



TÍTULO DEL TRABAJO:

BIOESTIMULACIÓN PARA ELIMINAR POLIACRILAMIDA DE
BIOSÓLIDOS INDUSTRIALES Y TOXICIDAD DE LOS PRODUCTOS

INFORME TÉCNICO DE LA OPCIÓN CURRICULAR EN LA MODALIDAD
DE:
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA AMBIENTAL

PRESENTA:
OLASCOAGA GUERRERO LIZZETH

ASESOR:

Dra. M. Olivia Franco Hernández

COASESORES:

Dra. Ma. Eugenia Gutiérrez Castillo

Dr. Efrén V. García Báez

México, D. F. Mayo 2008



BIOESTIMULACIÓN PARA ELIMINAR POLIACRILAMIDA DE BIOSOLIDOS INDUSTRIALES Y TOXICIDAD DE LOS PRODUCTOS

1. INTRODUCCIÓN

Conforme pasan los años observamos la degradación paulatina del medio ambiente, debida en gran parte a la producción de enormes cantidades de residuos de diferentes tipos descargados al agua, aire o suelo. Es por esta razón que la preocupación por los efectos negativos que ahora se están presentando y que afectarán a futuras generaciones a dado pie al desarrollo de investigaciones y tecnologías para la solución a esta problemática ambiental, con la finalidad de que los residuos generados sean tratados para su eliminación, o bien, para que estos puedan ser reutilizados. Por todo esto, es necesario conocer en primer lugar los tipos de residuos que se generan y de esta manera poder buscar las mejores soluciones para su tratamiento.

El tratamiento de aguas residuales es un proceso por el cual los sólidos que el líquido contiene son separados parcialmente, haciendo que el resto de los sólidos orgánicos complejos muy putrescibles queden convertidos en sólidos minerales o en sólidos orgánicos relativamente estables. La magnitud de este cambio, depende del proceso de tratamiento empleado; y una vez completado todo el proceso de tratamiento, es necesario disponer de los líquidos y los sólidos que se haya separado. En particular, la disposición final que tienen los residuos sólidos de una planta de tratamiento es de suma importancia, ya que actualmente se producen enormes cantidades de este tipo de residuo orgánico y algunas de las opciones para resolver esta problemática no son adecuadas.

En particular, todos los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales producen, en mayor o menor grado, alguna forma de lodo, conocido como el "concentrado de contaminación", y su tratamiento y disposición es, razonablemente, el mayor problema actual en el tratamiento de las aguas residuales.

En países de la Unión Europea, manejando el término de sustentabilidad, han optado al paso del tiempo, utilizar a los lodos procedentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales como fertilizantes, tal y como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 1
Disposición final de lodos en países de la Unión Europea ^[3]

PAÍS	DISPOSICIÓN FINAL (%)			
	FERTILIZANTE	RELLENO SANITARIO	INCINERACIÓN	VERTIDO AL MAR
Bélgica	57	43	0	0
España	27	10	0	29
Francia	27	53	20	0
Inglaterra	51	16	5	28
Italia	34	55	11	0
Portugal	80	12	0	8

Fuente: IAWQ, 1995

Diversas plantas de tratamiento de aguas residuales establecidas en México, son ineficientes o utilizan métodos que en este tiempo no son los adecuados para la disposición final de los lodos que se generan en este tratamiento.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales **Reciclagua Ambiental, S.A. de C.V.**, esta ubicada en el corredor industrial Toluca-Lerma. Esta zona industrial, es la segunda más importante del país, concentrando a casi trescientas empresas, de las cuales únicamente el 46.6% descargan sus aguas a Reciclagua.

La planta cuenta con una capacidad para dar tratamiento a 450 litros por segundo, lo que representa un volumen anual de 14.2 millones de metros cúbicos. Cuenta con ocho reactores biológicos que tienen una capacidad instalada de 36 mil metros cúbicos.

Los lodos primarios y secundarios resultantes del proceso son recolectados en dos tanques espesadores, donde se incrementa la concentración de sólidos de 1 a 3.5 por ciento. Estos lodos que se sedimentan en el fondo son bombeados hacia un sistema dosificador de polímero (poliacrilamida) y vertidos en una banda donde pierden la mayor cantidad de agua posible, quedando en la superficie los lodos grumosos que se exprimen mediante presión. Diariamente obtienen entre 60 y 70 toneladas que finalmente son incinerados, lo que trae como consecuencia la emisión de contaminantes a la atmósfera, y por lo tanto no resuelve completamente el problema de la disposición final de este tipo de residuo, ya que es necesario disponer de la ceniza residual. Este proceso se ilustra en la Figura 1.

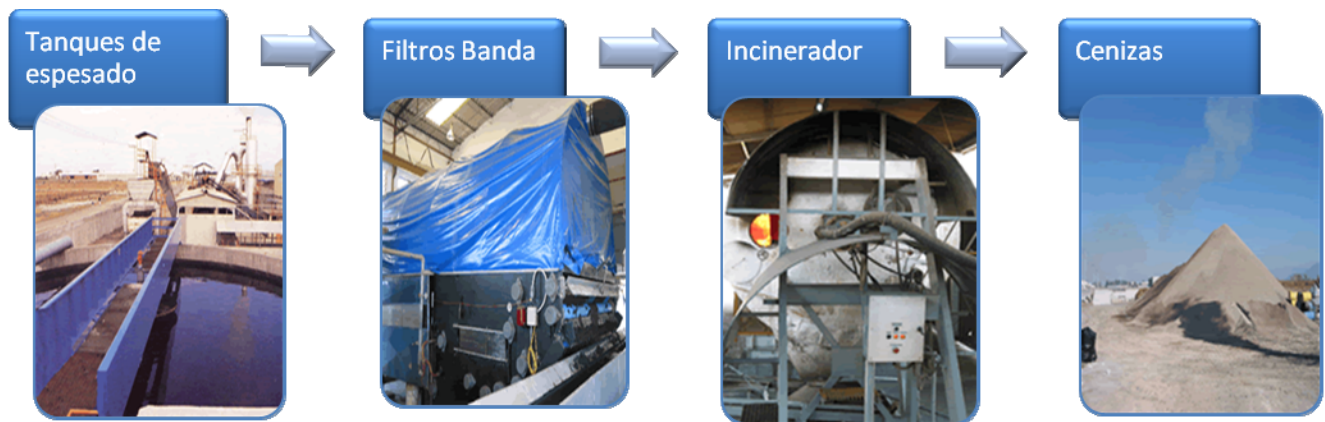


Figura 1. Proceso de estabilización de lodos en la planta de tratamiento Reciclagua Ambiental S. A. de C. V.

El proceso de incineración se implementó hasta 1994, por lo que anteriormente los biosólidos generados se acumulaban en el mismo terreno de la empresa. Actualmente se tiene acumulada una cantidad de aproximadamente 50,000 ton de biosólido con una antigüedad de 14 años, los cuales no se han degradado, debido al contenido de poliacrilamida. Estos biosólidos han permanecido como una montaña de desperdicios que se ha degradado lentamente y solo la superficie es como una costra de pasto, pero al interior, el biosólido sigue sin transformarse.

1.1 POLIACRILAMIDA Y SU MONÓMERO

La poliacrilamida es un floculante de naturaleza orgánica de origen sintético, de alto peso molecular, pueden presentar propiedades aniónicas, catiónicas o no iónicas, según su fabricación y usos para los que se aplique. Su empleo es importante en circunstancias y épocas en las que la floculación presenta más dificultades, como pueden ser los cambios de calidad del agua a tratar, y las bajas temperaturas. (ANEXO 1)

Una muy pequeña fracción del polímero poliacrilamida, conocida como acrilamida residual o monómero libre de acrilamida (ANEXO 2), no pasa a formar parte del floculo, es muy soluble en agua y permanece disuelto en ella, es decir, pasa a ser un contaminante del agua tratada. La acrilamida polimerizada no es tóxica, pero en cambio el monómero puede causar problemas diversos a la salud.

También, en el proceso de tratamiento de lodos, mejor conocido como estabilización, se emplean generalmente polímeros de acrilamida similares a los empleados en el proceso de floculación del agua potable, con dosis muy superiores a este, de forma que el monómero libre de acrilamida, se incorporará al agua, si la recirculación se está llevando a cabo, aumentando la concentración de acrilamida en el agua tratada.

En la tabla 2 se muestran algunas propiedades fisicoquímicas de la acrilamida.

Tabla 2
Propiedades fisicoquímicas de la acrilamida ^[30]

PROPIEDAD	VALOR
Punto de ebullición (se descompone):	175-300°C
Punto de fusión:	84.5°C
Densidad relativa (agua = 1):	1.04
Solubilidad en agua, g/100 ml a 30°C:	215
Presión de vapor, Pa a 20°C:	1
Densidad relativa de vapor (aire = 1):	2.45
Punto de inflamación:	138°C (c.c.)°C
Temperatura de autoignición:	424°C
Coefficiente de reparto octanol/agua como log Pow:	-0.67

1.1.1 TOXICOLOGIA DE LA ACRILAMIDA

La acrilamida es un polvo cristalino de color blanco, cuya estructura química se presenta en la Figura 2. Como antes se menciona es un intermediario químico usado en la producción y síntesis de poliacrilamidas, a continuación se dan a conocer algunos de sus efectos a la salud (ANEXO 3). ^[24]

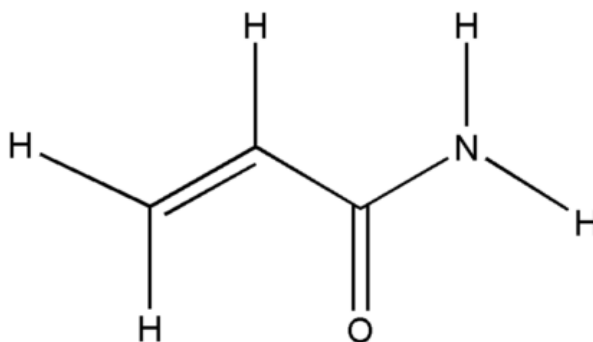


Figura 2. Estructura química de la acrilamida.

- **Efectos neurológicos**

La acrilamida se obtuvo por primera vez en Alemania en el año 1893. Sin embargo, no fue sino hasta principios del decenio de 1950 cuando se inició su producción a escala industrial. Este desarrollo dio comienzo en Estados Unidos.

A mediados de los años cincuenta se observó que los trabajadores expuestos a la acrilamida desarrollaban alteraciones neurológicas características, asociadas principalmente con dificultades posturales y motoras.

El examen neurológico de las personas que padecen intoxicación por acrilamida muestra una neuropatía periférica típica con disminución o abolición de los reflejos tendinosos.

Aunque los síntomas y signos descritos de la neuropatía periférica característica asociada a la exposición a acrilamida se conocen perfectamente gracias a los casos de exposición industrial y a los estudios realizados en animales de experimentación, parece ser que, en el hombre, ante una ingestión de acrilamida, como ha ocurrido por beber agua contaminada con esta sustancia, los síntomas y signos están todos ellos relacionados con el sistema nervioso central. En estos casos se produjo somnolencia, alteraciones del equilibrio y trastornos mentales caracterizados por confusión, pérdida de memoria y alucinaciones. Hasta más tarde no se presentaron síntomas de afectación neurológica periférica.

- **Carcinogénesis**

La Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) ha clasificado a la acrilamida como probable carcinógeno humano (Grupo 2A). Esa decisión se ha basado en los resultados de los bioensayos realizados en ratones con distintas vías de administración, que han demostrado el desarrollo de tumores en distintos órganos, así como en los datos de genotoxicidad y la capacidad de la acrilamida para formar aductos. La estructura química de la acrilamida también sugiere la posibilidad de que esta sustancia sea cancerígena para el ser humano.

2. JUSTIFICACIÓN

En México, algunas plantas de tratamiento de aguas residuales son ineficientes respecto al tratamiento y manejo de los lodos residuales. Para la estabilización de biosólidos es utilizada la poliacrilamida entre otros compuestos.

En Reciclagua actualmente incineran diariamente 70 ton de biosólidos, además tienen acumulado aproximadamente 50000 toneladas de éste con una antigüedad de 13 años que no se ha degradado completamente. Este desecho representa un problema para la empresa y para el entorno ya que es un foco de infección y atractor de vectores, por lo que es necesario encontrar una forma de eliminar la poliacrilamida que impide la degradación del biosólido. Un tratamiento alternativo sería el vermicomposteo el cual se puede acelerar por adición de estiércol de vaca y materia orgánica de desecho.

3. HIPÓTESIS

El proceso de vermicomposteo con adición de estiércol y desechos de materia orgánica, acelerará la degradación de contaminantes en biosólidos de Reciclagua, principalmente la poliacrilamida, sin que se tengan monómeros de ésta como residuo y por lo tanto el producto no ocasionará riesgos al ambiente y la salud humana.

