

Investigación

Irradiación de lodos residuales y su uso en el cultivo de avena

Jaime Moreno,^{a*} Arturo Colín^b y Mercedes Gomeztagle^b

^a Departamento de Física de Radiaciones, Gerencia de Ciencias Ambientales. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Apartado Postal 18-1027, Colonia Escandón, México 11801, D.F. Teléfono (015) 3297200 Ext. 2674, E-mail: jma@nuclear.inin.mx

^b Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México, E-mail: acc@coatepec.uaemex.mx

Recibido el 3 de marzo del 2000; aceptado el 26 de abril del 2000

Resumen. Dosis de 15 kGy de radiación gamma destruyen en lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales (90% industrial y 10% municipal), en promedio: grasas y aceites (33%), detergentes (92%), demanda química de oxígeno (11%), fenoles (50%) y más del 99% de la cuenta total de microorganismos. La evaluación del lodo residual tratado por irradiación como acondicionador de suelos en el cultivo de avena (*Avena sativa L.*), se realizó por triplicado utilizando diferentes proporciones de suelo franco arenoso y lodo residual irradiado y sin irradiar. Las proporciones 60/40 de suelo y lodo residual irradiado respectivamente, resultaron ser las más adecuadas para usar el lodo como acondicionador de suelos en el cultivo de la avena. Resulta importante aclarar que para aplicar el lodo es necesario que la concentración de metales no sobrepase los límites máximos permisibles para el tipo de suelo y el cultivo correspondiente.

Palabras clave: Radiación gamma, lodos residuales, acondicionador de suelos, cultivo de avena.

Cualquiera que sea el tipo de planta de tratamiento de aguas residuales genera como subproducto lodos que incluyen en su composición, además, de una gran variedad de microorganismos patógenos y no patógenos, compuestos químicos orgánicos e inorgánicos, entre ellos como lo mencionan Martin *et al.* [1], algunos nutrientes que pueden ser útiles en el crecimiento de las plantas como: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre.

Generalmente los lodos son incinerados o se disponen como relleno sanitario sin una especificación en cuanto al contenido de microorganismos patógenos y compuestos o elementos químicos tóxicos, por lo que la contaminación cambia del agua, al aire y al suelo, finalmente.

Tomando como base las políticas ambientales actuales en todo el mundo de incrementar los diversos sistemas de tratamiento de aguas residuales, se vislumbra que la generación de lodos irá en aumento, siendo un peligro potencial para el ecosistema; por lo que surge la necesidad de someter este material a un proceso adecuado y lograr además que pueda tener alguna utilidad.

Por su base orgánica, el lodo residual de acuerdo con Tadesse *et al.* [2] así como con Couillard y Zhu [3], a diferencia de los fertilizantes químicos ofrece la posibilidad de mejo-

Abstract. Gamma irradiation of sewage sludge from wastewater treatment plant (industrial 90% and domestic 10%) indicated that a dose of 15 kGy destroys fat and oils (33%), detergents (92%), chemical oxygen demand (11%), phenols (50%) and more than 99% of the total bacteria count. Irradiated and unirradiated sewage sludge samples were evaluated as conditioner of soils using cultivation of oats with different proportions of soil and both irradiated and unirradiated sludge. Experiment with proportions of 60/40 of soil and irradiated sludge respectively provide a good test of the use of sewage sludge as conditioner of soils. Gamma radiation does not destroy heavy metals. Irradiated sludge can be applied as conditioner of soils only if the content of heavy metals are according with the normative of agriculture soils.

Key words: Gamma irradiation, sewage sludge, conditioner of soils, cultivation of oat.

rar los suelos a largo plazo así como también resulta interesante su aplicación en siembras de arbustos, flores y en céspedes nuevos o ya sembrados.

El presente trabajo tiene como objetivo utilizar la radiación gamma para destruir compuestos orgánicos tóxicos como fenoles, detergentes, grasas y aceites y los microorganismos patógenos de los lodos residuales hasta concentraciones menores a las mencionadas en la Norma Oficial Mexicana; NOM-001-ECOL-1996 [4]; asimismo, evaluar la calidad del lodo tratado (por irradiación) como acondicionador de suelos.

