

LODOS RESIDUALES COMPOSTEADOS; UNA ALTERNATIVA DE SUSTRATO PARA LA PRODUCCIÓN DE PLANTA DE *Agave durangensis*

G. Montes-Rivera¹; H. Jiménez-Sánchez¹; S. Solís-González²

¹Instituto Tecnológico Agropecuario Núm. 1 de Durango, Villa Montemorelos, Durango, Durango.

²Instituto Tecnológico Forestal El Salto, P. N. Durango, Durango.

RESUMEN

El agua residual que genera la ciudad de Durango, es principalmente de origen doméstico con contaminantes orgánicos y sólidos, debido a la aportación de 490,524 habitantes. Este afluente genera diariamente 80,175 m³ de volumen total de azolve de las seis lagunas de aireación. Los programas de plantación forestal en Durango se han incrementado recientemente, con el fin de establecer la cubierta forestal en las áreas degradadas del bosque. La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) en Durango, produjo 12'910,410 plantas durante el año 2002 de las cuales 2'500.000 son *Agavaceas*. Esto implica el uso de grandes volúmenes de sustrato para producir las metas, lo cual eleva los costos de producción. Se propone que el lodo residual composteado sea una alternativa de sustrato, para disminuir su costo para la demanda de planta de *agave* que ha tomado gran auge por la denominación de origen NOM-070-SCF-1994 que ha adquirido el mezcal para el estado de Durango y para resolver el problema de azolve de las lagunas. En un experimento realizado al azar se aplicaron tres tratamientos, con tres repeticiones, Tratamiento I. Lodo fresco (40 kg); II. Lodo fresco (40 kg), 10 kg de alfalfa, 10 kg de paja de avena seca, 10 kg de estiércol fresco; III. suelo agrícola del Instituto Tecnológico Agropecuario Núm. 1 (ITA Núm. 1). Las variables a evaluar fueron: número de coliformes totales y fecales antes y después del composteo, caracterización físico-química, y contenido de los principales metales pesados. Obtenidos los datos se utilizó un paquete estadístico de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Nuevo León (FAUANL). Se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos, 600 NMP (número más probable) de coliformes fecales del tratamiento II después del composteo; valor bajo comparado con el de la norma para uso de servicio público con contacto indirecto (NOM 1987). Este resultado del tratamiento II demuestra la efectividad del composteo aplicado, dado que el lodo residual actuó como un inóculo más en la descomposición de la materia orgánica y en la destrucción de coliformes fecales. De acuerdo con los resultados del análisis físico químico de pH fue de 6.54 %, la fertilidad en el tratamiento II encuentra el mayor porcentaje de nitrógeno, 0.58 % y de materia orgánica 11.62 %. Las cantidades obtenidas de metales pesados en el tratamiento II, son significativamente menores que las del tratamiento I donde sólo son lodos residuales composteados. De acuerdo a la Agencia de Protección al Ambiente de los EE.UA. (EPA) son por debajo de los límites máximos permitidos.

PALABRAS CLAVE: azolve, análisis, físico-químico, lagunas de oxidación.

COMPOSTED RESIDUAL MUDS; AN ALTERNATIVE OF SUBSTRATE FOR *Agave durangensis* SEEDLINGS PRODUCTION

SUMMARY

Residual water that is generated in Durango City, is generated from domestic origin containing organic and solid pollutants, due to 490,524 citizens. This daily flow has generated the amount of 80,175 m³ as total volume of residual mud in six aeration lagoons. Forest planting programs in Durango have been increased lately with a main purpose; to recover the forest cover in the degraded areas in the forest. The National Forest Commission (CONAFOR) in Durango produced 12'910,410 plants during 2002, and 2'500,000 were *Agavaceas*. This involves the use of great amount of substrate to produce the goals; it increases the production costs. Residual mud are proposed to being as an alternative substrate, to reduce the cost for agaves plants demand, which it has increased due to the origin denomination NOM-070-SCF-1994, that has acquired the mescal drink in Durango, and to solve the residual mud problems in the residual lagoons. In an random design 3 treatment and 3 repetitions were tested: Treatment I.- Fresh Mud (88.184 pounds); II.- Fresh Mud (88.184 pounds) mixed with of alfalfa, (22.046 pounds) Dry oat straw (22.046 pounds) and fresh livestock manure (22.046 pounds); III.- agriculture soil from Institute Technologic Agropecuario N°1. Measured variables were: total and fecal number of coliforme (coiffures); and before and after composted process; physic and chemical characteristics; and the main heavy metals. Once data were obtained, a statistic program from The Agronomy Faculty belong Nuevo Leon University (FAUNAL) was used. Significant