4. OBJETIVO GENERAL

Bioestimular la degradación completa de la poliacrilamida, contenida en biosólidos industriales mediante un precomposteo con estiércol de vaca, incrementando la concentración de microorganismos y seguida del proceso de lombricomposteo con adición de desechos orgánicos, para su posterior utilización como fertilizante.

Objetivos específicos:

- Acondicionar pilas de biosólidos industriales mediante un precomposteo con estiércol de vaca y los desechos de frutas con adición de cal.
- Realizar el proceso de vermicomposteo con los biosólidos y desechos orgánicos acondicionados y sin acondicionar.
- Monitorear la degradación de la poliacrilamida y sus productos al final de cada proceso.

5. ANTECEDENTES

Smith y col. (1996). El resultado de su estudio sugiere que la poliacrilamida puede degradarse a acrilamida por efectos de la temperatura y efectos fotolíticos, pero los cambios en el pH no prometen una despolimerización de poliacrilamida; por lo que es posible su degradación en condiciones ambientales.

Smith y col. (1997). Para la degradación ambiental de la poliacrilamida y su monómero, se tiene que tomar en cuenta a la flora microbiana del suelo, ya que estos posiblemente contribuyen metabólicamente a la degradación del polímero o del monómero, dependiendo de los efectos fotolíticos para romper al polímero y que sus fracciones puedan ser utilizadas por estos.

Los estudios realizados con respecto a la volatilidad, afirman que la acrilamida es muy soluble en agua, pero con una volatilidad lenta en solución.

Los resultados de la movilidad en suelo, demuestran que la acrilamida puede migrar a través de suelo tipo arenoso, pero en suelos arcillosos sucede lo contrario, ya que este tipo de suelo tiene una mayor capacidad de intercambio catiónico y una mayor área superficial, incrementando con esto su capacidad de adsorción. Además los suelos con una alta concentración de carbón orgánico inhiben la movilidad del compuesto a través del suelo.

Sathesh y col., (2007). Realizaron estudios de biodegradación de acrilamida utilizando células de *Pseudomonas*, analizando la degradación cuantitativamente por medio del HPLC con una detección UV a 195 nm y columna C-18, donde encuentran compuestos que indican u degradación.

Edwards y Loeffly, (1977); Price y Phillips, (1990). Exponen que las lombrices como la Lombriz Roja de California (*Eisenia foetida L.*) puede transformar una gran cantidad de desechos, estando presente sus requerimientos básicos de temperatura (20-25 °C), humedad y aireación.

Edwards y Bohlen, (1996). La transformación de material de desecho en composta es potencialmente confiable para su uso como medio de crecimiento para plantas. En los años setentas se hicieron las primeras pruebas para vermicompostear los lodos residuales residenciales.

Loerh, et al., (1985). Exitosamente aplicó la técnica del vermicompostaje en la estabilización de lodos residuales en una planta de tratamiento.

Ndegwa y Thompson, (2001). Utilizaron lodos residuales activados con pulpa de papel para establecer el rango de la relación C-N disuelto para incrementar la estabilidad y calidad del fertilizante con mínimo impacto de contaminación al medio ambiente.

Quiroz y Paniagua, (2006). Obtuvieron una producción exitosa de lombrices como alimento para animales, utilizando como medio de producción a la vermicomposta con biosólido como materia prima, además de ocupar el producto del vermicomposteo como un fertilizante para la agricultura, reduciendo de esta manera el impacto ambiental de los biosólidos.

Ojeda, (2005). Observó que el uso del biosólido vermiestabilizado como fertilizante orgánico reduce la necesidad de fertilizantes químicos al producir plantas saludables que son menos susceptibles a plagas de insectos y enfermedades. También proporciona un saludable entorno biológico por el alimento que provee para microorganismos beneficiosos, gusanos e insectos de suelo.

Guzmán, (2007). El biosólido proveniente de RECICLAGUA vermiestabilizado, es un material con características fisicoquímicas apropiadas para ser aprovechado como un mejorador de la calidad del suelo.

Contreras, Álvarez y Dendooven (2006). La adición de lombrices con vermicomposta derivada de biosólidos a suelo contaminado con tres diferentes hidrocarburos policíclicos, ayuda a la remoción de estos contaminantes acelerando este proceso. Las lombrices tienen un gran potencial para remover hidrocarburos del suelo.

La EPA ha encontrado que a corto plazo, la acrilamida causa potencialmente efectos negativos a salud cuando exponen a la gente a ella sobre los MCL (Maximum Contaminant Level) por períodos del tiempo relativamente cortos: daño al sistema, a la debilidad y al poca coordinación nerviosos en las piernas. Y a largo plazo, la acrilamida tiene el potencial de causar los efectos siguientes de una exposición de curso de la vida en los niveles sobre el MCL como daños al sistema nervioso, parálisis y cáncer.

En el 2002, La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) reunieron a científicos, médicos y especialistas en salud pública para determinar la toxicología de la acrilamida. Los resultados de algunos estudios llevados a cabo con roedores y primates impulsaron a la FAO a establecer 0.5 mg/kg/día como el nivel máximo de ingesta en humanos, el cual no produce la neuropatía; se estimó además la ingesta crónica permitida en 0.001 mg/kg/día.

La acrilamida es tóxica en las células somáticas y germinales y posee el potencial de inducir daños hereditarios en los genes y cromosomas. Tiene potencial cancerígeno en ratas, de modo similar al de otros cancerígenos que están presentes en diversos alimentos, pero los niveles de ingesta de acrilamida son mayores, por lo que la Agencia Internacional de Cáncer (I A R C) la clasificó como un probable cancerígeno en los seres humanos, por lo que la ubicó en la clasificación 2A.

6. DISEÑO Y ESTRATEGIA EXPERIMENTAL PARA LA DEGRADACIÓN DE POLIACRILAMIDA EN BIOSÓLIDOS INDUSTRIALES

Se elaboraron ocho diferentes tratamientos de vermicomposta con las siguientes características:

$$1B * 4 \text{ Conc} * 2 \text{ Variables} = 8 \text{ tratamientos}$$

1. Control: Biosólido + L
2. Biosólido + Estiércol +L (BEL)
3. Biosólido + Estiércol + 25% Materia Orgánica +L (BEL 25%)
4. Biosólido + Estiércol + 50% Materia Orgánica + L (BEL 50%)
5. Biosólido + Estiércol + 75% Materia Orgánica + L (BEL 75%)
6. Biosólido + 25% Materia Orgánica + L (BL 25%)
7. Biosólido + 50% Materia Orgánica + L (BL 50%)
8. Biosólido + 75% Materia Orgánica + L (BL 75%)

L = lombriz roja.

B = Biosólido

Variables: Acondicionamiento y sin acondicionar.

La formación de las camas de composteo fue en producción continua.

6.1 ELABORACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.

Las cantidades de biosólido, materia orgánica (Residuos de Fruta), estiércol y lombrices para cada uno de los tratamientos se describen en las siguientes tablas.

Tabla 3
Cantidad de los componentes para el Tratamiento Control en kg.

COMPONENETE	CONTROL
BIOSOLIDO	34.155
MATERIA ORGANICA	-----
LOMBRIZ	0.0453
ESTIERCOL	-----

Tabla 4

Cantidad de los componentes para el Tratamiento BEL en kg.

COMPONENTE	BEL
BIOSOLIDO	≈ 20
MATERIA ORGANICA	-----
LOMBRIZ	0.0453
ESTIERCOL	4.845

Tabla 5

Cantidad de los componentes para los Tratamientos BEL con diferente porcentaje de Materia Orgánica en kg.

COMPONENTE	BEL 25%	BEL 50%	BEL 75%
BIOSOLIDO	≈ 20	≈ 20	≈ 20
MATERIA ORGANICA	5	10	15
LOMBRIZ	0.0453	0.0453	0.0453
ESTIERCOL	4.845	4.845	4.845

Tabla 6

Cantidad de los componentes para los Tratamientos BL con diferente porcentaje de Materia Orgánica en kg.

COMPONENTE	BL 25%	BL 50%	BL 75%
BIOSOLIDO	≈ 20	≈ 20	≈ 20
MATERIA ORGANICA	5	10	15
LOMBRIZ	0.0453	0.0453	0.0453
ESTIERCOL	-----	-----	-----

Para la elaboración de las vermicompostas BEL 25, 75 y 25%, además de la BL 25%, se pesó y mezcló la siguiente cantidad de fruta:

Tabla 7

Cantidad de fruta para la preparación de los tratamientos.

Fruta	Cantidad (kg)
Papaya *	8.750
Mango	4.65
Melón	3.470
Sandía	11.335
Piña*	7.140
Otros	0.520

Otros: pequeñas cantidades de plátano, zanahoria, pepino y fresa.

*: Se le dio un tratamiento previo con cal, en porción 1:25.

Para las vermicompostas BL 50 y 75% se pesó y mezcló la siguiente cantidad de fruta:

Tabla 8

Cantidad de fruta para la preparación de los tratamientos.

Fruta	Cantidad (kg)
Papaya *	4.870
Mango	3.743
Pepino	0.400
Sandía	7.600
Piña*	5.052
Melón	3.355

*: Se le dio un tratamiento previo con cal, en proporción de 1:25.

7. RESULTADOS

7.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL BIOSÓLIDO, MATERIA ORGÁNICA Y PRECOMPOSTA.

Los resultados de la caracterización físicoquímica del biosólido muestran que el contenido de nitrógeno total al compararlo con la NOM-021-RECNAT-2000 se encuentra muy alto. Por otra parte, las concentraciones de nitratos y nitrógeno amoniacal no se encuentran reportadas como tal en la norma, ya que estas son englobadas como nitrógeno total junto con los nitritos, por lo que se realizó un análisis comparativo con los resultados que obtuvo Guzmán (2007), observando una gran diferencia ya que los resultados actuales son menores, esto es comprensible ya que este tipo de parámetros dependen del tipo y cantidad de agua que se lleva a la Planta de Tratamiento **Reciclagua Ambiental, S.A. de C.V.**

Por lo establecido en la NOM-021-RECNAT-2000, la concentración de fósforo en biosólido se considera alta, a diferencia del porcentaje de carbón orgánico, el cual es muy bajo. Con respecto a la conductividad este tiene efectos despreciables de la salinidad y por lo tanto tiene un efecto en el pH, el cual se encuentra en un rango medianamente alcalino (Tabla 9).

Tabla 9
Resultados de la caracterización físicoquímica del biosólido.

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	GUZMAN (2007)	NOM-021- RECNAT-2000
NITROGENO TOTAL %N	0.7101	ND	Muy Alto
NITRATOS mg N-NO₃/kg SS	27	95.24	NR
NITROGENO AMONICAL mg N-NH₄/kg SS	0.359	1242.80	NR
FOSFORO SOLUBLE mg PO₄/kg SS	547.14	ND	Alto
CARBÓN ORGÁNICO %C	0.16	71.14	Muy Bajo
CONDUCTIVIDAD dS m⁻¹	0.035	ND	Efectos despreciables de la salinidad
pH	7.5	8.2	Medianamente Alcalino

ND. No Determinado
NR. No reportado

Como podemos observar en la Tabla 10, los residuos de frutas son muy ricos en carbón orgánico lo que le proporcionará a nuestros microorganismos una muy buena fuente de energía, ya que uno de los propósitos de esta investigación es la bioestimulación, proporcionando energía para el crecimiento y formación de nuevo material celular.

Por otra parte, el contenido de nitrógeno en este material según lo reportado en norma se encuentra bajo, pero al realizar las camas de vermicomposta se espera que la carencia de carbón orgánico en Biosólidos y la de nitrógeno en residuos de fruta sean equilibradas en este proceso al realizar las diferentes mezclas, para lograr una buena proporción C/N. Lo anterior es con el fin de tener una buena cantidad de nutrimentos para que los microorganismos que van a llevar a cabo la degradación no tengan carencia de estos.

Tabla 10

Resultados de la caracterización físicoquímica de desechos de frutas.

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	NOM-021-RECNAT-2000
NITROGENO TOTAL %N	0.089	Bajo
NITRATOS mg N-NO₃/kg SS	ND	NR
NITROGENO AMONIAICAL mg N-NH₄/kg SS	177	NR
FOSFORO SOLUBLE µg PO₄/kg SS	ND	-----
CARBÓN ORGÁNICO %C	12.43	Muy alto
CONDUCTIVIDAD mS	ND	-----
% HUMEDAD	50.73	NR

ND. No Determinado

NR. No reportado

En la elaboración de los tratamientos, antes de llevar a cabo el proceso de vermicomposteo, se espero a que estos tuvieran una temperatura adecuada para el desarrollo de las lombrices, esto se logró a los 49 días del proceso, por lo que denominamos a este periodo como precomposteo.

