

# PROPUESTA DE DESARROLLO MUNICIPAL EN LIXIVIADOS OBTENIDOS DE TIRADEROS ABIERTOS PARA SER APLICADOS COMO ABONOS AGRÍCOLAS EN MICHOACÁN, MÉXICO

Mario Figueroa Cárdenas<sup>1</sup>

Alberto Orozco Moreno<sup>2</sup>

Nayda Luz Bravo Hernández<sup>3</sup>

Jesús Alonso Luna Béjar<sup>4</sup>

Laura Alicia Santillán Hernández<sup>5</sup>

## RESUMEN

Con el objetivo de presentar una propuesta de desarrollo municipal de los lixiviados obtenidos de tiraderos abiertos en para ser utilizados como fertilizante en sistemas de producción agrícola en el estado de Michoacán, se realizó una revisión literaria en economía clásica y contemporánea, en programas institucionales a nivel federal que otorgan apoyos técnicos y económicos en materia de lixiviados. Para probar el fundamento agronómico se sembró pasto anual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam) en contenedores de plástico con volumen de 2.5 dm<sup>3</sup> en condiciones de invernadero del campo agrícola del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, (IIAF) dependiente de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), del 1 de marzo al 2 de abril de 2015 mediante un diseño de bloques al azar con cinco repeticiones y cuatro tratamientos con aplicaciones (1, 2, 3 y 4) de lixiviados diluídos al 10 % en agua desionizada e incorporados a los sustratos por medio del riego en periodos de cinco días. Se midió la longitud de crecimiento del pasto a los 30 dds para relacionarla con los procesos dinámicos del nitrógeno. El análisis e interpretación agro-

---

Artículo recibido el 24 de Junio de 2015 y Aprobado el 11 de Agosto de 2015.

- 1 Profesor – Investigador en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. E – mail: laeamfc@hotmail.com
- 2 Profesor – Investigador en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. E – mail: alberto.orozco.moreno@hotmail.com
- 3 Profesora – Investigadora en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. E – mail: nayluz1975@yahoo.com.mx
- 4 Profesor – Investigador en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. E – mail: racters@hotmail.com
- 5 Jefa del Departamento de Medio Ambiente, Servicios Públicos Municipales de la Presidencia Municipal de Tarímbaro, Michoacán. E – mail: lasanher7@hotmail.com

nómica de los resultados se modeló matemáticamente con polinomiales de segundo grado. La máxima eficiencia en la dinámica de absorción del nitrógeno se observó durante la segunda y tercera aplicaciones, mientras que la cuarta aplicación causó toxicidad en el cultivo. Es posible aplicar lixiviados para satisfacer el requerimiento interno de los cultivos para resolver la contaminación ambiental y eficientar el sistema económico en las unidades de producción agropecuaria.

**Palabras clave:** Lixiviados, desarrollo municipal, manejo agronómico.

## ABSTRACT

In order to determine the feasibility and submit a proposal for municipal development of leachate collected from open landfills in Michoacán, México to be used as fertilizer in agricultural production systems, a literary review was conducted in classical and contemporary economy, in federal programs granting technical and financial support in terms of leachate. Agronomic test was seeded annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam) was sown in plastic containers with volume under greenhouse conditions in Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, part of Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, from March, 1 to April 2, 2015 by an experimental randomized block design with five replications and four treatments with applications ( 1, 2, 3, and 4) of leachate diluted to 10% in deionized water and incorporated into the substrates by irrigation during periods of five days. Length grass growth at 30 dap to relate the dynamic processes of nitrogen was measured. Agronomic analysis and interpretation of results was modulated mathematically with second-degree polynomials. The maximum efficiency of nitrogen absorption dynamics was observed during the second and third applications, while the fourth application caused toxicity in culture. Leachate can be applied to meet domestic requirement crops to solve environmental pollution and more efficient economic system in the agricultural production units.

**Keywords:** Leachate, municipal development, agronomic management.

**Clasificación JEL:** Q10, Q15, Q19.

## INTRODUCCIÓN

En los mercados actuales se encuentra una amplia variedad de productos, por lo que las empresas morales, organizaciones sociales y personas físicas están en constante lucha por subsistir, investigar, producir o comercializar artículos que demandan una alta calidad a un bajo costo económico, principalmente con el objetivo de insertarse en condiciones competitivas dentro de los nichos mercantilizados y en sus carteras de clientes.

Un ejemplo representativo es la generación de alimentos que respondan el cuidado ecológico, a la sustentabilidad y la seguridad alimentaria de las poblaciones a nivel mundial; circunstancia que en la actualidad es considerada más un tema de consumo para la seguridad social que de soporte técnico solamente para producir o comercializar alimentos con eficacia.

Es por ello interesante retomar históricamente algunas teorías económicas sobre la producción agrícola y la renta de la tierra. Entre las teorías más importantes destacan las propuestas por los fisiócratas del Siglo XVIII (François Quesnay, Anne Robert Jaques Turgot y Pierre Du Pont de Nemours).

De acuerdo a esta escuela francesa de pensamiento económico, la tierra es la única causa exclusiva de la riqueza y esencialmente la única fuente de producción; asume además que los resultados en el proceso de transformación de los productos primarios solamente representan la indemnización por el capital invertido y sostiene que la renta es el producto neto de los sistemas de explotación agrícola o sea la diferencia que queda al descontar los gastos de producción.