La selección del suelo (franco arenoso) y del cultivo (avena), se realizó considerando suelos deficientes en materia orgánica y cultivos propios de la región, es decir, en las proximidades a la planta de tratamiento de aguas donde se genera el residuo. En particular en nuestro estudio, en el Estado de México, donde de acuerdo con Bravo *et al.* [5] existen suelos marginales (espesor delgado, poco contenido de materia orgánica y pobres en macro y micro elementos) y los cultivos más comunes son maíz (*Zea mays L.*), frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), alfalfa (*Medicago sativa L.*) y avena (*Avena sativa L.*), los dos primeros destinados para consumo humano, en tanto que los dos últimos se emplean principalmente como for-

Tabla 1. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos en suelo franco arenoso y en lodo residual no irradiado y en lodo irradiado.

Parámetro	Suelo (S)			Lodo no irradiado (LNI)			Lodo irradiado (LI)		
	<i>x</i>	<i>s</i>	I	<i>x</i>	<i>σ</i>	I	<i>x</i>	<i>σ</i>	I
pH	7	0.005	6.7-6.8	7	0.02	7.0-7.2	7	0.03	7.0-7.2
Materia orgánica (%)	80	0.01	80-82	34	0.01	34-34	41	0.27	41-42
Carbono orgánico (%)	62	0.11	62-62	23	0.14	23-24	20	0.03	19-20
Nitrógeno total (ppm)	1.5	0.05	1.4-1.5	0.6	0.02	0.6-0.7	0.8	0.003	0.3-0.8
Fósforo (ppm)	0.01	0.001	0.01-0.01	1.1	0.004	1.1-1.1	1.1	0.008	1.1-1.1
Sólidos totales (%)	90	0.01	90-92	3	0.02	3-4	4	0.04	4-5
Demanda química de oxígeno (ppm)	—	—	—	71	0.64	70-73	63	0.10	63-65
Cuenta total (nmp × mL)	—	—	—	35×10^5	49	3-131	75	4.5	2.0-0.3
Grasas y aceites (ppm)	6.5	0.06	6.5-6.6	27	0.07	26-28	18	0.02	18-19
Detergentes (ppm)	5.0	0.09	4.8-5.0	124	0.8	123-124	10	0.004	10-11
Fenoles (ppm)	0.15	0.01	0.1-0.2	10	0.15	10-11	5	0.01	4-5

Donde: *x* = Promedio de 3 determinaciones. I = Intervalo. *σ* = Desviación estándar

raje teniendo preferencia por el cultivo de la avena. Por razones de aceptación por parte de la población, se decidió trabajar con cultivos que no fueran para consumo humano.

Investigadores como Mench *et al.* [6], mencionan que para obtener una buena cosecha en el cultivo de avena, es necesario que el suelo tenga una estructura granular que permita la aireación y el movimiento del agua, que evite la formación de costras que dificultan la aireación y la germinación, que posea suficiente materia orgánica y finalmente que su pH se encuentre en el intervalo de 5 a 7 unidades. En el suelo franco arenoso por su estructura general mencionada por Aguilar [7]; arena 60%, limo 25% y arcilla 15%; se supone que el tamaño del granulo del mismo, está en el intervalo de 0.002 y 0.5 Å y que éste tipo de suelo favorece la aireación y germinación de la semilla de avena, sin embargo, su capacidad de almacenar nutrientes y de retener el agua son muy bajas. Es importante mencionar que estas deficiencias en el suelo, pueden ser mejoradas con la adición de la materia orgánica presente en el lodo residual.

Discusión de resultados

El contenido total de sólidos (3%, véase Tabla 1), caracterizan al lodo como un residuo líquido con propiedades muy parecidas a las del agua y que por consiguiente puede manejarse de la misma manera en condiciones similares. El pH de 7.0, significa que se trata de un lodo casi neutro y que de acuerdo con

la Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993 [8], no representa peligro alguno por corrosividad. Además, es importante mencionar que para la mayoría de los cultivos agrícolas, se considera óptimo un pH en el intervalo de 6.5 a 7.5. El contenido de materia orgánica (34%) y carbono orgánico (23%) son adecuados para mejorar la textura, porosidad, y la retención del agua en suelos, evitando con ello en gran parte la lixiviación de nutrientes, favoreciendo además un mejor intercambio de nutrientes disponibles como es el caso del nitrógeno (0.6 ppm) y del fósforo (1.1 ppm), considerados como nutrientes primarios.