Se realizaron pruebas físicoquímicas a los tratamientos BL 25%, BL 50% y BL 75% al termino del proceso de precomposteo, con la finalidad de realizar comparativas entre el precomposteo y vermicomposteo, y saber si los microorganismos eran inhibidos por el contenido de la poliacrilamida.

Estas primeras pruebas se compararon con los resultados de Gazca (2007), donde reporta al final de su vermicomposteo un aumento en la concentración de amonio y nitratos, teniendo como resultado una vermicomposta rica en nutrimentos.

Sabemos que en el ciclo del nitrógeno, la forma más importante de este macronutriente adquirida por las plantas en el suelo es el amonio y nitrato, puesto que el amonio pasa por un proceso de mineralización ocasionada por los microorganismos para después tener un proceso de nitrificación por bacterias nitrificantes, obteniéndose como producto final nitrato, por lo que podemos deducir que el proceso de degradación aerobia en la cama de composteo se llevó a cabo óptimamente (Tabla 11). Por los resultados reportados por Gazca en el 2007 y con los obtenidos en el presente trabajo podemos suponer que las bacterias nitrificantes no se afectan con la poliacrilamida del biosólido, debido a que las concentraciones de nitratos incrementaron aproximadamente 10 veces con respecto a la concentración inicial en el proceso.

Otro compuesto no menos importante que el nitrógeno es el fósforo, un nutriente inorgánico necesario para los microorganismos y plantas. En su forma inorgánica soluble lo encontramos como fosfato monoácido (HPO_4^{2-}) o fosfato diácido (H_2PO_4^-).

En cuanto al valor del fósforo en nuestro producto, de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000, este tiene valores altos.

Tabla 11

Resultados de la caracterización fisicoquímica de los
Tratamientos BL después de 49 días.

TRATAMIENTO	BL 25%		BL 50%		BL 75%	
	RESULTADOS	NOM-021- RECNAT- 2000	RESULTADOS	NOM-021- RECNAT- 2000	RESULTADOS	NOM-021- RECNAT- 2000
NITROGENO TOTAL %N	2.77	Muy Alto	3.16	Muy Alto	3.23	Muy Alto
NITRATOS mg N-NO ₃ /kg SS	316	NR	571	NR	256	NR
NITROGENO AMONIACAL mg N-NH ₄ /kg SS	1.93	NR	1.75	NR	0	NR
FOSFORO SOLUBLE mg PO ₄ /kg SS	4.37	Bajo	19.7	Alto	60.79	Alto
% HUMEDAD	52.31	NR	51	NR	53.27	NR

ND. No Determinado

NR. No reportado

El vermicomposteo se dio por terminado cuando los tratamientos presentaban características que indicaban el término del proceso de degradación aerobia, tales como olor a tierra húmeda y color café oscuro; estas características se presentaron a la semana número 43 de su elaboración en todos los tratamientos.

En la Figura 3, se puede apreciar la coloración de los tratamientos; para el primer caso (a) esta es más oscura (negro y café oscuro) y se ve la formación de grumos o aglomerados, aunque ya no se presenta la formación de coágulos como en el biosólido fresco. En la figura 3b se puede observar un color café oscuro pero la textura se observa uniforme, es decir sin grumos. Además el olor ya no era desagradable.

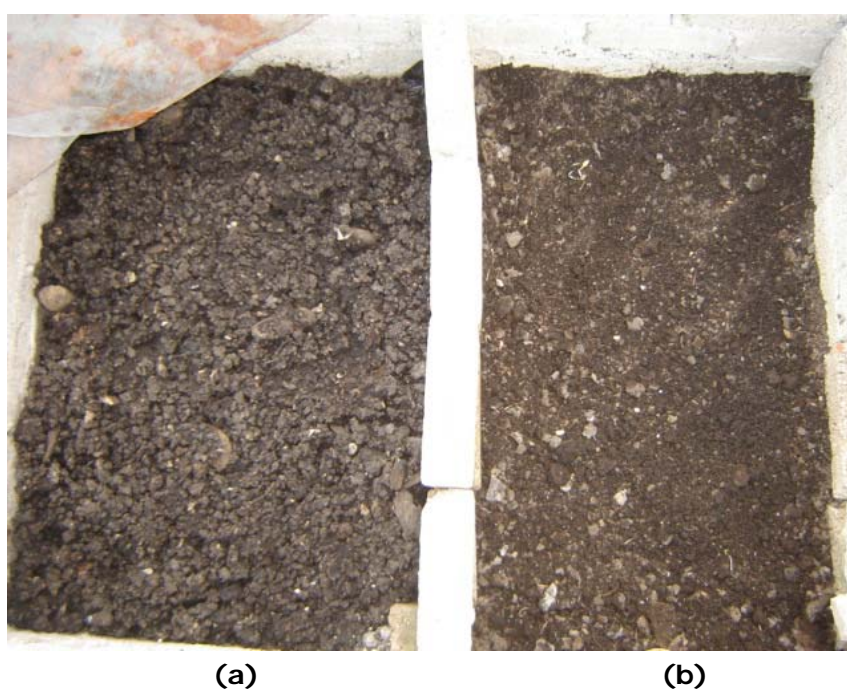


Figura 3. Comparativa entre el Control (a) y el Tratamiento Terminado BL 25% (b).

Se realizaron pruebas fisicoquímicas al dar por terminado el proceso de vermicomposteo; realizando una comparativa de la cantidad de nitratos presente en los tratamientos BL 25%, BL 50% y BL 75% a los 49 días (precomposteo) y a las 43 semanas (vermicomposteo), tal y como se muestra en la Figura 4, notando que continúa el incremento de nitrato, lo que nos sugiere que las bacterias nitrificantes no se ven afectadas por el contenido de la poliacrilamida y que el proceso de degradación aerobia y el ciclo del nitrógeno se llevaron a cabo de manera adecuada.

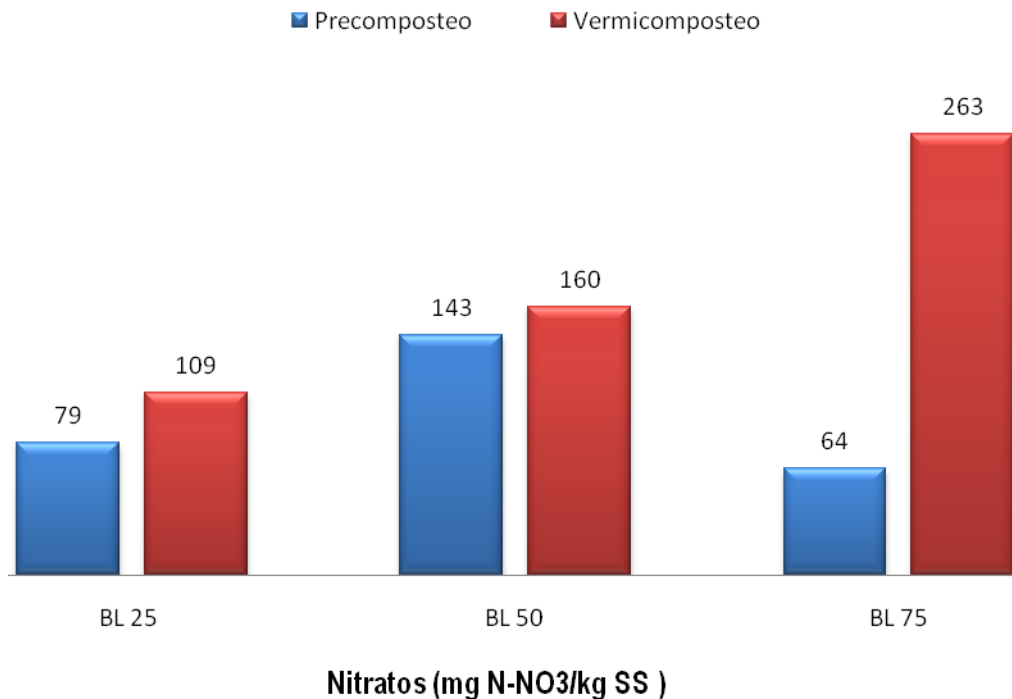


Figura 4. Análisis comparativo de la concentración de de Nitratos (mg N-NO₃/kg SS) en el Precomposteo y en la Vermicomposta.

Los resultados de las pruebas fisicoquímicas de todos los tratamientos al termino del proceso de vermicomposteo, se muestran en las Tablas 14 y 15, destacando que el contenido de carbón orgánico lo clasifica la NOM-021-RECNAT-2000 como un porcentaje muy alto, esto es de esperarse, ya que en el transcurso del proceso se le añadía cada 15 días una cantidad aproximada de 3kg de residuos de fruta con la finalidad de que se llevara a cabo un comportamiento de cometabolismo entre las lombrices y el compuesto que nosotros deseamos degradar; definiendo el concepto de cometabolismo como el proceso de biodegradación de algún contaminante, siendo este un sustrato secundario utilizado por los microorganismos para su desarrollo.

Tabla 12
Resultados de la caracterización fisicoquímica de los
Tratamientos BL.

TRATAMIENTO	CONTROL	BL 25%	BL 50%	BL 75%
DETERMINACIÓN	RESULTADOS	RESULTADOS	RESULTADOS	RESULTADOS
NITRATOS mg N-NO ₃ /kg SS	8	109	160	263
NITROGENO AMONIACAL mg N-NH ₄ /kg SS	2.3	1.7	3.6	1.4
% HUMEDAD	62.3	56.8	59	61.1
% CARBÓN ORGÁNICO	29.5	17.9	29.5	29.5
NOM-021- RECNAT-2000 (% CO)	MUY ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO

Tabla 13
Resultados de la caracterización fisicoquímica de los
Tratamientos BEL.

TRATAMIENTO	BEL	BEL 25%	BEL 50%	BEL 75%
DETERMINACIÓN	RESULTADOS	RESULTADOS	RESULTADOS	RESULTADOS
NITRATOS mg N-NO ₃ /kg SS	139	16	33	271
NITROGENO AMONIACAL mg N-NH ₄ /kg SS	6.3	2.9	2.4	2.1
% HUMEDAD	45.5	60.2	59.7	62.2
% CARBONO ORGÁNICO	11.8	17.6	17.2	18.5
NOM-021- RECNAT-2000 (% CO)	MUY ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO

7.2 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO (Coliformes Fecales, Totales, *Salmonella sp.* y Huevos de Helminto) EN BIOSÓLIDOS.

Los microorganismos patógenos también son considerados como contaminantes, ya que si estos son encontrados en el suelo tienen efectos adversos en la salud de organismos vivos, por esta razón es importante saber de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002 el tipo de biosólido con el que se está trabajando, ya que este tipo de microorganismos intervienen en la calidad sanitaria del producto de la vermicomposta. Y también para tomar en cuenta las debidas precauciones al trabajar con este material.

Como se puede observar en la Tabla 14, el biosólido de la Planta de Tratamiento de aguas residuales "**Reciclagua Ambiental, S.A. de C.V.**", es de Clase C., ya que rebasa el número de coliformes fecales.

En la figura 2 y 3 se puede apreciar los resultados positivos de la prueba de coliformes fecales, y la prueba negativa de *Salmonella*. También se realizó el conteo de huevos de helminto, sin encontrarse ninguno de este tipo en este lote de biosólidos.

Tabla 14
Resultado de las determinaciones microbiológicas del biosólido.

PATOGENOS	RESULTADOS	GUZMAN (2007)	NOM-004– SEMARNAT-2002
Salmonella sp NMP/g	0	0	CLASE A
Coliformes Totales NMP/g	>1100	NR	CLASE C
Coliformes Fecales NMP/g	1100	9×10^7	CLASE C

NR. No Reportado



Figura 5. Tubos Positivos a la prueba de Coliformes.



Figura 6. Tubos negativos a la prueba de *Salmonella*.

7.3 VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA DE LOS TRATAMIENTOS.

Al inicio de nuestro experimento las camas de tratamiento se encontraban en condiciones de invernadero, teniendo un mayor control de la temperatura, pero después estas se dejaron a cielo abierto, por lo que es más difícil el control de este parámetro, por lo tanto las temperaturas registradas desde la semana 7 hasta la 19 fueron variando de acuerdo a la temperatura ambiental (Ver Figuras 7 - 9). En los días más fríos se registró un valor de 15°C y para los días de más alta temperatura, este valor es de 25°C. Este intervalo no representa ningún peligro para las lombrices ni para los microorganismos mesófilos, ya que pueden soportar perfectamente estas temperaturas. Durante las primeras 5 semanas no se registró la temperatura del medio ambiente, sin embargo corresponden a la etapa más calurosa, por lo que se pueden ver temperaturas de hasta de 30°C; observando que en todos los casos el comportamiento fue similar.