Resulta importante analizar estos factores mediante fundamentos agronómicos que expliquen los procesos agrícolas que a su vez efficienten los procesos económicos dentro de un proyecto de inversión, de desarrollo municipal o de un plan de negocios, particularmente en el suministro de nitrógeno en cultivos como elemento nutrimental que satisfaga los requerimientos internos de las plantas, sea de fácil aplicación y abata costos totales de producción.

Este trabajo de investigación tiene como objetivo presentar una propuesta de desarrollo municipal. Para su estudio se divide en tres partes: diseño agronómico, compilación literaria de teorías economistas y revisión de programas en el marco de programas federales para el saneamiento medioambiental. Tiene como hipótesis la factibilidad de utilizar lixiviados obtenidos de tinaderos abiertos para ser aplicados racionalmente como fertilizantes agrícolas en el estado de Michoacán.

El método agronómico utilizado se realizó mediante la siembra de pasto anual Ryegrass (*Lolium multiflorum Lam*) con cuatro tratamientos de lixiviados y arreglo en bloques al azar con cinco repeticiones y un testigo; para el análisis e interpretación de los resultados en este diseño se utilizó un modelo de regresión lineal polinomio de segundo grado.

La compilación literaria sobre las teorías y modelos económicos se diseñó con un enfoque teórico metodológico que compara la escuela de pensamiento fisiocrático con las concordancias o contradicciones expresadas principalmente por Adam Smith, David Ricardo y Henry C. Carey. Se revisó además literatura contemporánea que expresan un enfoque estructural y un enfoque espacial (Ricardiano) que combinan respuestas biofísicoquímicas con respuestas económicas en la agricultura (estructural) y analiza por medio de una función de producción los mercados competitivos, el Valor de la Tierra y el ingreso obtenido por el productor (espacial).

Se revisó la normatividad de la Comunidad Económica Europea (CEE) para el uso de lodos depurados y lixiviados aplicables en sistemas de producción agrícola; además se revisaron políticas públicas sectoriales a nivel federal en México, particularmente para la prevención y saneamiento ambiental, manejo de lixiviados o residuos sólidos mediante apoyos para proyectos que pueden ser gestionados para el desarrollo sustentable e integral de los sistemas de producción agropecuario en el estado de Michoacán.

Con los resultados se demuestra que es agronómica y económicamente viable aplicar lixiviados obtenidos de tiraderos abiertos como insumos fertilizantes en el estado de Michoacán, ya que éstos pueden satisfacer los requerimientos internos del nitrógeno en los cultivos, a bajo costo y maniobrabilidad eficiente. Además es posible lograr una buena gestión de lixiviados obtenidos de tiraderos abiertos, ya que si éstos no son reutilizados racionalmente, su efecto residual es más impactante para el medioambiente.

## REVISIÓN DE LITERATURA

Los fisiócratas, como economistas precursores de las ciencias sociales, del conocimiento científico sobre la fertilidad de la tierra y la sustentabilidad agrícola, en esencia se oponían al mercantilismo como origen de la riqueza; afirmaban que ésta provenía de la capacidad de producción social de las naciones y no de las riquezas acumuladas por el comercio internacional;

además, plantearon fundamentalmente que la única y verdadera generadora de riqueza para las naciones tenía su origen en la agricultura.

Sin embargo, en su análisis no consideraron otros importantes factores limitantes que ejercen sobre la renta en los sistemas de producción agrícola. Estos factores pueden ser genotípicos, tipos de suelo, climáticos, calidad de los insumos, manejo sustentable, el concurso del capital y la competencia con las demás industrias o sistemas de producción. No obstante, en estos pensadores economistas se denota prácticamente como común denominador la inferencia ideológica que la renta está en función del capital invertido en la tierra y por la naturaleza de su fertilidad.

Algunos autores contemporáneos describen un concepto fundamental en el análisis de riesgo en la agricultura que se basa en la vulnerabilidad de los sistemas de producción con un enfoque estructural  $y = f(x)$ , que deriva en una función de producción  $f(Q)$  expresada en variables endógenas ( $x$ ), exógenas ( $z$ ) y de capital humano ( $m$ ) (Hernández *et al.*, 2014).

$$Q_t = f(m, z, x) \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde  $Q_t$  representa la producción agropecuaria o el rendimiento por hectárea de un producto determinado y el subíndice  $t$  el tiempo considerado. De esta manera, los beneficios que obtiene un agricultor que produce  $n$  cultivos en el tiempo  $t$ , se expresa:

$$P = \sum p_j Q_t \{ (m_t, z_t, x_{jt}) - w_t x_{jt} \} \quad j = 1, 2, 3 \dots n \text{ cultivos} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde  $p_j$  representa los precios del producto,  $j$  y  $w$  los precios de los insumos.

De igual manera, afirman que “*para la estimación de la función de producción se elige, por lo general, una forma funcional cuadrática, con el fin de identificar los niveles en los que el clima tiene efectos positivos o negativos sobre la producción, así como los valores óptimos de cada uno de los factores que los determinan*”.

Estos autores proponen un enfoque espacial de vulnerabilidad expresado en el modelo Ricardiano, que basa su teoría en los mercados competitivos en donde el valor de la tierra representa el valor presente de los ingresos netos esperados por su uso eficiente de la misma. Este modelo estima los efectos que tienen las variaciones (clima, económicos y no económicos) en el valor de la tierra agrícola mediante modelos matemáticos de regresión lineal.