statistical differences were obtained among treatments; 600 NMP (more probable number) of fecal coliforms for treatment II after composting; it is a low value as compared to the official standard allowed for public use who will be in direct contact (NOM 1987). Treatment II result shows the composting effectiveness, due to the fact that residual mud acts as an additional inoculum in the degradation of organic matter and fecal coliforms decay. According to the physical and chemical analysis results, the pH was 6.5, the fertility in treatment II shows the higher nitrogen percentage 0.58 % and organic matter 11.62%. The heavy metals values in treatment II, are statistically lower compared to treatment I where pure composted residual mud was used. According to the Protecting Environmental Agency of The United States of EPA, these values are below the maximum allowed limits.

KEY WORDS: sludge volume, physical and chemical, aeration lagoons.

INTRODUCCIÓN

La generación de lodos residuales en México se ha incrementado durante los últimos 10 años, haciendo más difícil encontrar sitios para almacenar estos materiales (Metcal y Eddy, 1996). El agua residual que genera la ciudad de Durango y que se recibe en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), es principalmente de origen doméstico con contaminantes orgánicos y sólidos, debido a la aportación de 490,524 habitantes según el censo de INEGI (2000). En la actualidad se reciben en promedio de 1,300 L/s a 2000 L/s. Esta cantidad es mayor durante los meses más lluviosos haciendo insuficiente la planta. Este afluente diario ha generado en el 2000 la cantidad de 80,175 m³ de volumen total de azolve de las seis lagunas de aireación de acuerdo al segundo monitoreo efectuado por la PTAR (Valdez, 2000) y constituye un problema, que es necesario resolver permanentemente considerando aspectos, económicos y sociales. Los programas de plantación forestal en Durango se han incrementado recientemente, con el fin de establecer la cubierta forestal. En 1998, se establecieron 180 plantaciones, restaurando 1,484.5 ha; mientras que en el 2000 se incrementaron a 430, con una superficie de 5,116 ha. En el 2002, la meta es la plantación de 7,110 ha. (Solís y Montes 2002). Sin embargo, para lograr estas metas es necesario producir gran cantidad de plantas de calidad que sobrevivan en el campo. La Comisión Nacional Forestal de Durango (CONAFOR) 2002 produjo 12'910,410 plantas en el 2002, de las cuales 2'500.000 son de Agavaceas. Esto implica el uso de grandes volúmenes de sustrato para producir grandes cantidades de plantas, lo cual eleva los costos de producción. Actualmente los 21 viveros del estado utilizan el sustrato artificial compuesto por turba, agrolita, vermiculita. Se propone que el lodo residual compostado sea una alternativa de sustrato, para sustituirlo y disminuir su costo. La demanda de planta de agave que ha tomado gran auge por la denominación de origen NOM-070-SCF-1994 que ha adquirido el mezcal para el estado de Durango. El presente trabajo tuvo como objetivos: evaluar los lodos residuales compostados de la PTAR; cuantificar los coliformes totales fecales antes y después del composteo; determinar el potencial de los lodos como sustrato para plantas de agave; mediante el análisis de fertilidad y metales pesados.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en los Laboratorios de Biotecnología y de Suelos del Instituto Tecnológico