Sin embargo, después se logró tener nuevamente a los tratamientos en condiciones de invernadero, por eso se puede observar que a partir de la semana 19 la temperatura disminuye periódicamente, hasta mantenerse constante y similar a la temperatura ambiental, lo cual nos indica que el proceso de vermicomposteo ha terminado. Es importante mencionar que la humedad es un factor que nos ayuda a regular la temperatura, ya que al añadir agua para tener las condiciones necesarias para el desarrollo de los microorganismos, la conductividad térmica de la matriz del suelo se incrementa, reduciendo variaciones de la temperatura del suelo (Ewis y col., 1999), ocurriendo lo mismo para la vermicomposta; además de que la aireación tanto del precompostaje como del vermicompostaje afectan de igual manera a este parámetro.

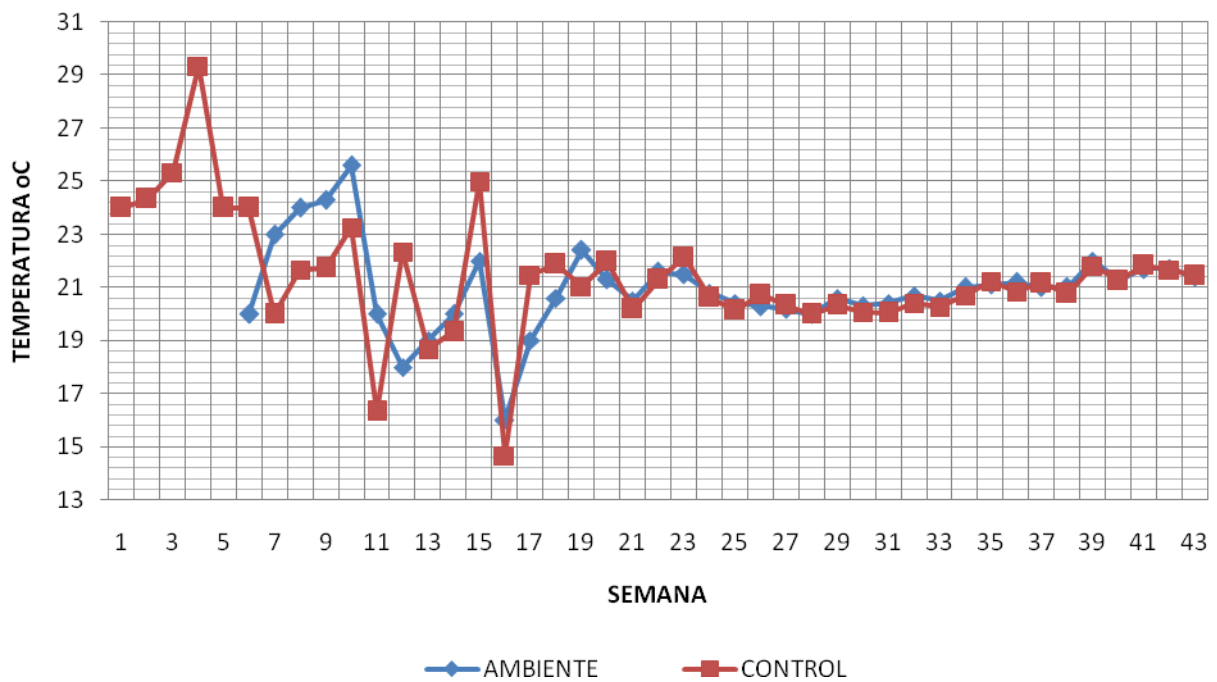


Figura 7. Variación de la temperatura ambiental y la del tratamiento control, durante el proceso de composteo.

FIGURA 8

FIGURA 9

7.4 DETERMINACIÓN DE POLIACRILAMIDA Y ACRILAMIDA

Se realizaron pruebas de viabilidad de las lombrices y se obtuvo un 100% de sobrevivencia en todos los tratamientos, durante un periodo de 28 días, posteriormente ya no se pudo dar seguimiento a la sobrevivencia, debido a que empezaron a eclosionar las nuevas lombrices de sus huevecillos y esto daría confusión al número de individuos una vez que alcanzaran su tamaño normal.

Para el análisis de identificación y cuantificación de la poliacrilamida y su monómero en cada uno de los tratamientos y en el biosólido, se realizó previamente una separación de compuestos contenidos en el biosólido, por lo cual se elaboró una extracción de estos compuestos en base a su polaridad. El método consistió en los siguientes pasos, eliminación de grasas mediante un reflujo en equipo Soxhlet, usando hexano como solvente durante 24 horas. Después el extracto hexánico se evaporó casi a sequedad a temperatura ambiente y se redisolvió en cloroformo. Este extracto clorofórmico se colocó en una columna de vidrio empacada con sílica-gel malla 100., para fraccionar los compuestos con la adición de diferentes solventes en orden de ir incrementando la polaridad, de la siguiente manera:

Solución de Hexano con Acetato de Etilo al 10%

Solución de Hexano con Acetato de Etilo al 20%

Solución de Hexano con Acetato de Etilo al 40%

Solución de Hexano con Acetato de Etilo al 60%

Solución de Hexano con Acetato de Etilo al 80%

Acetato de Etilo al 100%

Solución de Acetato de Etilo con Cloroformo al 10%

Solución de Acetato de Etilo con Cloroformo al 20%

Solución de Acetato de Etilo con Cloroformo al 40%

Solución de Acetato de Etilo con Cloroformo al 60%

Solución de Acetato de Etilo con Cloroformo al 80%

Cloroformo al 100%

En cada uno de estos se obtuvieron diferentes fracciones, siendo en total 8, de las cuales solo fueron importantes 4 de ellas, ya que las demás eran grasas (Figura 10). En esta misma figura se puede observar la separación de 4 componentes.

Después cada una de estas fracciones se analizó en el equipo de Resonancia Magnética (RMN) para poder identificar al polímero, su monómero, así como otros compuestos que se encuentren tanto en el biosólido como en los tratamientos y de esta manera saber las características tóxicas de cada uno de estos.

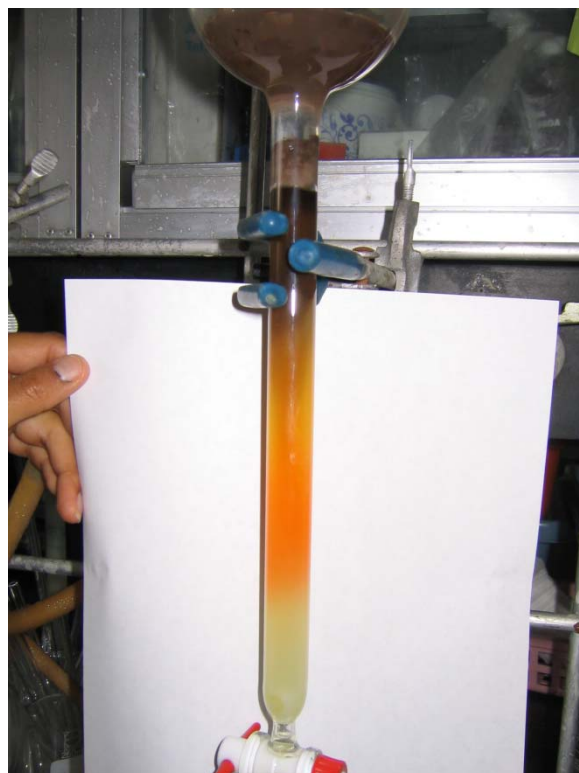


Figura 10. Columna de sílica-gel malla 100 con el extracto de biosólido.

En la Figura 11 se puede observar el espectro RMN de hidrógeno de la acrilamida pura, con 4 señales. La principal a 6 ppm, que corresponde a los hidrógenos que están unidos al nitrógeno (grupo amida). Un juego de señales pequeñas, aparece a 6.17 y 6.48 ppm, corresponden a los hidrógenos que están unidos a carbono con doble enlace y cercanos a un carbonilo y finalmente la de 5.71 que indica el hidrógeno que está unido al carbono con doble enlace. Por otra parte, el espectro que se obtuvo de la fracción número 4 (ANEXO 4), fue importante debido a que en este se encontró al compuesto de acrilamida y grasas.

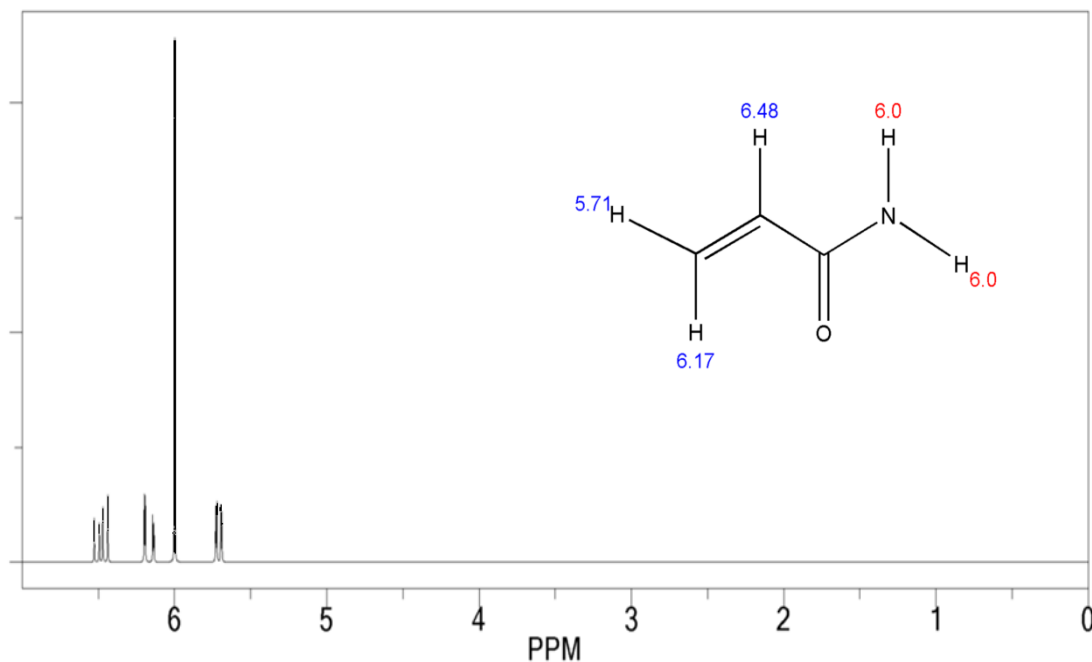


Figura 11. Espectro en RMN de Hidrogeno esperado para la identificación de acrilamida.

Observando en el espectro de esta fracción, que alrededor de 7 ppm se forma una serie de picos que podrían ser el hidrógeno unido al carbono con doble enlace, y en valores de 5.4 ppm aparece otro pico que podría ser el grupo NH_2 de la acrilamida. De 0 a 3 hay una serie de picos muy altos que son el enlace C-H de las grasas. El espectro RMN que marca la literatura nos indica que hay una desviación en los valores a los que aparecen estos picos, ya que el NH_2 para la sustancia pura aparece en 6 ppm y los hidrógenos de los carbonos con doble enlace aparecen en 5.71 ppm, 6.17 y 6.48 ppm.

En la figura 12 se puede observar el espectro esperado para la acrilamida en RMN de carbono 13; y para la fracción cuatro se realizó esta misma resonancia (ANEXO 5), observando que ya es más específica la evidencia de la acrilamida. Teóricamente se esperan 3 picos para la sustancia pura, uno a 170 ppm que corresponde al grupo carbonilo $\text{C}=\text{O}$, y otros dos a 131 y 129 ppm que corresponden a los carbonos de doble enlace, en nuestros resultados, podemos observar que se encuentran esos picos, pero un poco desplazados hacia la izquierda, apareciendo el primer pico a 180 ppm y los otros dos a 130 y 129 ppm.

Se dedujo que este desplazamiento era provocado por la presencia de grasas, por lo que se optó por la utilización de Discos de Extracción C18/20 para análisis ambientales, sus características se presentan en el ANEXO 6. Estos discos fueron colocados en un equipo de ultrafiltración, con la finalidad de eliminar la presencia de grasas de las fracciones tomadas de la columna de sílica-gel, para que los resultados tanto cuantitativos como cualitativos fueran los más satisfactorios.