Este modelo debe su nombre a David Ricardo, quien observó que el valor de la tierra muestra su productividad neta en función del ingreso neto, lo cual se expresa:

$$\pi = \sum p_i Q_i(m, z, x) - \sum(w_i x_i) \quad \text{Ecuación (3)}$$

donde  $p_i$  es el precio del mercado del cultivo;  $i, x$  vectores de insumos,  $wx$  el vector de precios de los insumos,  $z$  el vector de variables climáticas y  $m$  representa un vector de otras variables que afectan el cultivo  $i$ .

Por lo tanto, la función óptima resultante se define por:

$$\pi = f(p_i, m, z, wx) \quad \text{Ecuación (4)}$$

En donde los productores eligen  $x$  para maximizar el ingreso neto de cada cultivo, dadas las características intrínsecas de la unidad de producción (*e.g.* condiciones del clima, tipo de suelo, acceso a mercados) y el precio corriente de los productos. (Ordaz *et al.*, 2010).

Aunado a la asertividad de los anteriores autores, se propone que las ecuaciones obtenidas en los modelos aplicados en estos análisis económicos se deben ajustar a los lineamientos matemáticos y estadísticos, en donde los parámetros tengan fundamento agronómico y económico, además se concreten para una utilidad práctica en donde el mejor argumento se observe en condiciones de campo.

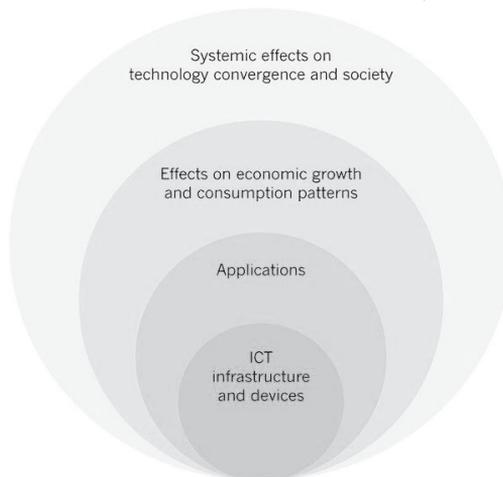
Una de las líneas prioritarias de la Unión Europea (UE) para la protección medioambiental concierne tanto a la depuración de aguas residuales como a la reutilización de las mismas una vez depuradas (Directiva 91/271/CEE, D.O.C.E. de 30 de mayo de 1991) y al control de la aplicación en suelos agrícolas de los lodos y lixiviados generados (Directiva 86/278/CEE, D.O.C.E. de 4 de julio de 1986), por lo que una mala gestión de estos lodos y aguas residuales podría ser más impactante para el medioambiente que la situación original del agua sin tratar, ya que el proceso de depuración implica una concentración mayor de las sustancias contaminantes las cuales pasa del afluente al fango y del fango a los mantos freáticos de la cuenca hidrológica (Aguilar *et al.*, 1999).

Es importante reconocer que los flujos de las mercancías y su manejo a nivel global han propiciado que avances científicos y tecnológicos para satisfacer los mercados regionales, nacionales e internacionales se han desarrollado de manera vertiginosa en las últimas tres décadas. Por ejemplo, hace treinta años, los flujos de información fueron mediados por envíos postales, teléfonos de línea fija y televisión abierta, mientras que

ahora tenemos acceso a un mundo globalmente interconectado a través de una variedad de dispositivos desde teléfonos inteligentes hasta grandes pantallas planas. Con altos contenidos en silicio y materiales como el germanio y carbono, diseñadas con nuevas arquitecturas y nuevos modelos conceptuales tales como la computación cuántica.

En la Figura 1 se muestran las interacciones entre equipamiento e infraestructura (ICT), sus aplicaciones, efectos y convergencias con la sociedad y el medio ambiente. El círculo muestra los impactos directos de equipos e infraestructura (ICT). El segundo círculo representa aplicaciones ambientales de las ICT, como el manejo de los sistemas. El tercer círculo se refiere a los efectos sobre el consumo causados por el crecimiento económico y los cambios en los productos. El círculo exterior representa los cambios sociales y tecnológicos influenciados en mayor medida por las ICT (Williams, E., 2011).

**Figura 1**  
**Niveles de interacción del sistema entre las ICT y el medio ambiente.**



Fuente: Williams, E., (2011).

Como consecuencia se agravaron los problemas ambientales como la contaminación del aire, agua y suelo. La generación de residuos sólidos urbanos (RSU) y de manejo especial (RME), cuyo incremento acompañado por una disposición inadecuada a lo largo del territorio, ha afectado y continúa impactando directa o indirectamente la salud de la población y de los ecosistemas naturales (Torres *et al.*, 2011).

En México, el proceso de industrialización se intensificó a partir de la segunda mitad del siglo pasado, ello derivó en una mayor demanda de materias primas para satisfacer el creciente consumo de bienes y servicios de una población cada vez más numerosa y con patrones de consumo más demandantes, con el consecuente incremento de residuos sólidos desechados y confinados por lo regular en tiraderos a cielo abierto sin control en el saneamiento acorde a la normatividad vigente, por lo que la presencia y el crecimiento de sitios no controlados de disposición final de residuos sólidos (RS) en México, ha despertado desde hace ya algunos años la preocupación de los expertos, por el riesgo de contaminación para el agua subterránea que representan los lixiviados generados en estos tiraderos (Gómez *et al.* 2011).

