

## **Mineralización del estiércol bovino y su impacto en la calidad del suelo y la producción de tomate (*Lycopersicum sculentum* Mill) bajo riego sub-superficial**

(con 3 figuras y 6 tablas)

**Salazar-Sosa<sup>1</sup> Enrique, Cirilo Vázquez-Vázquez<sup>1</sup>, Juan Antonio Leos-Rodríguez<sup>2</sup>, Manuel Fortis-Hernández<sup>3</sup>, José Alfredo Montemayor-Trejo<sup>3</sup>, Rafael Figueroa-Viramontes, José Dimas López-Martínez**

**Resumen.** El estudio se realizó en el Campo Agrícola Experimental de la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango (CAE-FAZ-UJED) en 1998 y 1999. Se evaluó el impacto de dos factores sobre rendimiento y características físicas y químicas del suelo. Los factores fueron: factor A acolchado; con y sin plástico negro y Factor B estiércol de bovino con los niveles siguientes: testigo (cero aplicación), 40 t ha<sup>-1</sup>, 80 t ha<sup>-1</sup>, 120 t ha<sup>-1</sup> y 160 t ha<sup>-1</sup>, fertilizante químico (100-60-00). El genotipo fue el híbrido Saladette Río Grande. El sistema de riego fue de gravedad en 1998 y goteo (cintilla) en 1999 ya que está demostrado que con el riego por gravedad las pérdidas de conducción, evaporación e infiltración rebasan hasta en más del 40% al de goteo y para esta región este es un factor determinante en la producción agrícola dada la baja disponibilidad de agua y la alta evaporación, la cual rebasa hasta en un 11% a la precipitación pluvial anual. Los tratamientos se establecieron en un diseño de bloques al azar con arreglo en franjas con tres repeticiones. Hubo un incremento en la materia orgánica y nitratos en los tratamientos donde se aplicó estiércol con acolchado plástico, influyendo esto en el rendimiento del cultivo. Los resultados para 1998 indican que los rendimientos totales de tomate en kg ha<sup>-1</sup> no reflejan claramente la bondad del estiércol ya que el testigo es estadísticamente igual, así como también al tratamiento donde se aplicó fertilizante químico, debido probablemente a que en el primer año el suelo, por su textura arcillosa, presentaba nutrimentos suficientes para satisfacer las necesidades del cultivo, esto es muy común cuando se trabaja con estiércoles o fertilizantes químicos sobre los suelos arcillosos. Para el año 1999 los resultados, con respecto al

---

<sup>1</sup> Profesor Investigador. División de Estudios de Posgrado, Facultad de Agricultura y Zootecnia (FAZ-UJED) Apartado Postal 142-2. Gómez Palacio, Durango. (enmagee1@yahoo.es)

<sup>2</sup> Profesor Investigador. Coordinación General de Estudios de Posgrado, Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Chapingo, Estado de México (leos@taurus1.chapingo.mx)

<sup>3</sup> Profesor Investigador. Subdirección de Investigación y Graduados Agropecuarios, Instituto Tecnológico Agropecuario N° 10 (SIGA-ITA 10). Torreón, Coahuila (mfortis@avantel.net).

Recibido 16.VI.2004; aceptado 23.VII.2004

rendimiento total de tomate, también presentaron significancia estadística al ( $P < 0.05$ ), pero en este año el testigo fue superado por la mayoría de los tratamientos con aplicación de estiércol, siendo mejor el tratamiento con 120 ton ha<sup>-1</sup> y acolchado con 119.58 ton ha<sup>-1</sup>. Con respecto al tratamiento con fertilizante químico y acolchado no presentó diferencia con el de 120 t ha<sup>-1</sup> de estiércol y acolchado, cuyo rendimiento fue igual, lo que demuestra la bondad del estiércol en la disponibilidad de nutrimentos después del segundo año de su aplicación.