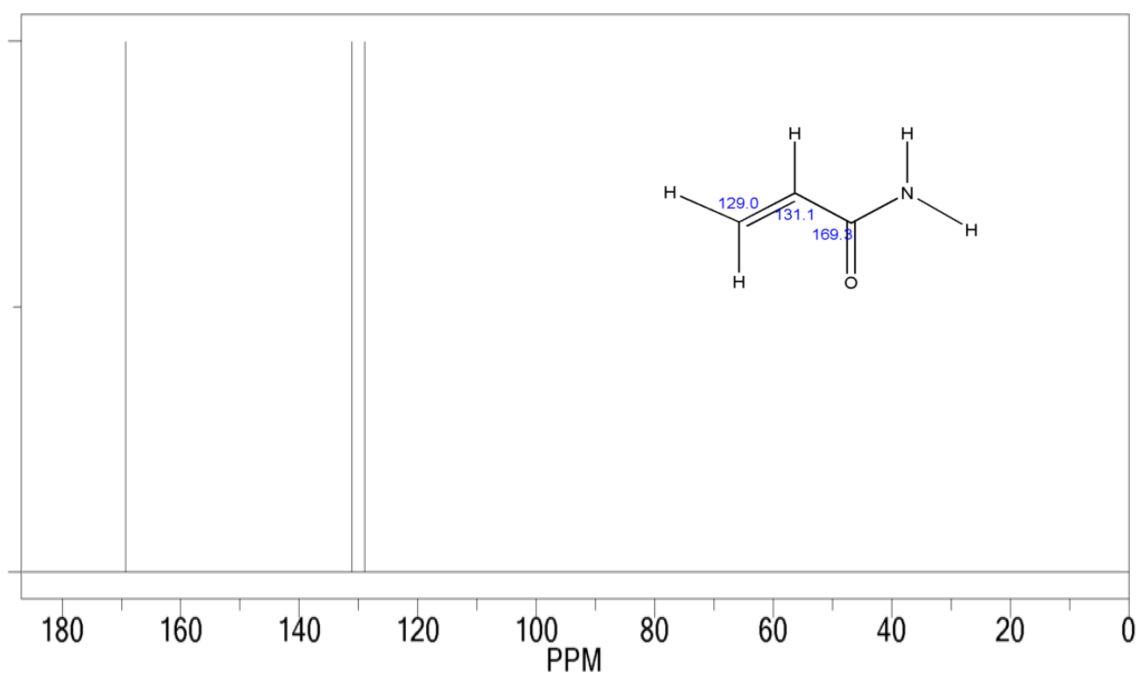


Figura 12. Espectro en RMN de Carbono 13 para acrilamida pura.

Ya establecido el método de extracción, se llevó a cabo el análisis cualitativo de los tratamientos BL al 25%, 50% y 75% a los 49 días (precomposteo), con la finalidad de conocer en qué fracción del extracto se encontraba la acrilamida y realizar de una forma más rápida el proceso de fraccionamiento en la columna de sílica-gel para los análisis posteriores.

Los resultados obtenidos (ANEXO 7), mostraron que la acrilamida solo se encontraba en la fracción 2 del tratamiento BL 50%, dato que fue utilizado para extraer solo la fracción 2 de todos los tratamientos que terminaron a la semana número 43 para el análisis cuantitativo. También se puede observar en este espectro la disminución de la cantidad de picos correspondientes a los enlaces C – H de las grasas, con esto comprobamos la factibilidad del uso de los Discos de Extracción C18/20.

Para el análisis cuantitativo tanto del biosólido como de los tratamientos, se ocupó el equipo de Cromatografía de líquidos de alta eficiencia (HPLC), para ello se

tuvo que realizar una estandarización del equipo, realizando un barrido espectrofotométrico (ANEXO 8) para saber en que absorbancia se trabajaría, además de la realización de una curva tipo (ANEXO 9 Y 10) para establecer el tiempo de retención de la acrilamida en el equipo HPLC, y con esta misma conocer la concentración del monómero en el biosólido y en cada tratamiento. Los parámetros establecidos para el análisis cuantitativo se muestran en la Tabla 17.

Tabla 15
Parámetros de trabajo establecidos para el HPLC.

PARAMETRO	VALOR
LONGITUD DE ONDA	225 nm
TIEMPO DE RETENCIÓN	1.73 min
Columna	C 18
Velocidad de flujo	1 μ L/min

Para conocer la cantidad recuperada de acrilamida, se realizaron diferentes mediciones, entre ellas analizar la concentración de acrilamida adsorbida en el filtro utilizado para eliminar grasas remanentes. Se encontró que se retenía una concentración de 5.16 ppm de acrilamida en promedio, por lo tanto se tomo este valor como factor de corrección para todos los análisis llevados a cabo.

La cantidad de acrilamida encontrada en el biosólido antes de llevar a cabo el tratamiento fue de 16.35 ppm, tomando en cuenta, que para la extracción en Soxhlet se ocupó 10g de muestra seca; por lo tanto la cantidad de acrilamida en biosólido fue de 1635 mg/kg biosólido seco, este resultado se comparó con los obtenidos al final de cada tratamiento, los cromatogramas pueden consultarse en el ANEXO 11.

En la figura 13 se resumen los resultados obtenidos y como se puede observar, los tratamientos BEL, BEL 25%, BEL 50% y BEL 75% existe un aumento en la concentración de acrilamida casi 3 veces mayor a la encontrada en el biosólido antes de ser tratado, por lo que se deduce que la acrilamida fue degradada a acrilamida. Por tanto el tratamiento de bioaumentación combinado con el de bioestimulación son factibles para la degradación de la poliacrilamida, sin embargo no podemos decir aún si el monómero residual (acrilamida) puede ser degradado por las lombrices y los microorganismos.

Por otra parte, en la concentración de acrilamida en el biosólido y los tratamientos BL 25%, BL 50% y BL 75%, no existe alguna diferencia significativa, por lo que se puede deducir que las cadenas de poliacrilamida no fueron fracturadas y por lo tanto estas concentraciones son similares a la encontrada en el biosólido antes de ser tratado, o bien, que las lombrices degradaron a la poliacrilamida y su monómero, esto lo decimos porque en el tratamiento control, el cual es similar a los tratamientos BL al 25%, 50% y 75%, con la diferencia de que a este no se le añadió residuos de fruta, y en él existe un aumento de casi 4 veces más que la concentración inicial.

Pero también podemos decir que si en los tratamientos en los que se le agregó residuos de fruta, y en ellos no hay cambio significativo en la concentración de

acrilamida, tal vez sea porque las lombrices no utilizaron al polímero como sustrato secundario para su desarrollo. En cambio, si observamos a los tratamientos que contenían estiércol, posiblemente existió una competencia por nutrientes entre microorganismos y las lombrices contenidas en los tratamientos, por lo cual se vieron obligados ambos organismos a utilizar al polímero como sustrato para su desarrollo. Lo anterior es una suposición ya que esta se tendrá que realizar análisis posteriores del tracto digestivo de la lombriz para saber si absorbió la acrilamida y si es capaz de degradarla.

Por otra parte, es importante mencionar que si se planea emplear al producto del proceso de vermicomposteo como fertilizante, será solo para plantas de ornato o jardines, ya que por el contenido de acrilamida podría ser dañino a la salud si se utiliza para cultivos de consumo humano o de ganado. Sin embargo se sugiere que se realice un estudio para comprobar si la acrilamida es degradada en las condiciones de los tratamientos BL 25%, BL 50% y BL 75%, o bien, si tanto el polímero como el monómero se quedan en las lombrices.

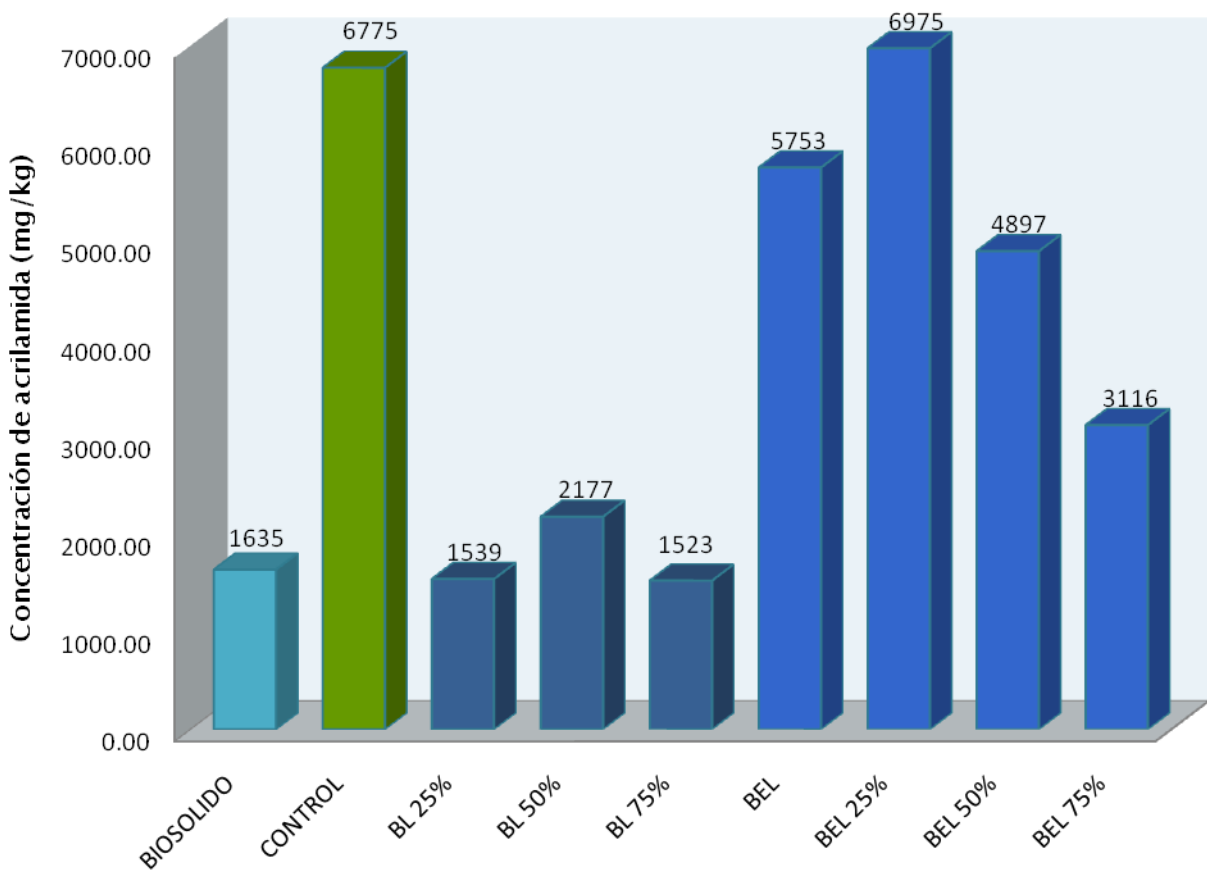


Figura 13. Concentración de acrilamida en mg por kg de suelo, en los tratamientos del biosólido y en el biosólido control.

8. CONCLUSIONES

- ✓ La presencia de acrilamida y el incremento en su concentración en la vermicomposta demostró la degradación de poliacrilamida y no hubo cambio en el valor de pH.
- ✓ La acrilamida y poliacrilamida no causaron efectos negativos en la lombriz (la sobrevivencia fue del 100%).
- ✓ El biosólido tratado queda con una consistencia café parecida al humus (suelo rico en nutrientes), y sin la presencia de olores fétidos. Por lo tanto se podría recomendar este proceso para tratar los lodos residuales de Reciclagua.
- ✓ El mejor proceso para degradar poliacrilamida fue BEL 25% y BEL
- ✓ No existe inhibición de microorganismos nitrificantes por la presencia de la poliacrilamida o acrilamida, ya que el contenido de nitratos fue en aumento durante el proceso.
- ✓ No existieron variaciones en el valor del pH, manteniéndose este parámetro en valores neutros.
- ✓ La poliacrilamida y acrilamida no resultó tóxica para las lombrices.

9. PERSPECTIVAS DE TRABAJOS FUTUROS

Es necesario un estudio del efecto de la acrilamida y poliacrilamida en los ciclos biogeoquímicos del suelo.

Falta por evaluar los productos de degradación de la acrilamida y la concentración de acrilamida y poliacrilamida que se queda en el tracto digestivo de la lombriz.

Sería conveniente conocer por medio de técnicas moleculares las poblaciones microbianas que existen en el tracto digestivo de la lombriz y el efecto en la degradación de la acrilamida.

10. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

1. Winkler, M., 1995, "Tratamiento biológico de aguas de desecho", Ed. Limusa, México, pp 15 – 20, 116 – 118, 124, 310 – 315.
2. Departamento de sanidad del Estado de Nueva York, 2005, "Manual de tratamiento de aguas residuales", Ed. Limusa, México, pp 44, 115 – 145.
3. Jiménez, B., 2001, "Contaminación Ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada", Ed. Limusa, México, pp 256 – 257, 384 – 307.
4. Atlas, R., Batha R., 2005, "Ecología microbiana y ecología ambiental", 4° edición. Ed. Prentice Hall, Madrid, pp 466 – 473.
5. Eweis J., Ergas S., Chang D., Schroeder E., 1999, "Principios de biorrecuperación", Ed. Mc Graw Hill, Madrid, pp 201 – 215.
6. Glynn, H., Heinke, G., 1999, "Ingeniería Ambiental", 2° edición. Ed. Prentice Hall, México, pp 395 – 399, 457, 474 – 481.
7. Ureta Barrón E., 1975, "Polímeros", Ed. EDICOL, México, pp 7 – 25.
8. Uribe Velasco M., 1986, "Los polímeros, síntesis y caracterización", 1° reimpresión, Ed. Limusa, México, pp. 149 – 170.
9. Uribe Velasco M. y Pierre Y., 1996, "Los polímeros, síntesis, caracterización, degradación y reología", 1° edición. Ed. I. P. N., México, pp. 139 – 150, 239 – 260.
10. L. G. Wade Jr., 2004, "Química Orgánica", 5° edición. Ed. Prentice Hall, Madrid, pp 1182 – 1198.
11. Odian G., 2004, "Principles of Polymerization", 4° edición. Ed. Wiley – Interscience, E. U. A., pp 450 – 451.
12. Billmeyer 1962, "Textbook of polymer science", 2° edición. Ed. Wiley – Interscience, E. U. A., pág. 413 y 363.

13. Henry Lee, 1967, "New Linear Polymers" Ed. McGraw Hill, E. U. A., pág 7.
14. Harris D., 2001, "Análisis Químico Cuantitativo", 2º edición. Ed. I Reverté S. A., Barcelona, pp 692 – 705.

NORMAS

15. NORMA Oficial Mexicana NOM – 004 – SEMARNAT – 2002, Protección Ambiental, Lodos y Biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.
16. NORMA Oficial Mexicana NOM – 021 – RECNAT - 2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.
17. PROY-NMX-AA-135-SCFI-2006, POTABILIZACIÓN DEL AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO – POLIACRILAMIDAS – ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA.
18. Rule 503 – EPA. (CILA-EPA. 1998).

REVISTAS

19. United States Office of Water EPA 815-F-00-007 Environmental Protection Washington, D.C. Abril de 2000.
20. United States Office of Water EPA 832-F-00-064 Environmental Protection Washington, D.C. Septiembre de 2000.
21. Agency "Folleto informativo de tecnología de biosólidos, aplicación de biosólidos al terreno" United States Office of Water EPA 832-F-00-067 Environmental Protection Washington, D.C. Septiembre de 2000.
22. Agency "Folleto informativo del manejo de biosólidos y residuos. Control de olores en el manejo de biosólidos" Office of Water EPA 832-F-00-067 Environmental Protection Washington, D.C. Septiembre de 2000.

23. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica. Volumen 1, Número 1, Año 2006.
24. Revista Toxicología 24, 1-9 (2007). "La acrilamida, Contaminante químico de procesado: Revisión" Aut. Navarro I. M., Navarro C., Gutiérrez A.J., Cameán A. M. y Hardisson A.
25. IPCS Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas
26. Ecotoxicology and Environmental Safety 35, 121 – 135 (1996). Artículo No. 0091 "Environmental Degradation of Polyacrilamides. 1. Effects of Artificial Environmental Conditions: Temperature, Light and pH". Aut. Smith A., Pries S., y Oehme F.
27. Ecotoxicology and environmental safety 37, 76 – 91 (1997). Artículo No. ES971527 "Environmental Degradation of Polyacrilamides". Aut. Smith A., Pries S., y Oehme F.
28. ELSEVIER, International Biodeterioration & Biodegradation 60, 69 – 73 (2007). "Biodegradation of acrylamide employing free and immobilized cells of *Pseudomonas aeruginosa*" Aut. Satesh C. y Thatheyus A.

PÁGINAS ELECTRÓNICAS

29. www.epa.gov/safewater/agua/estandares.html
30. www.segulab.com/acrilamida.htm
31. www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol18num2.htm
32. www.puc.cl/quimica/agua/potabiliz.htm
33. www.manualdelombricultura.com/manual.html
34. www.uam.es/departamentos/ciencias/qorg/docencia_red/I21/proton.html
35. www.mtas.es/insht/ipcsnspn/nspn0091.htm

ANEXO 1.
Propiedades y características de la Poliacrilamida [24]

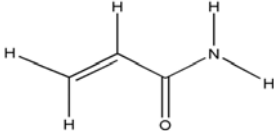
IDENTIFICACION QUÍMICA	
TIPOS	<p>A) Poliacrilamidas aniónicas: son manufacturadas partiendo de monómero de acrilamida y de un monómero aniónico, siendo los más comunes el acrilato de sodio y el acrilato de amonio.</p> <p>B) Poliacrilamidas no iónicas: se preparan partiendo del monómero de acrilamida. Generalmente tienen una ligera carga aniónica debido a su tendencia a hidrolizarse durante la polimerización, por lo que varían en esta débil carga aniónica y en su grado de polimerización.</p> <p>C) Poliacrilamidas catiónicas: se producen por la copolimerización de monómero de acrilamida y un monómero acrílico catiónico. Varían con respecto a su relación de unidades de monómero no iónico (acrilamida) a grupos de monómero catiónico, así como en su grado de polimerización, mismo que determina su masa molecular relativa.</p>
NOMBRE QUÍMICO	<p>A) Copolímero de acrilamida y sal ácida de acrílico, homopolímero de acrilamida.</p> <p>B) Copolímero de acrilamida y sal ácida de acrílico, homopolímero de acrilamida.</p> <p>C) Copolímero de acrilamida y amino éster, copolímero de acrilamida y amida.</p>
NOMBRES COMUNES	<p>A) Poliacrilamida aniónica.</p> <p>B) Poliacrilamida no iónica.</p> <p>C) Poliacrilamida catiónica.</p>
FORMULA QUÍMICA	<p>A) Poliacrilamida aniónica.</p> $-(\text{C}_3\text{H}_5\text{NO})_x - (\text{C}_3\text{H}_3\text{O}_2\text{Na})_y -$ <p>Donde: x, y son variables dependiendo del producto.</p> <p>B) Poliacrilamida no iónica.</p> $-(\text{C}_3\text{H}_5\text{NO})_x -$ <p>Donde: x es variable dependiendo del producto.</p> <p>C) Poliacrilamida catiónica.</p> $-(\text{C}_3\text{H}_5\text{NO})_x - (\text{C}_a\text{H}_b\text{N}_c\text{O}_d\text{Cl})_y -$ <p>Donde: a, b, c, d son variables dependiendo del monómero catiónico x, y son variables dependiendo del producto.</p>

MASA MOLECULAR	Típicamente en el rango de 1 millón a 20 millones	
NÚMERO DE REGISTRO DEL CAS*	25085-02-3; 9003-05-8; AWWA la menciona como acrilamida no indica carga 9003-04-7.	
PROPIEDADES FÍSICAS	Densidad aparente	Típicamente de 0,5 - 0,8 g/cm a 20°C.
	Solubilidad en agua	Producto soluble en agua fría. Su solubilidad está limitada sólo por viscosidad, la concentración típica de trabajo es de 1 g/L.
PROPIEDADES QUÍMICAS	Las poliacrilamidas catiónicas, aniónicas y no iónicas son materiales no peligrosos sin reactividad intrínseca. Sin embargo, al igual que muchos otros compuestos orgánicos, puede reaccionar de manera fuerte y exotérmica si se pone en contacto con un ácido o agente oxidante fuerte.	
ESPECIFICACIONES		
APARIENCIA	Sólido blanco o blanquecino en forma de gránulos, hojuelas o polvo. Al examen visual, las poliacrilamidas no deben presentar materiales extraños.	
TAMAÑO DE PARTÍCULA	El 98% de lo gránulos deberá pasar a través de la malla 10 (2mm), no más del 10% deberá pasar a través de la malla 100 (0.150mm).	
CONCENTRACIÓN DEL INGREDIENTE ACTIVO	La concentración mínima del ingrediente activo es de 86 %.	
PH	El pH para soluciones de poliacrilamidas con concentración de 5 g/L: Catiónicas 2,50 a 4,50 Aniónicas 4,00 a 9,00 No iónicas 4,00 a 6,00	
IMPUREZAS (DETERMINACIÓN DE MONÓMERO RESIDUAL DE POLIACRILAMIDA CATIÓNICA, ANIÓNICA Y NO IÓNICA)	Los productos no deben contener mas de 250 mg de monómero de acrilamida por Kg de producto	

* **CAS:** (Siglas en inglés del Chemical Abstracts Service). Organismo que elabora bases de datos de compuestos químicos.

ANEXO 2.

Propiedades Físicoquímicas de la Acrilamida ^[30]

IDENTIFICACIÓN QUÍMICA		
PRODUCTO QUÍMICO	SINÓNIMOS	FÓRMULA ESTRUCTURAL
ACRILAMIDA	Amida acrílica Etilencarboxamida Propenamida 2-propenamida Vinilamida	
PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS		
COLOR/FORMA	Cristales tipo escama en benceno; sólido cristalino de color blanco; cristales laminares en benceno.	
P. e. (°C)	125	
P. f. (°C)	84,5	
PM (g/mol)	71,08	
Solubilidad en agua	Muy soluble	
Densidad relativa	1, 122	
Densidad de vapor relativa	2, 45	
Presión vapor	1 Pa	
RIESGOS QUÍMICOS		
<ul style="list-style-type: none"> • Se polimeriza violentamente al calentarse o por influencia de la luz. • Se descompone al calentarse liberando gases tóxicos (óxidos nitrosos). • Reacciona violentamente con los oxidantes 		

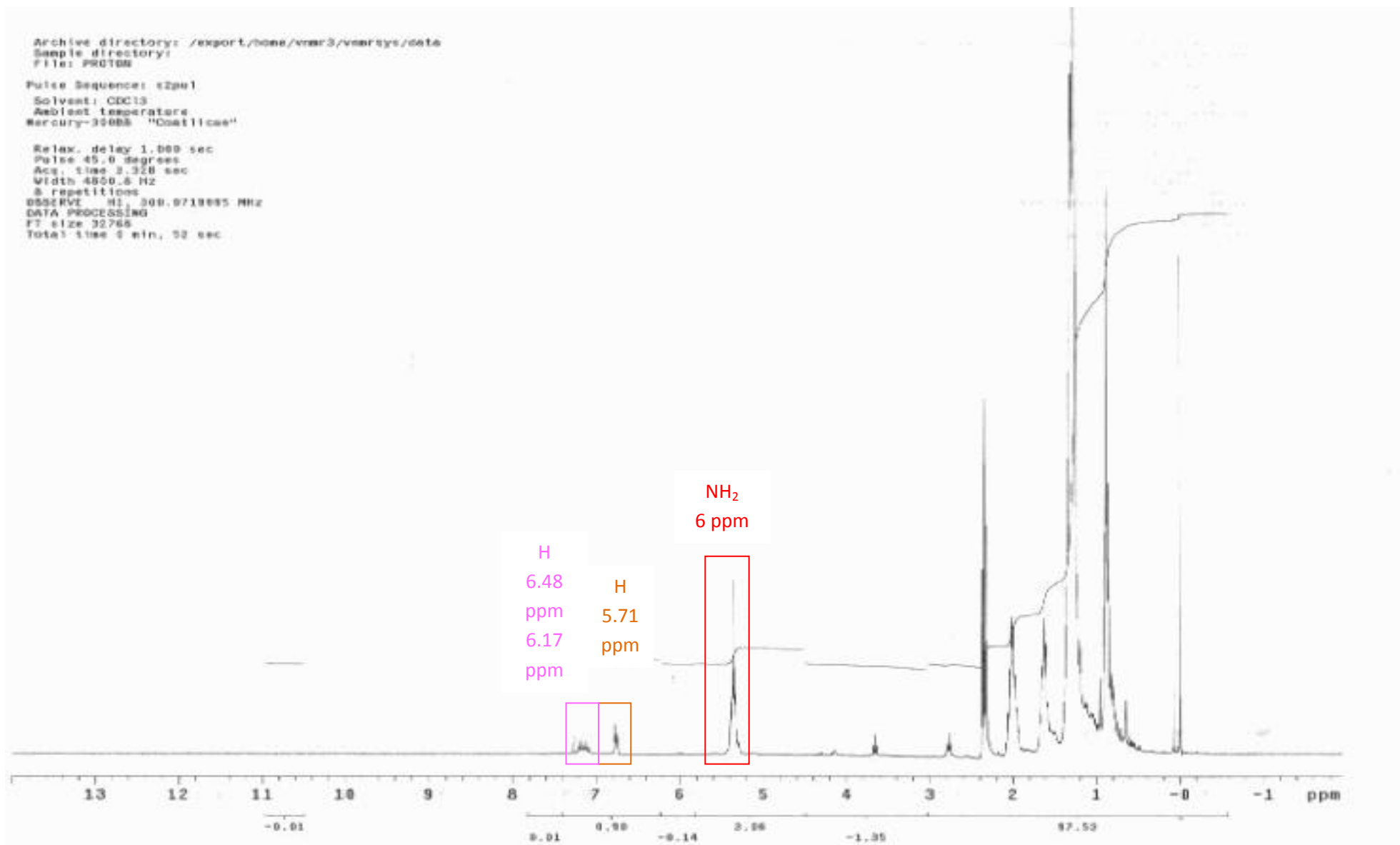
ANEXO 3.