Como alternativa, algunos países emergentes han adoptado diversas formas para aplicar estos lodos y lixiviados a suelos agrícolas, como un destino que sólo permite eliminar un residuo sin contaminar al medio receptor, que aprovecha además aquellos elementos benéficos (elementos nutrimentales y materia orgánica) con eficiencia económica y con fundamentos científicos desde el punto de vista agronómico (Loher *et al.*, 1979).

Existen numerosas caracterizaciones de los lixiviados en donde se hace énfasis de su alto poder contaminante. Se comenta usualmente que los lixiviados contienen toda característica contaminante principal, es decir, alto contenido de materia orgánica, alto contenido de nitrógeno y fósforo, presencia abundante de patógenos e igualmente de sustancias tóxicas como metales pesados; y constituyentes orgánicos (Giraldo E., 2014).

Por lo anterior, es necesario considerar desde un enfoque agronómico que un vegetal en crecimiento está sometido a procesos que favorecen o limitan su desarrollo dependiendo de factores internos y externos; ello involucra la necesidad de conocer la manera óptima cómo la planta pueda expresar todo su potencial genético mediante la aplicación al suelo de residuos orgánicos mineralizados a efecto de eficientar racionalmente las fertilidad física, química y biológica del sistema edáfico en los sistemas de producción.

El nitrógeno inorgánico que se encuentra en la solución del suelo es muy susceptible a modificaciones de las prácticas de manejo agrícola; por ello es importante considerar el posible impacto sobre la estabilidad de agro ecosistema en el tiempo (Tan, 1996), debido a que su balance natural es lento y se establece como una dinámica entre las entradas de materiales orgánicos al suelo (residuos de cosecha, lixiviados, abonos verdes, reciclaje de hojarasca, ramas y troncos) y la salida del carbono como consecuencia de diferentes procesos como la respiración del suelo, quema o eliminación de los residuos de cosecha o desmontes (Hernández, 2003).

La mayoría de las estrategias de agricultura urbana se fundamenta en la técnica de hidroponía simplificada (Montes *et al.* 2008) mientras que la agricultura orgánica se basa normalmente en la eliminación de insumos químicos sintéticos con respecto al manejo en las explotaciones convencionales. La comparación entre la agricultura convencional *versus* agricultura orgánica ha puesto de manifiesto las diferencias fundamentales biológicas, químicas y físicas de los productos comerciales, lo que directa o indirectamente puede afectar el rendimiento del cultivo y la calidad del producto, ya que bajo el manejo orgánico, la deficiencia nutrimental puede ser causada por una insuficiente disponibilidad de nitrógeno mineralizado (Cavero *et al.*, 1997).

Algunos estudios han demostrado que el nitrógeno mineralizable puede predecir con exactitud su disponibilidad en el suelo cuando es tratado con materiales orgánicos, en donde el manejo de los cultivos representa una actividad importante para la productividad agrícola, ya que cuando la materia orgánica se deposita en la superficie del suelo su descomposición natural es lenta, más aún cuando se reduce la superficie de contacto para ser atacada por los microorganismos del suelo (Báez *et al.*, 2002); en donde la humedad y la temperatura son los principales factores en los procesos de mineralización; por lo tanto se requiere además conocer la dinámica del nitrógeno de los lixiviados aplicados en cultivos agrícolas (Puget y Drinkwater, 2001).

En estos procesos, las reservas orgánicas activas derivadas de la celulosa y hemicelulosa por la descomposición de los materiales orgánicos, así como los lixiviados, contribuyen de manera importante al incremento de la capacidad productiva del suelo y definen su vulnerabilidad respecto a las condiciones que fomentan la eutricación y la susceptibilidad del suelo a ser erosionado (Hernández, 2003); al agregar materiales orgánicos al suelo se incrementan las reservas orgánicas edáficas y su aporte efectivo con relación al nitrógeno puede tomarse sólo como un valor agregado de los aportes inorgánicos realizados, por lo que la práctica de incorporar al suelo diferentes materiales orgánicos debe enfocarse principalmente para mantener las reservas orgánicas edáficas (Galvis, 1998) en los sistemas de producción agrícola.

Otros autores afirman que diferentes formas y tipos de fertilizantes nitrogenados (orgánicos o químicos) pueden afectar por igual la concentración de caroteno y vitaminas en los cultivos, en donde las tasas de mineralización de los materiales orgánicos y las diferentes formas de fertilizantes nitrogenados de síntesis química tienen importantes interacciones relacionadas a los factores climáticos, genotipos utilizados y las prácticas de manejo, que pueden modificar sustancialmente los

contenidos de licopeno y carotenoides en el fruto (Dumas *et al.*, 2003; De Pascale *et al.*, 2006).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El objetivo de este trabajo es presentar una propuesta de desarrollo municipal en lixiviados de tiraderos abiertos para ser utilizados como abonos agrícolas en Michoacán, México, con un enfoque contextual en la dinámica del nitrógeno como factor de crecimiento y desarrollo vegetativo. Las muestras representativas de los lixiviados se tomaron del tiradero abierto ubicado en la Microcuenca Morelia-Tarímbaro dentro del municipio de Tarímbaro, Michoacán, México (Cuenca del Lago de Cuitzeo).