Agropecuario Núm. 1 de Durango (ITAD); en el Laboratorio de Análisis de Aguas Residuales de Sistema Descentralizado de Agua Potable y Alcantarillado (SIDEAPA) y en el Laboratorio de Análisis Industriales del Guadiana. El sitio de muestreo fue en la segunda laguna de la Planta Tratadora de Agua Potable (PTAR) se tomaron 80 kg de lodo. Las variables a evaluar fueron: número de coliformes totales y fecales antes y después del composteo. Se aplicaron tres tratamientos, con tres repeticiones, el diseño experimental fue de Bloques al Azar. Fueron compostados en una caja de madera de 50 cm de ancho X 75 cm de largo X 45 cm de altura con manivela al centro con cubierta de vidrio doble; se mantuvieron por 45 días, volteando cada 5 días para su aireación. Tratamientos: I. Lodo fresco (40 kg); II. Lodo fresco (40 kg), 10 kg de alfalfa, 10 kg de paja de avena seca, 10 kg de estiércol fresco; III. Suelo agrícola del Instituto Tecnológico Agropecuario Núm. 1 de Durango (ITAD Núm. 1). La determinación del Número Más Probable (NMP) de coliformes se efectuó a partir de la aplicación de la técnica de tubos múltiples con caldo lactosado con púrpura de bromocresol concentración simple y caldo lactosado con verde brillante bilis al 2 %. Obtenidos estos datos se utilizó un paquete estadístico de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL) para procesarlos. Se llevó a cabo un análisis y se determinaron comparación de medias y la diferencia mínima significativa (DMS). Para evaluar las variables porcentaje de materia orgánica, sales minerales, caracterización físico-química de la composta y cuantificación de metales pesados. De cada uno de los tratamientos antes mencionados se emplearon tres repeticiones, para evaluar estas variables se analizaron en el laboratorio de suelos, se cuantificó la fertilidad de las muestras, para ello se determinó con el método Walkley-Backy y flamometría se calculó el porcentaje de N, para P el método Olsen, el Na y K fue por el método Ácido Amonio pH 7, y para el pH se utilizó un potenciómetro digital marca Corning y se tomó pH 1:2 agua y 1:2 CaCl₂. En el Laboratorio de Análisis Industriales del Guadiana, se analizó el contenido de los principales metales pesados como Cu, Fe, Cr, se hizo una curva de calibración en líquido para cada uno de los elementos metálicos, se obtuvo un sustrato de la muestra de cada tratamiento se leyó en el aparato y se comparó con la curva de cada metal de Pb, Zn, Ni, Cd, As, Hg, utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica, se tomaron de cada uno de los tratamientos cinco repeticiones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la presente investigación se dividieron en: 1) análisis microbiológicos, 2) análisis físicos químicos de la composta y 3) metales pesados.

1) Microbiológicos. En el Cuadro 1 se observan los resultados de los coliformes fecales después de la composta.

CUADRO 1. Resultados de la comparación de medias del compostado del NMP de coliformes fecales antes y después.

Tratamiento	Antes	Después
I	24'000 000 a	4 300 a
II	4 300 b	600 b
III	300 c	0 c

Nivel de significancia 0.01 DMS=552.6069

Se obtuvieron diferencias altamente significativas entre tratamientos de 600 NMP/100 ml de coliformes fecales del Tratamiento II después del compostado, valor bajo comparado con el de la Norma para uso de Servicio Público con contacto indirecto de 1000NMP/100ml. Este resultado del tratamiento II demuestra la efectividad del compostado aplicado, dado que el lodo residual actuó como un inóculo más en la descomposición de la materia orgánica y en la destrucción de coliformes fecales.

Los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas de coliformes fecales, establecidos en la Norma Oficial Mexicana MNX-AA-42 son: servicio al público con contacto directo 240 NMP/100 ml. Servicio al público con contacto indirecto o uso ocasional 1000 NMP/100 ml. La técnica utilizada para determinarlos es por el método de tubos múltiples de fermentación utilizados en el presente trabajo.