Riesgos para la salud por exposición de acrilamida. ^[30]

RIESGOS PARA LA SALUD					
Tarjetas internacionales sobre la Seguridad de los Productos Químicos (E.E.U.U.)					
PERIODO CORTO DE EXPOSICIÓN	PERÍODO LARGO DE EXPOSICIÓN	VÍAS DE EXPOSICIÓN	SÍNTOMAS	ORGANOS AFECTADOS VÍAS DE ENTRADA	SÍNTOMAS
Piel Tracto respiratorio SNC Hígado	SNP SNC	Inhalación	Tos, dolor de garganta, debilidad	SNC, SNP; piel; ojos, sistema reproductor en animales: tumores en pulmones, testículos, tiroides y glándulas suprarrenales.	Irritación de ojos y piel; ataxia, entumecimiento de las extremidades, pares; debilidad muscular; ausencia de reflejos tendinosos profundos; sudoración de las manos; fatiga.
		Piel	Puede absorberse, enrojecimiento, dolor		
		Ojos	Enrojecimiento, dolor		
		Ingestión	Dolor abdominal, debilidad		

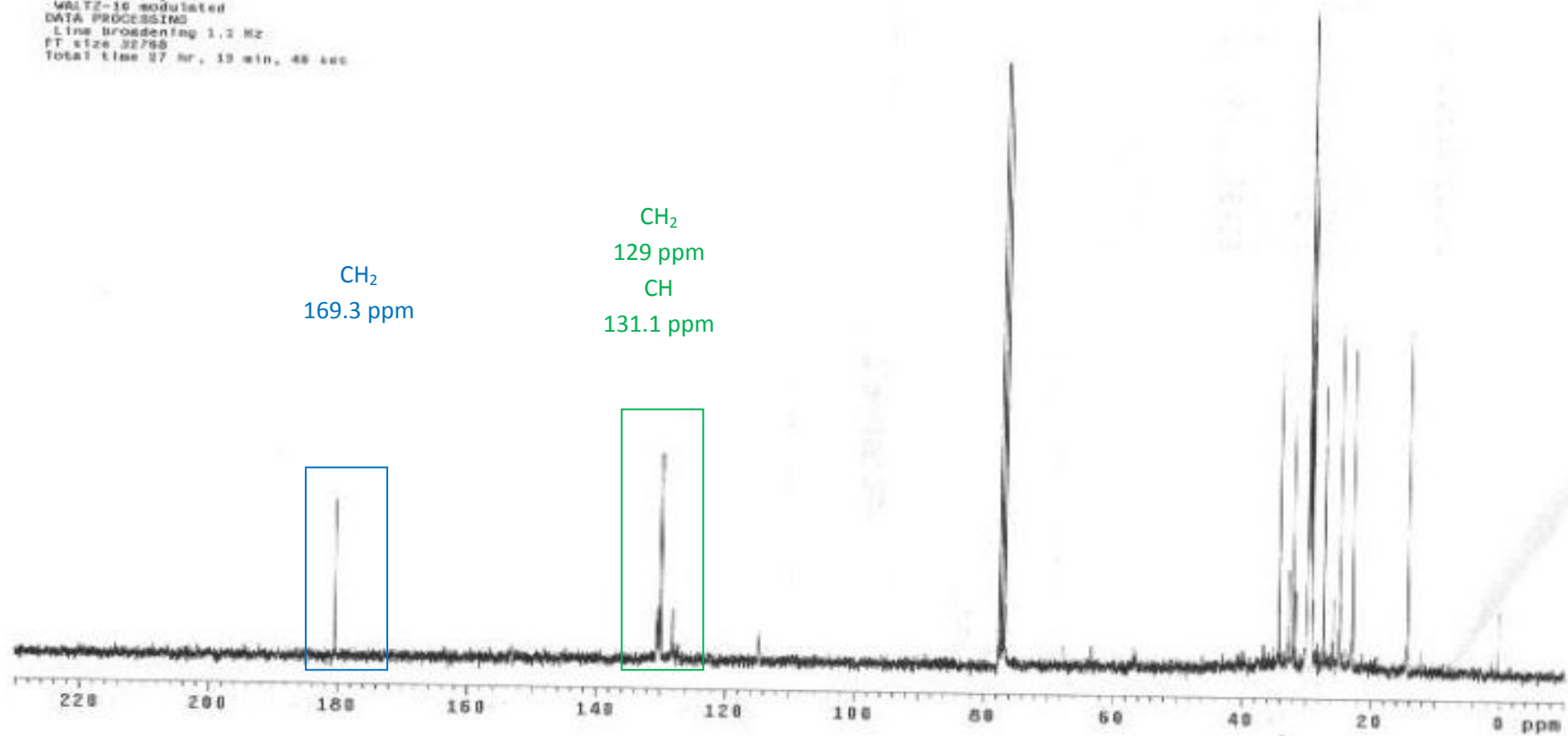
ANEXO 4.

Espectro en RMN de Hidrógeno del Biosólido



ANEXO 5.
Espectro de RMN en C 13 del Biosólido

13C OBSERVE
Pulse Sequence: zgpg30
Solvent: CDCl3
Ambient Temperature
Mercury-20085 "Coastline"
Relax. delay 1.617 sec
Pulse 20.0 degrees
Acq. time 0.083 sec
Width 18181.0 Hz
704 repetitions
OBSERVE C12: 75.4531465 MHz
DECOUPLE H1: 300.0734551 MHz
Power 33 dB
continuously on
WALTZ-16 modulated
DATA PROCESSING
Line Broadening 1.3 Hz
FT size 32768
Total time 27 hr, 15 min, 48 sec



ANEXO 6.
 CARACTERÍSTICAS DE LOS DISCOS DE EXTRACCIÓN C18/20
 PARA ANÁLISIS AMBIENTAL

Sorbent Information for C18, C18FF, C8

Bonded silica sorbents are commonly used for the solid phase extraction of analytes from complex sample matrices. A variety of functional groups, such as octadecyl (C18) and octyl (C8) can be bonded to the silica surface to provide non polar interactions. Each of these sorbents exhibits unique properties of retention and selectivity for a particular analyte. The choice of which sorbent is best for a particular method will be influenced by the percent recovery of analyte from the sample matrix and the cleanliness of the resulting chromatography.

Applications		
EPA Approved Methods	C18	C8
Safe Drinking Water Act	506, 508.1, 525.1, 525.2, 550.1, 1613B	549.1
Comprehensive and Environmental Response, Compensation, and Liability Act (CERCLA)	Quick Turnaround Method (QTM) for Organochlorine Pesticides and PCBs	
Clean Water Act	Method 608 Alternate Test Procedure 3M0222	
Clean Water Act - Effluent Guidelines for Pesticide Manufacturing	507, 508, 525.2, 608	
Resource Conservation Recovery Act (RCRA)	8061(2nd update), 8081 (3rd update)	

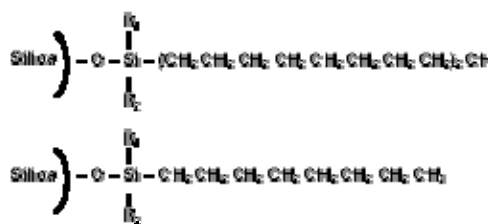
Sorbent Characteristics			
	C18	C18FF	C8
Bonded Functional Group	Octadecyl	Octadecyl	Octyl
Retention Mechanism	Strongly non polar	Strongly non polar	Moderately non polar
Endcapped	Yes	Yes	Yes
Percent Carbon (avg.)	22.5	22.5	15.5
Pore Size (avg.)	60 Å	60 Å	60 Å
Average particle size	12 µm	45 µm	12 µm

Product Usage

The versatile Empore™ C18 and C8 products are effective for extracting semi-volatile and nonvolatile organic compounds.

- Approved for use with numerous EPA Methods.
- Empore™ Extraction Disks reduce pollution by reducing the solvent usage.

Chemical Structure



Sorbent Information for Oil and Grease

The Oil & Grease Disk was specifically designed for EPA Method 1664 (N-Hexane Extractable Materials (HEM) and Silica Gel Treated N-Hexane Extractable Material (SGT-HEM) by Extraction and Gravimetry). EPA Method 1664 Revision A was approved for use in the United States and published in the Federal Register on May 14, 1999.

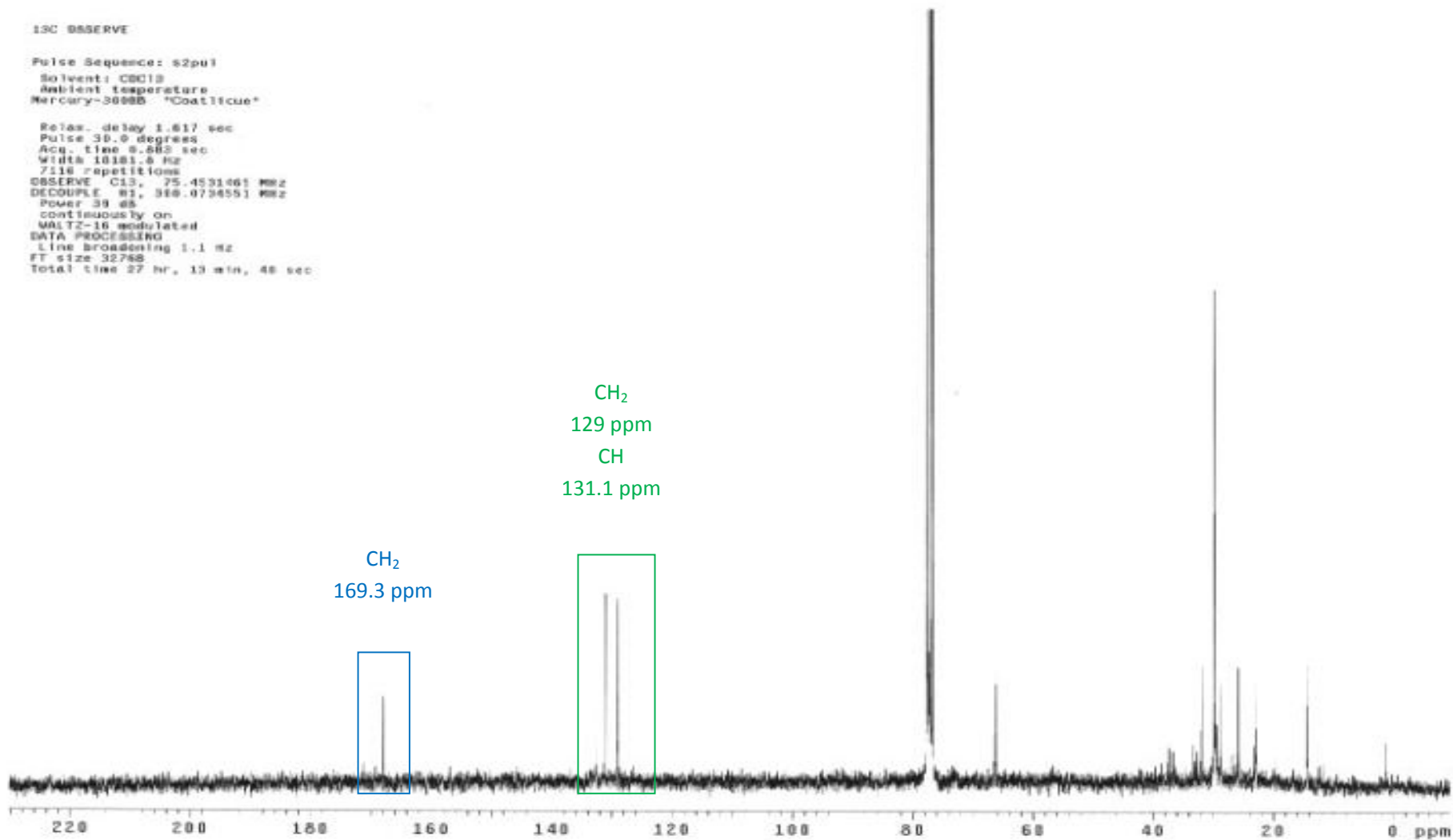
The Oil & Grease Disk incorporates C18 sorbent particles within a hydrophobic matrix. For EPA Method 1664, C18 extractable materials are collected from waste water. These materials are eluted from the disk using hexane.



Figura 14. Empore 3M Discos de Extracción

ANEXO 7.

Espectro en RMN de C13 para la Fracción 2 del Tratamiento BL 50% a los 49 días.



ANEXO 8.