El experimento agronómico se estableció del 1 de marzo al 2 de abril de 2015 en un invernadero del campo experimental del IIAF, dependiente de la UMSNH, ubicado geográficamente a los 19° 46' 26" de Latitud Norte y 101°08' 10" de Longitud Oeste a una altitud de 2250 msnm. El clima es del tipo Cb (wo) (w) (i') g, considerado como templado subhúmedo con lluvias en verano, con una época seca en invierno y oscilación térmica (5 – 7 °C), la temperatura media anual es de 15.5 °C con una precipitación de 664 mm (García, 1973).

Se sembró pasto anual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam) en contenedores de plástico con capacidad de 2.5 l (2.5 dm<sup>3</sup>), con 1/3 de tezontle y 2/3 de mezcla homogénea compuesta de vermiculita, peat-moss y perlita. Se midió la longitud de crecimiento del pasto a los 30 días después de la siembra para relacionarla con los procesos dinámicos del nitrógeno dentro del sistema suelo-planta y obtener con ello información importante para eficientar el manejo agronómico de los cultivos.

El diseño experimental fue en bloques al azar con cinco repeticiones y cuatro tratamientos con aplicaciones (1, 2, 3 y 4) de lixiviados obtenidos del tiradero abierto ubicado en la microcuenca Morelia-Tarímbaro, los cuales se diluyeron al 10 % en agua desionizada que se aplicó como riego en periodos de cinco días. A los 10 días después de la siembra aplicaron los lixiviados para los cuatro tratamientos con el objetivo de verificar la posible inhibición o retraso en el desarrollo vegetativo del cultivo.

Para el análisis e interpretación de los resultados se utilizaron modelos matemáticos polinomiales de segundo grado, a efecto de evaluar la dinámica del nitrógeno en donde la pendiente del modelo es una medida indirecta de la tasa de absorción y la velocidad de crecimiento del cultivo.

Se desarrolló el método de compilación literario sobre las teorías y modelos económicos con un enfoque teórico metodológico para analizar la

escuela de pensamiento fisiocrático *versus* posición ideológica de economistas representados principalmente por Adam Smith, David Ricardo y Henry C. Carey. Se revisó literatura con un enfoque estructural y un enfoque espacial (Ricardiano) para combinar respuestas biofísicoquímicas con respuestas económicas en la agricultura (enfoque estructural) y analizar por medio de una función de producción ( $Q_t = f(m, z, x)$ ) los mercados competitivos, el Valor de la Tierra y cómo impacta el ahorro de los insumos fertilizantes en el ingreso ( $P$ ) obtenido por el productor (enfoque espacial).

Se revisó la normatividad de la CEE para el uso de lodos depurados y lixiviados aplicables en sistemas de producción agrícola. Además se investigó sobre los programas de apoyo para el saneamiento medioambiental en México, así como los requisitos de elegibilidad y los fundamentos de las políticas públicas sectoriales a nivel federal, promovidas por la Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y la Comisión Nacional del Agua (CNA) respectivamente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para sustentar el fundamento agronómico, se verificó el desarrollo vegetativo homogéneo en todo el experimento durante los primeros 10 días después de la siembra (dds), momento en que se inició la aplicación de 50 ml del lixiviado diluido en agua desionizada al 10 % de concentración en los cuatro tratamientos. No se observó inhibición o retraso en el crecimiento vegetativo de rye-grass, por lo que es importante resaltar que a partir de la incorporación de los lixiviados al sistema edáfico, se verificó un incremento en la velocidad de crecimiento del cultivo con una tendencia máxima en la tercera aplicación, mientras que con cuatro aplicaciones se causó toxicidad en las plantas. En el Cuadro 1 se muestran los resultados longitudinales obtenidos durante el experimento, en donde se puede observar que en todos los tratamientos el crecimiento vegetativo es significativamente mayor con relación al testigo.

Para el análisis de los modelos matemáticos polinomiales, es necesario recordar que en una ecuación de segundo grado del tipo ( $y = ax^2 + bx + c$ ), el primer miembro de la expresión algebraica contiene la variable dependiente ( $y$ ) y el segundo miembro lo forman los términos cuadrático ( $x^2$ ), lineal ( $x$ ) e independiente ( $c$ ). Los primeros son términos de forma y el término independiente es de posición, que representa el valor del intercepto de la ordenada. El signo del coeficiente cuadrático define si la curva es cóncava (-) o convexa (+) respecto al origen y por lo tanto sus coeficientes se relacionan con la tasa de cambio en esa sección geométrica.

**Cuadro 1. Longitud de crecimiento del rye-gras a los 30 días dds.**

Factor de estudio (tratamientos**)	Longitud de crecimiento (cm)				
LX1*	41.0	41.5	41.3	41.5	40.3
LX2*	42.0	41.9	42.3	41.0	42.7
LX3*	44.0	45.0	43.0	40.0	40.1
LX4*	42.5	39.0	40.5	39.0	39.0
testigo	38.5	37.2	38.9	38.6	38.9

\*LX1= una aplicación; \*LX2 = dos aplicaciones; \*LX3 = tres aplicaciones; \*LX4 = cuatro aplicaciones.