**Palabras clave:** Acolchado plástico, riego presurizado, nitratos

**Abstract.** The study was carried out at the experimental field of the Faculty of Agriculture y Zootecnia, Universidad Juárez in the State of Durango, Mexico. The following factors were evaluated on soil physical and chemical parameters and yield: factor A; with and without plastic mulch and factor B; Manure dosage, whose levels were: control (no application); 40 t ha<sup>-1</sup>, 80 t ha<sup>-1</sup> and 160 t ha<sup>-1</sup> respectively. As additional level, one chemical fertilizer was used (100-60-00 kg ha<sup>-1</sup>). The crop used was tomato hybrid type saladette Río Grande. The irrigation systems used were gravity during 1998 and drip irrigation in 1999. The treatments was settled down in a random experimental block design with three replications. The experimental data indicated that organic matter and nitrates showed an increment in their content with significance due to the manure applications with dark plastic mulch. For 1998 treatments 1 to 7 (control, chemical fertilizer without black plastic mulch, chemical fertilizer with black plastic mulch, 120 t ha<sup>-1</sup> without black plastic mulch, control without black plastic mulch, 40 t ha<sup>-1</sup> without black plastic mulch and 80 t ha<sup>-1</sup> without black plastic mulch) were higher in a range of 46.9 to 58.8 t ha<sup>-1</sup> to those obtained in treatments, 8-12 respectively. In 1999 yield showed statistical significance, in the yield for the control treatment was lower compared to the other treatments. In addition, the chemical fertilizer level had similar yield production than the manure (120 t ha<sup>-1</sup>) with plastic mulch (117.42 t ha<sup>-1</sup>).

**Key words:** Plastic mulch, drip irrigation, nitrates

El uso excesivo de fertilizantes químicos y la poca utilización de abonos orgánicos ha producido el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Se ha generado poca tecnología para utilizar este valioso desecho de la actividad pecuaria. En la Comarca Lagunera, región desértica ubicada al norte de México, el estiércol de bovino se utiliza de manera inadecuada ya que se aplica en forma excesiva provocando la salinidad del suelo y la lixiviación de nitratos originando una contaminación de los mantos acuíferos en la región (19). El acolchado plástico es una técnica que se utiliza para conservar la humedad del suelo, aumentar su temperatura e incrementar la disponibilidad de nutrimentos para la planta, entre otras ventajas; sin embargo, existen pocos estudios en México que presenten los datos cuantitativos sobre la bondad de los plásticos en la descomposición del estiércol y cómo ésta es afectada por la humedad y la temperatura del suelo, determinantes importantes en este proceso (1, 4, 10, 16, 23). Es urgente en la Comarca Lagunera el cambio del sistema de riego tradicional (por inundación o gravedad) hacia un sistema de riego presurizado ya que el abatimiento de los mantos acuíferos está en incremento año a año; se estima que la recarga es 50 % menor que la extracción (7).

En esta región se localiza una de las cuencas lecheras más importantes del país, con más de 400,000 cabezas de ganado bovino de las cuales alrededor de 200,000 están en producción. La generación de estiércol seco es de 3 a 4 kg día<sup>-1</sup>/cabeza, lo que representa sólo en este tipo de ganado cerca de un millón de kg de estiércol seco por día (17). En esta Comarca los productores que disponen de estiércol lo utilizan indiscriminadamente aplicando dosis altas de 200 a 250 toneladas por año por hectárea, lo anterior hace necesario llevar a cabo análisis del balance salino y de la calidad del suelo en los terrenos donde se aplica el estiércol, para que se dosifique y maneje adecuadamente *in-situ* debido a que el estiércol presenta una alta capacidad de intercambio catiónico y a medida que se va descomponiendo o biodegradando se van liberando iones que afectan la fertilidad natural del suelo, generando salinidad y sodicidad. Esto puede ser una desventaja y llegar a tener efectos directos en la productividad de los cultivos que se establezcan (15). Los principales problemas son: falta de conocimiento técnico para aprovechar los residuos de estiércoles, dosificación inadecuada, desconocimiento técnico sobre el efecto de la aplicación continua de los estiércoles al suelo, así como también sobre el grado de biodegradación del estiércol a través del tiempo y su impacto en la planta (5,20). El tomate, en México se considera como la especie hortícola más importante debido a que se adapta a casi todas las regiones del país (2), es una de las hortalizas más exportadas y ocupa una gran cantidad de mano de obra. En esta región se destinan 750 ha para su producción, de éstas el 95% de la producción de tomate del Estado de Coahuila se cosecha en la Comarca Lagunera, lo mismo ocurre con la producción estatal de Durango (17). En base a lo anterior se inició este estudio como parte de un experimento a largo plazo para cuantificar *in-situ* la descomposición del estiércol bajo un sistema de producción específico y así estar en condiciones de contribuir a una agricultura sustentable en la región.

El objetivo de este estudio fue evaluar la degradación del estiércol y su impacto en la calidad del suelo bajo riego por goteo y superficial, y así poder mejorar el sistema de producción actual de la Comarca Lagunera.