En Estados Unidos de Norteamérica existe una agencia para la protección al ambiente (U.S. EPA, 1993) que tiene legislado el uso de lodo residual para evitar la contaminación del suelo por patógenos, menciona que es necesario dar tratamiento al lodo residual y evaluar la calidad del lodo la cual no debe rebasar los límites permisibles de acuerdo a la Final Rule U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, U.S.A. (CFR) 40, parte 503 de la legislación americana para la aplicación en suelos agrícolas, los límites máximos permisibles de coliformes fecales es <1000 NMP/g en base seca.

Estos límites que ellos marcan se encuentran en acuerdo con los encontrados en la presente investigación, en el Cuadro 1 se observa que la cantidad 600 NMP/ 100 ml de coliformes fecales en el tratamiento II están por

debajo de lo permitido en la legislación de Cincinnati, Ohio, U.S.A.

Cardoso (2000), cita que en suelos agrícolas los hongos representan el 75 % y las bacterias más actinomicetos el 25 % del total de la masa microbiana; menciona que un suelo agrícola, siempre va a contener una población biológica, que cambia continuamente con el cambio en las condiciones ambientales; esta información concuerda con los datos obtenidos en la composta a partir de lodos en la cual están presentes bacterias al igual que el suelo agrícola.

2) Análisis físicos-químicos de la composta. Las características físicas fueron: Textura arcillosa. De acuerdo con los resultados el análisis químico se presenta en el Cuadro 2.

CUADRO 2. Resultados del análisis químico del lodo composteado y suelo agrícola.

Tratamientos	pH	N total %	P ppm	K ppm	Materia orgánica %
III	6.72	0.37	122.0	580	7.32
	6.54	0.58	63.13	1,300	11.62
III	8.76	0.09	13.21	1,020	1.8

Ruiz y Montes (2003), mencionan que el pH para plantas de agave es de 5 a 8 y una condición óptima de crecimiento es de 5.6 a 6.9, fuera de estos niveles crece con dificultad. En los tratamientos I y II los pH son 6.72 y 6.54 respectivamente considerándose ideales para el cultivo de agave. El pH del tratamiento III fue 8.76 siendo alcalino y como cita Ruiz y Montes (2003), dificulta su crecimiento.

Respecto a la fertilidad, en el tratamiento II se encuentra el mayor porcentaje de nitrógeno y de materia orgánica (Cuadro 2), esto obedece al contenido de microorganismos ya que Binkley (1994) menciona que los iones amonio y nitrosos se encuentran disueltos en agua y la fijación biológica del nitrógeno se realiza por los microorganismos.

La aplicación de lodos residuales al suelo mostró efectos favorables sobre la producción de maíz. Lo cual se manifestó en un 35 % de incremento en el rendimiento con respecto a la fertilización química. Ellos atribuyen que los nutrimentos básicos de N, P y K que contenían los lodos ayudaron al incremento. En la composta de la presente investigación se obtuvieron valores superiores de N, P y K a los del testigo por lo que se espera un aumento en el crecimiento de la planta de agave.

3) Metales pesados. En los valores obtenidos de metales pesados en el Cuadro 3 se observan las cantidades del contenido de los tres tratamientos los cuales son menores a los permitidos por la Agencia de Protección al Ambiente (EPA) (Cuadro 4).

CUADRO 3. Análisis de metales pesados en los lodos residuales compostados.

Elementos	Tratamiento I	Tratamiento II	Tratamiento III	Unidad
Cobre	233.0	92.4	28.8	Ppm
Fierro	1.62	0.79	1.81	%
Cromo	N.D*	N.D*	N.D*	Ppm
Plomo	123.0	96.0	64.0	ppm
Zinc	1.286	1.282	58.72	ppm
Níquel	21.2	5.6	14.4	ppm
Cadmio	5.2	2.8	5.2	ppm
Arsénico	25.092	8.084	5.302	ppm
Mercurio	6.8	3.72	0.762	ppm
Manganeso	200.0	118.8	464.0	ppm

*N. D. No detectado

CUADRO 4. Límites máximos permitidos por la agencia de protección al ambiente (EPA).