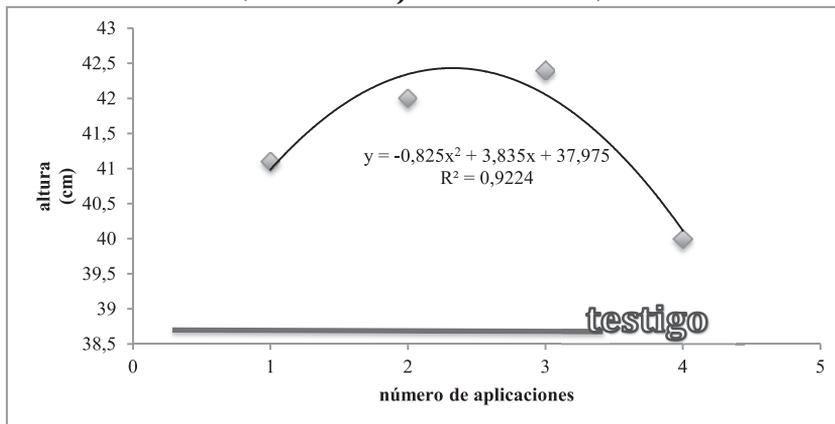
\*\*tratamientos con lixiviados diluidos al {10 %} en agua desionizada.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 2 se observa la línea de tendencia derivada del término lineal (+) con una tasa de crecimiento vegetativo que se incrementó hasta la tercera aplicación; con una cuarta aplicación se observa una abrupta caída en la curva (cóncava) con tendencia negativa (-), que indica una disminución de crecimiento en el cultivo causada por un efecto de toxicidad. Se observa además que la línea de tendencia se dirige para interceptar la ordenada al origen (37.975 cm) cuyo valor calculado es cercano al valor observado (38.9 cm) en el testigo donde no se realizó ninguna aplicación de lixiviado, lo cual se expresa en alto nivel de confianza (92 %) en la bondad de ajuste del modelo ( $R^2 = 0.9238$ ).

**Figura 2. Modelo polinomial de segundo grado sobre la dinámica de crecimiento del cultivo.**

$R^2 =$  Coeficiente de determinación.  
(Bondad de ajuste del modelo).



Fuente: Elaboración propia.

En relación a la dinámica del nitrógeno, el coeficiente del término lineal (3.835) indica que el crecimiento vegetativo del rye-grass se incrementó 3.835 cm entre la primera y la tercera aplicación de lixiviado, mientras que el coeficiente del término cuadrático (-0.825) indica que a partir de una cuarta aplicación la tendencia longitudinal del cultivo decrece 0.825 cm, debido a que en el sistema edáfico se genera un estado nutricional superavitario que causa toxicidad a la planta.

Con la información obtenida se encontró que las tres primeras aplicaciones satisfacen el requerimiento interno de nitrógeno del cultivo; además se puede afirmar que el modelo aplicado se ajusta matemáticamente a los principios y fundamentos agronómicos planteados.

Con relación al fundamento económico, es posible eficientar el rendimiento unitario de la producción  $Q(t) = f(m, z, x)$  y la calidad de los productos, ya que la tasa de absorción de lixiviados en las plantas se realiza en menor tiempo debido a que este insumo contiene nitrógeno mineralizado de rápida asimilación por los cultivos.

De igual manera, los beneficios (P), que obtiene un productor agrícola expresada por la fórmula  $P = \sum p_j Q_j(m, z, x) - \sum w_i x_i$ , en donde  $j = 1, 2, 3, \dots, n$  cultivos y  $p_j$  representa los precios del producto,  $j$  y  $w$  los precios de los insumos; se ve favorecido porque obtiene lixiviados como insumos fertilizantes a bajo costo y de fácil maniobrabilidad; además, permite al productor obtener mejores precios en el mercado ( $\pi$ ) expresado en la ecuación  $\pi = \sum p_i Q_i(m, z, x) - \sum w_i x_i$ ; por lo tanto, la función óptima resultante definida por  $\pi = f(p_i, m, z, w_i)$  cumple con los principios fundamentales de la escuela fisiocrática y la corriente de pensamiento ideológico de economistas clásicos del Siglo XVIII sobre la renta de la tierra (Ordaz *et al.*, 2010 y Hernández *et al.*, 2014), representada principalmente por Adam Smith, David Ricardo y Henry C. Carey (Cuadro 2).

Como una contribución a los asertivos trabajos anteriores, se recomienda considerar la bondad de ajuste ( $R^2$ ) del modelo (lineal, polinomial, exponencial, logarítmico y logístico) en el análisis matemático, a efecto extraer la mayor y mejor información de la variable independiente ( $x$ ), que permita explicar con mayor eficiencia los efectos encontrados en la variable respuesta ( $y$ ); ello a efecto de que el valor calculado por el modelo y el valor encontrado en el experimento se ajusten mejor a una realidad objetiva.

## Cuadro 2. Teorías económicas sobre la fertilidad de los suelos y la renta nacional en términos de la agricultura.

Adam Smith	David Ricardo	Henry C. Carey
<p>La renta está constituida por el producto de la naturaleza que queda después de descontar el trabajo del hombre.</p> <p>Atribuye exagerada importancia a las condiciones naturales del suelo y de desconocer la influencia que tiene en la renta el carácter limitado de la tierra.</p> <p>Impugnó victoriosamente la doctrina fisiocrática y demostró la existencia del producto neto en todas las industrias.</p>	<p>Hace derivar la renta de la diversa fecundidad del suelo.</p> <p>Clasifica los terrenos, según su grado de fertilidad, en tierras de primera, de segunda, de tercera clase.</p> <p>Esta doctrina tuvo al principio apasionados partidarios y luego decididos adversarios, pues incurrió en muchas inexactitudes, como en la utilización jerárquica de los suelos para satisfacer las necesidades alimentarias de la población.</p>	<p>Hace consistir la renta en el interés del capital atesorado en la tierra por todos conceptos, o sea en los gastos hechos por el dueño para ponerla en cultivo, en los hechos por el Estado para darla seguridad y en los hechos por el país para facilitar los transportes.</p> <p>Demostó la falsedad de la sucesión jerárquica de los cultivos, sostenida por David Ricardo.</p> <p>Cayó en el error de hacer derivar la renta del capital, en términos absolutos, sin tener en cuenta que la naturaleza ejerce también sobre ella una importancia notable.</p>

