oxidable. Esta variación tan grande es debida a que el agua proviene de diferentes descargas industriales, cambiando el tipo de contaminante y su cantidad en cualquier momento. Los resultados evidencian que la radiación no baja significativamente la DQO, debido probablemente a que la composición química del agua es muy compleja de acuerdo con su origen. Además los productos de elevado peso molecular como los detergentes y los fenoles, al interactuar con la radiación o con el radical OH, generan compuestos que aún siendo moléculas más pequeñas y fáciles de remover, contribuyen con una DQO, por lo que en este caso no se precisa el punto de aplicación de la energía radiante.

## CONCLUSIONES

Aunque no se encontró una dosis específica de radiación gamma para remover fenoles, sin embargo, se eliminaron mejor cuando su concentración fue de 7 a 20 mg/L. En forma similar, los detergentes se removieron de manera más eficaz al aplicar dosis de 20 a 30 kGy cuando su cantidad fue de 3 a 4 mg/L. Para el caso de coliformes, se supone una dosis mínima de 10 kGy para desinfectar este tipo de aguas residuales.

La radiación gamma abate los fenoles, detergentes y coliformes en aguas residuales mixtas tratadas por métodos convencionales (primario y biológico), siendo mayor para fenoles y detergentes al irradiar después del proceso biológico y de la misma magnitud en ambos casos para coliformes, lo que permite sugerir su aplicación después del proceso biológico y suprimir la desinfección por métodos químicos tradicionales.

## AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Manuel Göel Rosales, Gerente de la Empresa para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua (EPCCA) por proporcionar las muestras de aguas residuales empleadas en este estudio y al Departamento de Análisis Químicos del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, por realizar las determinaciones de detergentes.

## REFERENCIAS

- Allen A.O. (1961). *The radiation chemistry of water and aqueous solutions*. D. Van Nostrand, Princeton, N.J.
- American Public Health Association (1980). Standard methods for the examination of water and wastewater. 15 Ed., APHA, AWWA, WPCF, Washington, D.C.
- Black S.J., Compton D.M. y Whitemore W.L. (1970). Ionizing radiation for the treatment of municipal wastewaters. United States Atomic Energy Commission GA-9924.
- Blok J. y Loman H. (1973). The effect of gamma radiation in DNA. *Current topics in Radiat. Res. Quart.* 9, 165-245.
- Groneman A. (1975). Radiation chemical mechanism in the irradiation treatments of sewage sludge. IAEA-CN-40, p. 55.
- Markarochkina M.L., Mikhailova A.K. y Gershenovich A.I. (1975). Treatment of wastewater by radiation and biochemical methods. *Int. Chem. Eng.* 15, 526-529.
- Martínez I. y Carrasco H. (1982). Bases para la selección de un dispositivo para irradiación de líquidos. Informe Técnico AII-82-24. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Salazar, Estado de México, México.
- Micic O.I., Nenadovic M.T. y Markovic V.M. (1975). Radiation chemical destruction of phenol in oxygenated aqueous solutions. *Radiation for a Clean Environment Proceedings of a Symposium*. Yugoslavia, IAEA-SM-194/402, pp. 233-240.
- Nagai T. y Susuki N. (1975). The radiation-induced degradation of azodyes in aqueous solutions. *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes* 26, 726-730.
- Simard R.G., Hasegawa I. y Headington C.E. (1951). Infrared spectrophotometric determination of oil and phenols in water. *Analyt. Chem.* 23, 1384-1387.
- Takehisa M. y Sakumoto A. (1982). Radiation treatment of wastewater, IAEA-CN-40/105.
- Vollner L., Rohleder H. y Korte F. (1975). Degradation of persistent organochlorine pollutants by gamma radiation and its possible uses for wastewater treatment. *Radiation for a Clean Environment, Proceedings of a Symposium*. Yugoslavia, IAEA-SM-194/409, pp. 285-296.
- Wilson E. (1975). The need for the use of high-level radiation in water treatment and in wastewater (sewage) treatment. *Radiation for a Clean Environment, Proceedings of a Symposium*. Munich, 17-21 Marzo, 1975, IAEA-SM-194/602, pp. 73-82.