En la misma Tabla, se observa que el análisis microbiológico presenta concentraciones de 6 órdenes de magnitud en mesófilos aerobios (cuenta total); valores que suponen la presencia de microorganismos patógenos en concentraciones mayores a las sancionadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 [4], que establece los límites máximos permisibles (número más probable de coliformes fecales de 1000 y de 2000/100 mL, promedio mensual y diario respectivamente) en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Las grasas y aceites (27 ppm), se encontraron por arriba de las concentraciones máximas permisibles (25 ppm) sancionadas en la norma anterior, mientras que los fenoles (10 ppm) se encuentran por debajo de las concentraciones (14 ppm) sancionadas por la norma NOM-052-ECOL-1993 [8].

En el caso de los detergentes, las normas mencionadas anteriormente no mencionan los valores máximos permisibles

en aguas residuales y/o en otro tipo de residuo líquido, sin embargo, la NOM-052-ECOL-1993 [8], hace mención de que un residuo se considera peligroso si en su composición química se encuentran los detergentes.

De los resultados expresados en la Tabla 1, se observa que después de aplicar dosis de radiación gamma de 15 kGy, se destruyen en el lodo residual, en promedio: grasas y aceites (33%); detergentes (92%), demanda química de oxígeno (11%), fenoles (50%) y más del 99% de la cuenta total de microorganismos. Es importante mencionar que los contaminantes considerados en este estudio se encuentran en el lodo residual irradiado por debajo de las concentraciones máximas permisibles, sancionadas por las Normas Oficiales Mexicanas referidas.

Para poder explicar la destrucción radiolítica de los contaminantes biológicos y químicos del presente estudio, es necesario hacer referencia de varios estudios previos. De acuerdo con Blok y Leman [9] la inactividad y/o muerte de bacterias por irradiación se realiza por dos vías; directa e indirecta; la primera se lleva a cabo por la dosis de radiación depositada en la molécula del ácido desoxirribonucleico (ADN) causando ionización o excitación; mientras que la acción indirecta se debe a las reacciones de los radicales OH (generados en el medio acuoso), con las moléculas del ADN de la célula microbiana.

Por otro lado, la mayoría de las investigaciones sobre la degradación por irradiación de contaminantes orgánicos tóxicos y peligrosos se han hecho con soluciones empleando agua pura. Extrapolar los resultados de estos trabajos en lodos residuales resulta ser demasiado complejo, debido a la presencia de materia orgánica e inorgánica (principalmente substancias húmicas), sin embargo, hasta ahora es la forma más adecuada para poder comprender los cambios que la radiación ionizante genera en algunos contaminantes químicos.

La degradación por irradiación de compuestos orgánicos en soluciones acuosas de acuerdo con Kurucz *et al.* [10], se debe principalmente a las especies excitadas iones y/o radicales libres formadas a través de la trayectoria de la radiación ionizante en el agua (acción indirecta de la radiación). Es importante mencionar que las tres especies reactivas más importantes para descomponer los compuestos químicos del medio acuoso son: especies reductoras como el e^{-}_{ac} (electrón acuoso) y el $\cdot H$ y especies fuertemente oxidantes como el $\cdot OH$ (radical hidroxilo). De estas especies, el e^{-}_{ac} y el $\cdot OH$ constituyen más del 90% de las especies reactivas, por consiguiente, son las que principalmente reaccionarán con los contaminantes químicos. La interacción del e^{-}_{ac} con algunos compuestos orgánicos ha sido ampliamente estudiada por Anbar *et al.* [11] y se ha visto que actúa preferentemente sobre compuestos halogenados; el cual no es nuestro caso; lo cual hace suponer que la degradación radiolítica de los contaminantes estudiados se llevará a cabo preferentemente por el radical $\cdot OH$. Sobre este particular, Buxton *et al.* [12], reportan que una de las principales reacciones del $\cdot OH$ es la sustracción de átomos de hidrógeno, generando en la molécula hidrocarbonada radicales libres que reaccionan fácilmente con otras

especies, entre las cuales se incluyen los radicales $\cdot OH$ y el $\cdot O_2$, Staehelin y Hoigné [13] a su vez, concluyen que la sustracción de hidrógenos se lleva preferentemente en los hidrógenos alfa (adyacentes) al grupo hidroxilo de los alcoholes y que ésta se ve favorecida al aumentar la cadena alifática. Por su parte, Getoff y Solar [14,15] reportan que la sustracción de hidrógenos y la adición de grupos OH en el fenol y en compuestos similares se lleva preferencialmente en los carbonos de las posiciones orto, meta y para, en los porcentajes de 49%, 8%, y 36% respectivamente, y que la secuencia de la degradación radiolítica es la misma, no importando si la radiación interacciona preferentemente con una posición o con la otra. Con base en estas consideraciones, se puede decir que la degradación radiolítica del fenol se lleva a cabo por medio de una serie de reacciones químicas simultáneas vía radicales libres, oxidando (degradando) el fenol a moléculas más pequeñas y simples como son el ácido maleico, el ácido oxálico y finalmente CO_2 y H_2O .