Fuente: Elaboración propia con información de <http://www.eumed.net/libros-gratis/2006a/ah-prod/2g.htm>.

Respecto a los modelos estadísticos, en agricultura es común analizarlos con un nivel de confianza del 95 % con un Error Tipo I del 5 % ( $\alpha = 0.05$ ), que indica el riesgo de que nuestro análisis pudiera ser incorrecto. Por ello será mejor identificar las variables más significativas a efecto de no sacrificar grados de libertad por analizar datos de poca significancia estadística; de esta manera se logrará extraer de la variable informativa ( $x$ ) la mayor información posible para la variable respuesta ( $y$ ), a efecto que el modelo se refleje ajustado objetivamente a condiciones de campo.

Lo anterior es importante dado que los procesos económicos, biológicos, químicos y físicos tienen diferentes grados de variación en sus tasas de cambio y en sus dinámicas de movimiento.

Con relación a las políticas públicas para apoyos de proyectos de inversión la SEMARNAT otorga apoyos financieros para proyectos de rehabilitación de sitios de disposición de residuos sólidos que no cumplan con la NOM-083-SEMARNAT-2003 y cuyo objetivo sea alcanzar el cumplimiento total de ésta hasta convertirse en rellenos sanitarios. Así

mismo, respalda técnica y económicamente proyectos para el manejo de residuos sólidos urbanos y de manejo especial en etapas de recolección, transporte, plantas de selección, rellenos sanitarios con total cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003, vida útil superior a 10 años y con perspectiva de atención regional.

Además, apoya a personas físicas y morales legalmente constituidas en proyectos para el aprovechamiento de residuos sólidos urbanos o de manejo especial en las etapas de centro de acopio multiresiduos, construcción de plantas para el reciclaje, o aprovechamiento material o energético de residuos sólidos urbanos o de manejo especial, siempre que observen y cumplan los lineamientos vigentes para el otorgamiento de apoyos SEMARNAT.

La CNA fomenta el apoyo técnico y económico por medio del Programa de Agua Limpia (PAL), Programa para la Construcción y Rehabilitación de Sistemas de Agua Potable y Saneamiento en Zonas Rurales (PROSSAPYS), Programa para la Construcción y Rehabilitación de Sistemas de Agua Potable y Saneamiento en Zonas Rurales (APAZU), Programa de Tratamiento de Aguas Residuales (PROTAR).

La SAGARPA tiene como programas de atención para: Proyecto Estratégico para la Seguridad Alimentaria (PESA), Proyecto Estratégico Trópico Húmedo (PETH), Proyecto Estratégico de Desarrollo de Zonas Áridas, (PRODEZA), Proyecto Estratégico Apoyo a la Cadena Productiva de los Productores de Maíz y Frijol (PPROMAF) y el Programa de Apoyo a la Inversión en Equipamiento e Infraestructura (PAIEI), entre otros (Diciotopografía).

## **CONCLUSIONES**

Con la información obtenida, se fundamenta la viabilidad económica y agronómica de lixiviados como insumos fertilizantes que satisfagan los requerimientos internos del nitrógeno en cultivos, con una visión económicamente sustentable que permita diseñar y operar planes de desarrollo municipal en el estado de Michoacán de Ocampo, favorables al medioambiente y a la ecología.

Se requiere un control de calidad en el uso de lixiviados obtenidos en tinaderos abiertos, que garantice la salud de los agrosistemas, que cumpla con la normatividad vigente acerca del efecto residual y trazabilidad de metales pesados, agentes bacterianos, compuestos organoclorados y su impacto ambiental (Williams, E., 2011).

Es importante que las prácticas de manejo agrícola en donde se utilicen lixiviados provenientes de tiraderos abiertos sean esencialmente consideradas de utilidad práctica para restituir la cantidad y calidad de las reservas orgánicas edáficas, particularmente de nitrógeno, a efecto mejorar la actividad dinámica en suelos con uso agrícola intensivo (Álvarez y Anzueto, 2004).

En términos económicos, con el uso de lixiviados como fertilizantes agrícolas es posible eficientar el rendimiento unitario de la producción  $Q(t) = f(m, z, x)$  y los beneficios ( $P$ ) que obtiene un productor agrícola  $P = \sum p Q_t \{(mt, zt, xjt) - wt_xjt\}$ , permitirá al productor obtener mejores precios en el mercado  $\pi = \sum p_i Q_i (m, z, x) - \sum (wx, x)$ ; por lo tanto, la función óptima resultante definida por  $\pi = f(p_i, m, z, wx)$  cumple con los principios fundamentales de la escuela fisiocrática, así como de la corriente de pensamiento ideológico de economistas clásicos del Siglo XVIII sobre la renta de la tierra, representada principalmente por Adam Smith, David Ricardo y Henry C. Corey (Ordaz *et al.*, 2010 y Hernández *et al.*, 2014).