Barrido espectrofotométrico para establecer la absorbancia utilizada en el HPLC



200.0 250.0 300.0 350.0 400.0 450.0 500.0 550.0 600.0 650.0 700.0 750.0 800.0 850.0

eq3
BLANCO.UVD: eq3
Date: 01/31/08 Time: 10:44:20
Type: Dispersive User: upibi
Abscissa: nm Ordinate: Abs Slit: 1.5
Min: 189.17 Max: 900.00 Range: nm
Ndp: 834 Data Interval: 0.85333
Speed: 2000.0

ANEXO 9.

Determinación del tiempo de retención de la acrilamida empleado en el HPLC

TotalChrom Method File C:\TotalChrom\metodos\ACRILAMIDA.mth <Modified>

Printed by : CIEMAD on: 05/03/2008 9:35:22
Created by : CIEMAD on: 05/03/2008 9:23:11
Edited by : CIEMAD on: 05/03/2008 9:35:22
Number of Times Edited : 5
Number of Times Calibrated : 1
Description: ATRAZINA EN SUELO

Global Sample Information

Default Sample Volume : 1,000 ul
Quantitation Units : ng
Void Time : 0,000 min
Correct amounts during calibration : No
Convert unknowns to concentration units : Yes
Reject outliers during calibration : No

An External Standard calibration will be used
Unknown peaks will be quantitated using a response factor of 1,000000e+06
First peak will be relative retention reference

Component Information

ACRILAMIDA

Component Type : Single Peak Component

Retention Time : 1,730 min

Search Window : 0,00 s, 3,00 %

This component is a reference

Find peak closest to expected RT in window

Calibrating Area versus Amount using a 1st Order Fit

Curve will include the origin

Amounts will not be scaled prior to the regression

Weighting factor for the regression: 1

Component standard purity percentage : 100,0000%

User Values

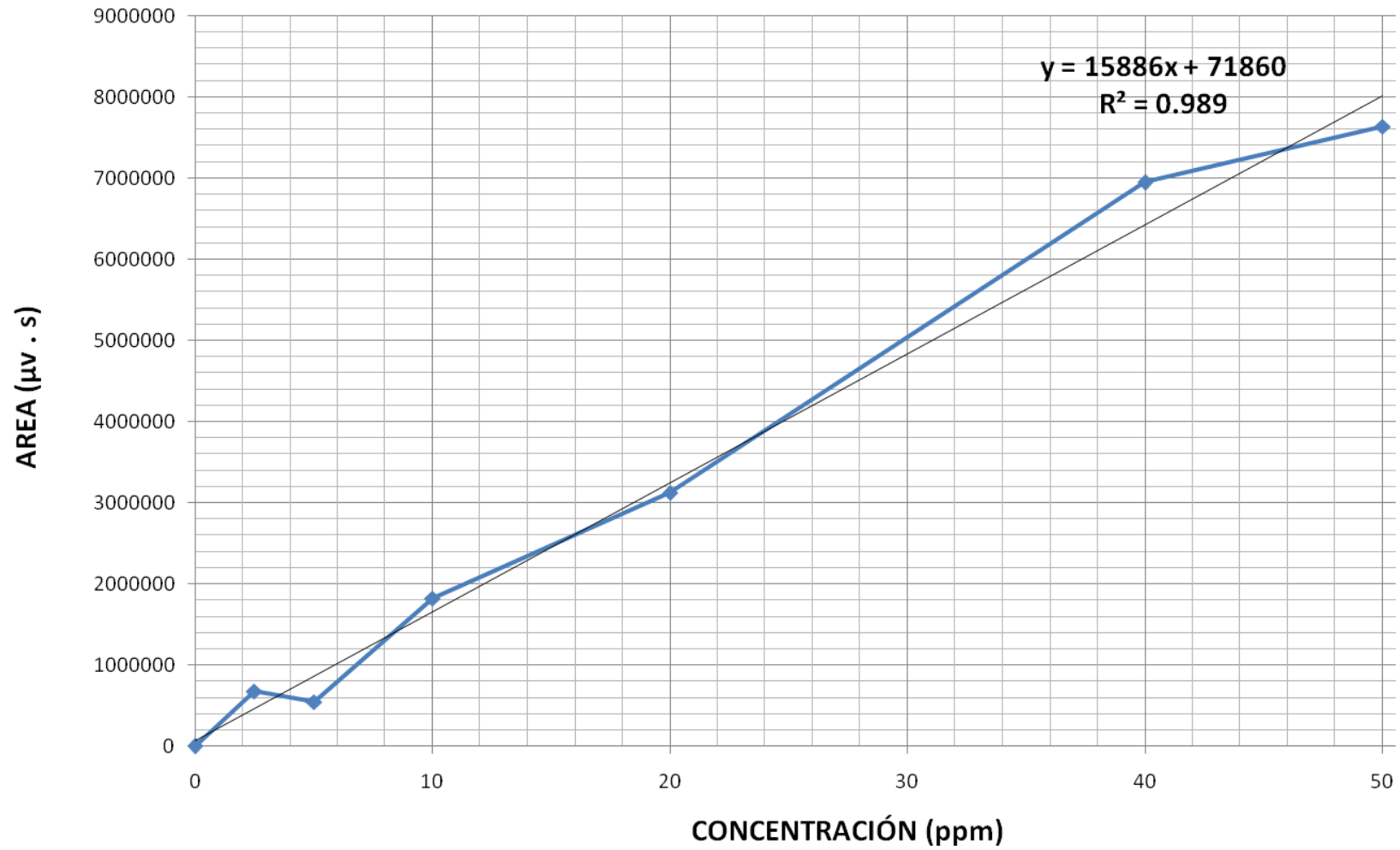
Label :
Value 1 : 0,000000
Value 2 : 0,000000
Value 3 : 0,000000
Value 4 : 0,000000
Value 5 : 0,000000

Calibration Level

Level Name	Amount	Area	Height	ISTD Amt.	ISTD Resp.	# Replicates
1	2,5000	679263,10	37077,45	-----	-----	1
2	5,0000	546064,10	33338,52	-----	-----	1
3	10,0000	1822995,70	228572,30	-----	-----	1
4	20,0000	3125948,79	408946,42	-----	-----	1
5	40,0000	6947738,88	911949,86	-----	-----	1
6	50,0000	7636583,86	951915,25	-----	-----	1

ANEXO 10.

Curva Tipo para la determinación de la concentración de acrilamida en el biosólido y los tratamientos.



BIOESTIMULACIÓN PARA ELIMINAR POLIACRILAMIDA DE BIOSÓLIDOS INDUSTRIALES Y TOXICIDAD DE SUBPRODUCTOS

Lizzeth Olascoaga Guerrero, Efrén García Báez, Ma. Eugenia Gutiérrez Castillo, M. Olivia Franco Hernández*.

*Departamento de Química. UPIBI-IPN. Av. Acueducto S/N Col. La Laguna Ticomán. CP 07340. Email: ofranco@upibi.ipn.mx

Palabras clave: *Biosólido, Biorremediación, Poli(ac)rilamida, Acrilamida.*

Introducción. Todos los procesos de tratamiento de aguas residuales producen lodos, algunos son estabilizados con poli(ac)rilamida. L

a utilización de este polímero tiene aspectos negativos, ya que la degradación de los biosólidos en suelo es casi nula, y por otra parte se llega a generar acrilamida, monómero residual que es tóxico y cancerígeno para la salud humana. En la planta de tratamiento de aguas residuales "Reciclagua Ambiental S. A. de C. V.", se usa poli(ac)rilamida para estabilizar los lodos y posteriormente los incineran, por otra parte tienen una cantidad de biosólidos acumulada de aproximadamente 50,000 ton, con una antigüedad de más de 13 años, a los cuales se les quiere dar un tratamiento, con la finalidad de que tengan una disposición final adecuada y no representen un foco de infección.

El objetivo de este proyecto es la degradación completa de la poli(ac)rilamida, contenida en biosólidos industriales mediante un método de bioaumentación y bioestimulación llevados a cabo en un proceso de vermicomposteo, para su posterior utilización como fertilizante, monitoreando la degradación de la poli(ac)rilamida y sus productos al final de cada proceso.

Metodología. Los biosólidos se recolectaron en Reciclagua, Lerma Edo. de México y se realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica. Se realizaron 8 pilas de biosólidos para precomposteo con diferentes tratamientos de los cuales 4 incluían la adición de estiércol de vaca; una vez disminuida la temperatura se adicionaron las lombrices, y se sometió al proceso de vermicomposteo con temperatura estable. Se mantuvieron durante 43 semanas con 80% de humedad los 8 tratamientos: Control (L = lombriz); Biosólido + L; Biosólido + Estiércol + L (BEL); Biosólido + Estiércol + 25% Materia Orgánica + L (BEL 25%); Biosólido + Estiércol + 50% Materia Orgánica + L (BEL 50%); Biosólido + Estiércol + 75% Materia Orgánica + L (BEL 75%); Biosólido + 25% Materia Orgánica + L (BL 25%); Biosólido + 50% Materia Orgánica + L (BL 50%); Biosólido + 75% Materia Orgánica + L (BL 75%). Los análisis fisicoquímicos fueron de acuerdo a la NOM 021¹. Todos los tratamientos se dejaron incubar 49 días en condiciones ambientales. La identificación de acrilamida se realizó por RMN y se cuantificó por HPLC, con metanol como disolvente.

Resultados y discusión. La cantidad de acrilamida en biosólido fue de 1635 mg/kg suelo seco, este resultado se comparó con los obtenidos al final de cada tratamiento, Figura 1. Observando que en los tratamientos BEL, BEL 25%, BEL 50% y BEL 75% existe un aumento en la concentración de acrilamida casi 3 veces mayor a la encontrada en el biosólido antes de ser tratado, por lo que deducimos que el método de bioaumentación combinado con el de bioestimulación son factibles para la degradación de la poli(ac)rilamida. Por otra parte, en la concentración de acrilamida en el biosólido y los tratamientos BL 25%, BL 50% y BL 75%, no existe alguna diferencia significativa, por lo que se puede deducir que las cadenas de poli(ac)rilamida no fueron fracturadas y por lo tanto estas concentraciones son similares a la encontrada en el biosólido antes

de ser tratado, o bien, que las lombrices degradaron a la poli(ac)rilamida y acrilamida, esto lo decimos porque en el tratamiento control, el cual es similar a los tratamientos BL al 25%, 50% y 75%, con la diferencia de que a estos no se adicionó residuos de fruta, y presentaron una concentración de acrilamida casi 4 veces mayor. Sin embargo, podemos decir que si en los tratamientos en los que se le agregó residuos de fruta, no hay cambio significativo en la concentración de acrilamida, tal vez sea porque las lombrices no utilizaron al polímero como sustrato secundario para su desarrollo. En los tratamientos que contenían estiércol, posiblemente existió una competencia por nutrientes entre microorganismos y las lombrices contenidas en los tratamientos, por lo cual se vieron obligados ambos organismos a utilizar al polímero como sustrato para su desarrollo. Por otra parte, los microorganismos nitrificantes no se ven inhibidos por el contenido de poli(ac)rilamida o acrilamida, debido al aumento paulatino de nitratos en cada tratamiento.

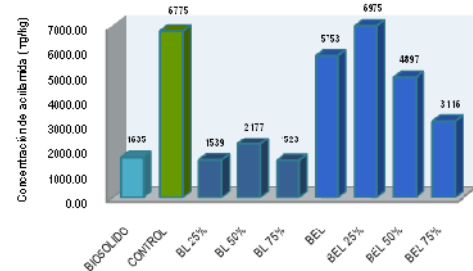


Figura 1. Concentración de acrilamida contenida en el biosólido antes de ser tratado y al término de cada uno de los tratamientos.

Conclusiones y perspectivas.

La acrilamida y poli(ac)rilamida no causaron efectos negativos en la lombriz (la sobrevivencia fue del 100%).

El biosólido tratado queda con una consistencia café parecida al humus (suelo rico en nutrientes), y sin la presencia de olores fétidos.

El mejor proceso para degradar poli(ac)rilamida fue BEL 25% y BEL

Agradecimientos. Dr. Efrén García Báez y Dra. Ma. Eugenia Gutiérrez Castillo del CIEMAD, por el préstamo de instalaciones y equipo.

Referencias.

1. Smith A., Prues S., y Oehme F. 1996. Environmental Degradation of Polyacrylamides. 1. Effects of Artificial Environmental Conditions: Temperature, Light and pH. *EES*. 35. 121-135.
2. Eweis J., Ergas S., Chang D., Schroeder E. 1999. Principios de biorecuperación. Ed. Mc Graw Hill. Madrid. 201 – 215.
3. Uribe M. y Pierre Y. 1996. Los polímeros, síntesis, caracterización, degradación y reología. 1° edición. Ed. I. P. N. México. 139 – 150, 239 – 260.
4. Norma Oficial Mexicana NOM – 021 – RECNAT – 2000.