Elementos	Limite Máximo Permissible(EPA)
Arsénico	41 mg/kg
Cadmio	39 mg/kg
Cromo	1200 mg/kg
Cobre	1500 mg/kg
Mercurio	17 mg/kg
Níquel	420 mg/kg
Plomo	300 mg/kg
Zinc	2800 mg/kg

Según Cardoso (2000), la concentración de metales pesados es una limitante para el uso de lodos residuales en suelo agrícola; en la presente investigación los resultados de metales pesados no representarían una limitante, dado que los valores obtenidos son por debajo de los límites máximos permitidos, por lo que la composta se hace aceptable para cultivar en ella.

El cultivar de sorgo forrajero sobre una mezcla de suelo agrícola y lodos residuales obtenidos de la Planta Tratadora de Aguas Residuales de la Ciudad de Durango, informa que las concentraciones de metales pesados en la parte aérea y en la raíz, no presentaron problemas de toxicidad y se encontraron por debajo de los límites establecidos por la Norma SEMARNAT, 2002.

Las cantidades obtenidas de metales pesados en el tratamiento II donde se añadió alfalfa verde, paja seca de

avena y estiércol; son significativamente menores que las del tratamiento I donde sólo se trata de lodos residuales compostados.

CONCLUSIONES

El tratamiento II donde se añadió alfalfa verde, paja seca de avena y estiércol resultó el sustrato con las mejores características potenciales para la producción de planta de agave. Los microorganismos presentes en el tratamiento II y la materia orgánica añadida ayudaron a la disminución de las cantidades de metales pesados.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento para realizar el presente trabajo al Fondo Mixto del Gobierno del Estado de Durango y a CONACYT clave del proyecto DGO-2002-C01-3069. Al Sistema Descentralizado de Agua Potable y Alcantarillado (SIDEAPA) y a la Planta Tratadora de Aguas Residuales de la Ciudad de Durango, Al Ing. Jorge Ávila Gerente de la Compañía SICE, S.A. de C. V., al Ing. Ricardo Flores, por las facilidades otorgadas para extraer los lodos residuales.

LITERATURA CITADA

- BINKLEY, D. 1994. Nutrición Forestal, Prácticas de Manejo. Editorial UTHA México, D. F. 568 p.
- INEGI. 2000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Censo de la ciudad de Durango, México 35 p.
- CARDOSO, V. L. 2000. Aplicación de Lodo Residual en Agricultura. En: MEMORIA DEL CURSO TEÓRICO-PRÁCTICO DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL MUNICIPAL E INDUSTRIAL. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 52 p.
- METCAL & EDDY. 1996. Ingeniería de aguas residuales. Editorial McGraw-Hill, México. pp.409-504
- NOM-AA-42-1987. Norma Oficial Mexicana. Determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli*. 454 p.
- NOM-070-SCF-1994. Norma Oficial Mexicana. Denominación de Origen de Mezcal. 535 p.
- SOLIS, G. S.; MONTES, R. 2002. Comportamiento y Evaluación de las plantaciones de pino en áreas de baja precipitación en Durango. En: Resúmenes de Ponencias del XIII Congreso Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agropecuario. Guadalajara, Jalisco. México.
- RUIZ, M. A.; MONTES, R. G. 2003. Inducción simbiótica de *Agave durangensis* y *Glomus intraradices* (inoculo comercial). En: Resúmenes de Ponencias del IV Foro Regional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agropecuario y Forestal. Durango. México.
- U. S. Environmental Protection Agency. 1993. Standards for the use disposal of sewage sludge, 40 CFR Parts 257, 403 and 503, Final Rule. U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, U.S.A.
- VALDEZ, S. O. 2000. Segundo Monitoreo de la Planta Tratadora de Aguas Residuales de SIDEAPA, Durango. En: Memoria de Residencia Profesional del Instituto Tecnológico de Durango. México. 45 p.