En los estudios realizados por Singh *et al.* [16] se reporta que la degradación de detergentes del tipo del dodecil sulfato de sodio se inicia con la separación de la parte sulfonada de la cadena hidrocarbonada, generando como productos iones sulfato y una cadena alifática de 12 átomos de carbono que se oxida lentamente.

En la determinación de grasas y aceites se cuantifican una amplia variedad de sustancias, entre ellas, compuestos de azufre, colorantes, ácidos grasos y algunos hidrocarburos de bajo y elevado peso molecular. Explicar los mecanismos de degradación de cada una de ellas, es complicado y laborioso, sin embargo, se puede suponer que su degradación sería similar al caso de los fenoles.

En la Tabla 1 se presenta la concentración promedio de la demanda química de oxígeno (DQO) en el lodo no irradiado (71 ppm), y en el lodo irradiado (63 ppm), la diferencia entre ellas (8 ppm) muestra que la radiación no disminuye significativamente la DQO (contaminación por materia orgánica oxidable), debido probablemente a que la composición química del lodo es muy compleja de acuerdo con su origen. Además, los contaminantes orgánicos de elevado peso molecular como los detergentes y los fenoles (entre otros), al interaccionar con la radiación o con el radical OH, generan compuestos que aún siendo moléculas más pequeñas y fáciles de destruir, contribuyen con una DQO, por lo que en este caso no se precisa un efecto directo de la energía radiante.

Por otro lado, la diferencia poco significativa entre los análisis de los lodos irradiados y no irradiados en el contenido de carbono orgánico (3%), materia orgánica (7%), nitrógeno (0.2 ppm) y fósforo (sin cambio), son congruentes con los resultados obtenidos en estudios anteriores realizados por Moreno *et al.* [17] donde se menciona que la materia orgánica y los nutrientes no sufren cambios aparentes después de la irradiación, lo que permite concluir que el lodo irradiado continúa teniendo la calidad agronómica inicial, siendo apto para utilizarse como mejorador de suelos pobres en materia orgánica y en nutrientes.

Como parámetro de evaluación cualitativa morfológica del cultivo de avena se consideraron las diferentes etapas de crecimiento durante 45 días. De manera general, se puede decir que en los cultivos estudiados, la plúmula se hace visible a los 5 días, el brote apical se empieza a formar a los 10 días y termina su formación a los 21 días. Las hojas se empiezan a formar a los 30 días para terminar de formarse a los 40 días, finalmente, los primeros nudos o encañes se presentan a los 45 días. En particular, durante las etapas de crecimiento, las diferencias más notorias se presentan entre los 15 y 20 días, por ejemplo en los experimentos en donde las proporciones de suelo (S)/lodo irradiado (LI) fueron de 40/60 respectivamente, la formación de los brotes (altura promedio 25 cm) es más deficiente que en las macetas de referencia (altura promedio 30 cm), sin embargo, en los experimentos; S/LI (60/40) y S/LI (80/20) el crecimiento de los brotes (altura promedio 32 cm) es ligeramente mayor al observado en las macetas de referencia. Finalmente, en los cultivos con las proporciones; suelo (S)/lodo no irradiado (LNI) de 60/40 y 80/20 respectivamente, el crecimiento de los brotes (35 cm) es considerablemente mayor que en las macetas de referencia. Es importante hacer notar que hay mayor crecimiento de los brotes en el cultivo con S/LNI (60/40) que en el cultivo con S/LI (60/40), debido tal vez, a que la irradiación elimina del lodo toda la flora bacteriana, entre las cuales se podrían encontrar miclofora benéfica cuyos metabolitos pueden favorecer el desarrollo de las plantas. Sin embargo, se debe recordar que el lodo (LNI) no ha sido tratado por ninguna metodología, por lo que en su composición se tiene todavía compuestos orgánicos tóxicos y flora microbiana patógena, elementos que hacen imposible aplicar el lodo en suelos de cultivo.

En base a lo anterior, se concluye que las proporciones de S/LI (60/40) generan los mejores resultados para utilizar como acondicionador de suelos el lodo residual, ya que en este caso, la irradiación se ha encargado de destruir compuestos orgánicos tóxicos, como son los fenoles, detergentes, grasas y aceites y eliminar la flora microbiana patógena.