Por otra parte, la SEMARNAT, la SAGARPA y la CNA, contemplan apoyos a través de sus políticas públicas sectoriales para la prevención y saneamiento ambiental, manejo de lixiviados o residuos sólidos; apoyos que pueden ser gestionados para el desarrollo sustentable e integral de los sistemas de producción agropecuario en el estado de Michoacán; bajo un contexto de trabajo que revitalice la economía regional e incremente los niveles de bienestar social de la población.

## LITERATURA CITADA

- AGUILAR, M.A., ORDOÑEZ, R. y GONZÁLEZ, P., 1999. Capacidad de aportación de micronutrientes de un lodo de depuradora a un cultivo rye-grass y calidad de los lixiviados. Estudios de la Zona no Saturada. Ed. R Muñoz-Carpena, A. Ritter, C. Tascón, ICIA. P 139-143.
- ÁLVAREZ Y ANZUETO, 2004. Actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los Altos de Chiapas, México. *Agrociencia* 38: 13-22. 2008.
- BÁEZ P., A., ETCHEVERS B., J.D., HIDALGO M., C., PRAT, CH., ORDAZ CH., V., Y NÚÑEZ E., R., 2002. C orgánico y P-Olsen en repetates cultivados de México, 2002. *Agrociencia* 36: 643-653.
- CAVERO, J., PLANT, R.E., SHENNAN, C., AND FRIEDMAN, D.B. 1997. The effect or nitrogen source and crop rotation on the growth and yield of processing tomato. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 47:271-282.

- DE PASCALE, S., R. TAMBURRINO, A. MAGGIO, G. BARBIERI, V. FOGLIANO AND R. PERNICE, 2006. Effects of Nitrogen Fertilization on the Nutritional Value of Organically and Conventionally Grown Tomatoes. *Acta Hort.* 700, ISHS 2006. 107-110.
- DUMAS, y. DADOMO, M., DI LUCA, G. AND GROLIER, P., 2003. Effects of environmental factors and agricultural techniques on anti-oxidant content of tomatoes. *J. Sci. Food Agric.* 83:369-382.
- GALVIS S., A. 1998. Diagnóstico y simulación del suministro de nitrógeno edáfico para cultivos anuales. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados, Instituto de Recursos Naturales, Especialidad Edafología. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 327 p.
- GARCÍA, ENRIQUETA 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen: para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía, UNAM. México. 246 p.
- GIRALDO, EUGENIO; 2014. Memoria del Congreso Internacional sobre el Manejo de Residuos Sólidos. Universidad de los Andes; p. 44-45.
- GÓMEZ, G., LEON, A., MACEDO, G., MORALES, G. P. y PAVÓN, T. B., 2011. Los residuos sólidos como fuente de energía y materia prima. Ed. Universidad Tecnológica del Valle de Toluca pp. 304-309 ISBN 978-607-607-015-4.
- HERNÁNDEZ, C., BONALES, J. y ORTIZ, C. F., 2014. Modelos de vulnerabilidad agrícola ante los efectos del cambio climático. *Revista CIMEXUS* Vol. IX, No. 2, pp. 31-48. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales (ININEE), Morelia, Michoacán, México.
- HERNÁNDEZ M., T. M. 2003. Uso de la termogravimetría para cuantificar las reservas orgánicas edáficas de nitrógeno y la capacidad del suelo para contenerlas. Tesis de doctorado en ciencias. Colegio de Postgraduados, Instituto de Recursos Naturales, Programa de Edafología. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 98 pp.
- LOHER, R. C., JEWELL, W. J. NOVAK, J. D. CLARKSON, W. W. Y FEEDMAN G. S., 1979. Land Application of wastes. Van Nosfran Reinghold. New York.
- MONTES C., TERÁN V. F., ORTIZ D. F. 2008. *Acta agronómica* (Palмира). 57 (4) 2008, p 263-267
- ORDAZ, J., RAMÍREZ, D., MORA, J., ACOSTA, A. y SERNA, B. 2010. Costa Rica: Efectos del cambio climático sobre la agricultura. CEPAL, Comisión Económica para América Latina, México, D. F.

- PUGET, E. AND DRINKWATER, L. 2001. Short-term dynamics of root and shoot-derived carbon from a leguminous green manure. *Soil Sci. Soc. of America J.* 65: 771-779.
- TAN, K. H. Y V. NOPAMOMBODI, 1996. Effect of different levels of humic acids on nutrient content and growth of corn (*Zea mays*). *Plant and soil* 51: 283-287.
- TORRES, S., BARRIENTOS, B., HERNÁNDEZ, M. del C., GÓMEZ, G. y MACEDO, M. G., 2011. Los residuos sólidos como fuente de energía y materia prima. Ed. Universidad Tecnológica del Valle de Toluca pp. 253-257 ISBN 978-607-607-015-4.
- WILLIAMS, ERIC; 2011. Environmental effects of information and communications technologies. *Nature* 479; pp. 354-358; doi: 10.1038/nature 10682.

### **Dictiotopografía**

<http://www.eumed.net/libros-gratis/2006a/ah-prod/2g.htm>

<http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/apoyosubsidios/residuos/Documents/Lineamientos-ProyRSU-SEMARNAT-2015.pdf>