En consideración a que la irradiación no elimina los metales, resulta importante aclarar que al aplicar el lodo residual como acondicionador de suelos, es necesario que la concentración de metales no sobrepase los límites máximos permisibles para el tipo de suelo y cultivo correspondiente.

Desarrollo experimental

Para el muestreo del suelo (franco arenoso), se utilizó el método de Rodríguez y Burguete [18], recomendado ampliamente, por considerar los gradientes de fertilidad del suelo. El muestreo consistió en trazar una línea en zigzag de tal forma que se cubrió la superficie del terreno de manera homogénea. Las excavaciones se hicieron en forma de pirámide invertida a una profundidad de $30 \times 30 \times 40$ cm. El suelo muestreado, fue puesto en bolsas de plástico y trasladado al laboratorio para su caracterización fisicoquímica y biológica. Bajo estas consideraciones, en un terreno de 2 hectáreas de extensión ubicado

en el Municipio de Lerma, en el Estado de México se colectaron 50 muestras de 2 kg cada una para formar una muestra compuesta de 100 kg.

De acuerdo con el método aceptado por la Environmental Protection Agency (EPA) y descrito por Telliard [19]; se colectaron de una planta de tratamiento de aguas residuales mixtas 4 muestras puntuales de 40 L de lodo residual en contenedores de plástico de 37 cm de altura por 27 cm de ancho, las cuales se dividieron en 2 grupos, uno para ser irradiado a dosis de 15 kGy con gammas de cobalto-60 y el otro para ser usado como referencia.

El pH de los lodos se determinó con $\text{H}_2\text{O CaCl}_2$ 0.01M y KCl 1 M siguiendo el procedimiento de Goijberg y Aguilar [20]. La materia orgánica y carbono orgánico, se cuantificaron siguiendo el procedimiento de León y Aguilar [21]. El análisis de nitrógeno total, se realizó mediante el procedimiento del Macro-Kjeldahl descrito por Etchevers [22]. El contenido de fósforo, se realizó de acuerdo al método de Olsen *et al.* descrito por Cajuste [23]. Los sólidos totales, la demanda química de oxígeno, las grasas y aceites, fenoles, detergentes, y el recuento en placas del número más probable de microorganismos mesófilos aeróbios, fueron determinados por los métodos 2540B, 5220C, 5520E, 5530C, 5540C y 9215A respectivamente, publicados por Greenberg *et al.* [24], de la American Public Health Association.

La irradiación del lodo, se llevó a cabo en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares en el irradiador gamma industrial, de cobalto-60, modelo JS-6500, con una actividad de 460,337 Ci (170.3×10^4 Bq). La dosis de radiación absorbida por el lodo, se determinó colocando dentro del contenedor de la muestra, 9 dosímetros de perpex rojo 4034 Lote C distribuidos en posiciones representativas del volumen total del lodo. El contenedor, se colocó en un recipiente de aluminio de 88 cm de altura \times 44 cm de ancho, en el cual el lodo se trasladó hacia la cámara de irradiación. Los tiempos de exposición (4 h 30 min 2 s), se consideraron en base a la actividad de la fuente radiactiva y fueron los adecuados para impartir al lodo residual una dosis promedio de 15 kGy, con dosis mínima de 13.6 kGy y dosis máxima de 16.0 kGy.

La evaluación de la calidad del lodo residual irradiado y sin irradiar como acondicionador de suelos, se realizó en cultivos de avena utilizando macetas de 3 kg de capacidad. Cada uno de los cultivos se sembraron por triplicado en mezclas con diferentes proporciones (80/20, 60/40 y 40/60) de suelo franco arenoso (S)/lodo no irradiado (LNI). Es importante mencionar que se emplearon las mismas proporciones para la evaluación del lodo irradiado (LI).

A cada una de las macetas preparadas con las proporciones suelo-lodo descritas, se les adicionó suficiente agua y se trasplantaron en ellas, las plántulas correspondientes.

Las semillas de avena de calidad certificada, se germinaron en invernadero mezclándolas en una capa uniforme de tierra de monte humedecida. Cuando las semillas estuvieron al 90% de su germinación (de 5 a 10 días), se trasplantaron 3 plántulas en cada una de las macetas preparadas con anterioridad.

Conclusiones

La irradiación de muestras de lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales, a dosis de radiación gamma de 15 kGy destruye en el lodo, en promedio: grasas y aceites (33%); detergentes (92%), fenoles (50%) y más del 99% de la cuenta total de microorganismos.

El lodo irradiado a 15 kGy mezclado con suelo franco arenoso en proporciones de 40/60 respectivamente, se puede emplear como acondicionador de suelos en el cultivo de avena obteniendo resultados satisfactorios.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo prestado a este trabajo, a los C. Eulogio de la Cruz Torres, Hilda Frías Palos y Víctor Hernández Magadán.

Referencias

1. Martin, R.C.; Eaglesham, A.R.; Voldeng, H.D.; Smith, D.L. *Environmental and Experimental Botany* (United Kingdom) **1995**, 35, 97-505
2. Tadesse, W.,W.; Shuford, J.W.; Taylor, W. *Water Air, and Soil Pollution* **1991**, 55, 397-408.
3. Couillard, D.; Zhu, S. *Water Air and Soil Pollution* **1992**, 63, 67-80.
4. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero 1996.
5. Bravo, Q.F.; Bautista, G.H.; Muñoz, G.F., Primer Encuentro de Ciencia y Tecnología del Sector Agropecuario y Forestal del Estado de México. **1992**, (Memorias), SARH, Estado de México.
6. Mench, M.J.; Martin, E.; Solda, P. INRA Unité de Recherches Agronomie **1993**.
7. Aguilar, H.N., *Tratado de Edafología de México* Tomo 1, **1980**, 40-81.
8. Norma Oficial Mexicana NOM- 052-ECOL-1993, Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de octubre de 1993.
9. Blok, J.; Leman, H. *Radiat. Res. Quart.* **1973**, 9, 165-245.
10. Kuruckz, C.; Waite, T.; Cooper, W. *Radiat. Phys. Chem.* **1995**, 45, 299-308.
11. Anbar, M.; Bambenek, M.; Ross, A. *Nat. Stand. Ref. Data Ser. Nat. Bur. Stand. (USA)*, **1973**, 43:1-54., En: Cooper, J.; Nickelsen, G.; Mcacham, E.; Cadavid, E.; Waite, D.; Kurucz, N. *Environ. Sci. Health* **1992**, A27, 219-244.
12. Buxton, G.V.; Greenstok, C.L.; Helman, W.P.; Ross, A.B. *J. Phys. Chem. Ref. Data* 1988, 17, 513-886., En: Cooper, J.; Nickelsen, G.; Meacham, E.; Cadavid, E.; Waite, D.; Kurucz, N. *J. Environ. Sci. Health* **1992**, A27, 219-244.
13. Staehelin, J. and Hoigné, J., *Environ. Sci. Technol.* **1985**, 19, 1206-1213.
14. Getoff, N.; Solar, S. *Radiat. Phys. Chem.* **1986**, 28, 443-450.
15. Getoff, N.; Solar, S. *Radiat. Phys. Chem.* **1988**, 31, 121-130.
16. Singh, A.; Sagert, N.H.; Borsa, J.; Singh, H.; Bennet, G.S., Proceedings of the 8th Symposium on Wastewater Treatment, Montreal, Canada., **1985**, 191-209.
17. Moreno, J.; Martínez, I.; Colín C.; Vega J., VII Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Oaxaca México. Memorias del Congreso, **1990**, C-12 y C-13, del 19 al 21 de septiembre.
18. Rodríguez, F.; Burguete, F. En: Aguilar, S.A.; Etchevers, B.J. y Castellanos, R.J., Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo., Publicación Especial No. 1, **1987**, 2-13.
19. Telliard, W., Sampling Procedures and Protocols From The National Sewage Sludge Survey, **1988**.
20. Goijberg, G.; Aguilar, A., En: Aguilar, S.A.; Etchevers, B.J. y Castellanos, R.J., *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*, Publicación Especial No. 1, **1987**, 35-37.
21. León, R.; Aguilar, S.A., En: Aguilar, S.A.; Etchevers, B.J. y Castellanos, R.J., *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*, Publicación Especial No. 1, **1987**, 85-87.
22. Etchevers, B. J., En: Aguilar, S.A.; Etchevers, B.J. y Castellanos, R.J., *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*, Publicación Especial No. 1, **1987**, 68-69.
23. Cajuste, L.J., En: Aguilar, S.A.; Etchevers, B.J. y Castellanos, R.J., *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*, Publicación Especial No. 1, **1987**, 139.
24. Greenberg, A.E.; Clesceri, L.S.; Eaton, A. D. American Public Health Association, American Water Environment Federation., Standard Methods for The Examination of Water and Waste Water., **1992**.