## MATERIALES Y METODOS

**Descripción del sitio de estudio.** El trabajo se realizó en el Campo Agrícola Experimental de la Facultad de Agricultura y Zootecnia (CAE-FAZ-UJED), localizada en el Km 30 de la Carretera Gómez Palacio-Tlahualilo en el Ejido Venecia, Municipio de Gómez Palacio, Durango. El clima según la clasificación de Köppen, modificado por García (8), son de estepa (BS) y desértico (BW), un clima árido con un promedio anual de precipitación de 230 mm y una evaporación que es de 6 a 11 veces mayor

que la precipitación que se registra año con año y una temperatura media anual de 20.7 °C.

**Material vegetativo.** Se plantó el tomate *Lycopersicon sculentum* Mill. *Var* Saladet Río Grande, el 30 de Abril de 1998 y el 28 de Marzo de 1999, a una distancia entre plantas de 40 cm y 1.8m entre camas se seleccionó este híbrido por ser el que se recomienda en la región.

**Tratamientos:** Los espacios de exploración fueron los siguientes:

- Factor A (acolchado plástico negro): Acolchado A1; Sin Acolchado A2
- Factor B (estiércol de bovino): B1 = 0 t ha<sup>-1</sup> (testigo); B2 = 40 ha<sup>-1</sup>; B3 = 80 ha<sup>-1</sup>; B4 = 120 ha<sup>-1</sup>; B5 = 160 ha<sup>-1</sup>; B6 = 100-60-00 (fertilización química)

Los tratamientos fueron 12 identificados de la siguiente manera: T1=A1B1; T2=A1B2; T3=A1B3; T4=A1B4; T5=A1B5; T6=A1B6; T7=A2B1; T8=A2B2; T9=A2B3; T10=A2B4; T11=A2B5 y T12=A2B6.

En ambos años para el tratamiento de fertilización química se utilizó la fórmula 100-60-00 (la cual es la utilizada a criterio por el productor) aplicando todo el P y la mitad del N al trasplante y la otra mitad del N 45 días después del trasplante. La fuente de N fue urea (46-00-00) y la de P fue MAP (11-52-00). Con respecto al estiércol, este se obtuvo del establo de la Facultad de Agricultura y Zootecnia y se aplicó un mes antes del trasplante.

**Diseño experimental:** En la distribución de los tratamientos en campo se utilizó un diseño de bloques al azar con arreglo en franjas con tres repeticiones. La unidad experimental contó con 6 m de ancho por 8 m de largo dando un área de 48 m<sup>2</sup>. En los dos años de estudio se realizaron labores de barbecho a 30 cm de profundidad, rastreo, nivelación y preparación de camas antes del establecimiento.

**Manejo del experimento:** El trabajo se realizó en dos etapas. En la primera se plantó tomate en el ciclo primavera-verano de 1998 bajo riego superficial y en 1999 se estableció bajo riego con cintilla, acolchado con plástico negro y estiércol de bovino. El acolchado plástico se llevó a cabo con una máquina mecánica la cual se acopla a un tractor por medio de un enganche de 3 puntos. Esta desenrolla, tiende y estira el plástico a una velocidad de 3 km hr<sup>-1</sup> y a la vez va enterrando la cintilla.

El acolchado quedó en camas de 1.8 m de ancho, 0.25 m de alto por 60 m de longitud y la cinta de riego se enterró a 10 cm de profundidad con orificios cada 30 cm. El plástico de polietileno usado fue el de calibre 150, color negro. Una vez humedecido el suelo se procedió a hacer los orificios de 3 pulgadas de diámetro cada 40 cm, espacio donde se transplantó el tomate. La plántula de tomate se obtuvo de semilla sembrada en charolas de 200 cavidades con el sustrato germinaza en el invernadero de la FAZ el 15 de febrero de 1998 y se transplantó el 30 de abril. Para el año 1999 se compró la planta de invernaderos ubicados en Matamoros, Coahuila.

Cuadro 1.– Variables medidas en el suelo en 1998 y 1999 (CAE-FAZ-UJED).

Variables	Unidad	Época de muestreo	Método
<b>Conductividad eléctrica</b>	<b>(dS m<sup>-1</sup>)</b>	<b>Antes y después del cada ciclo vegetativo</b>	<b>Conductímetro digital</b>
Materia orgánica	(%)	Antes y después del cada ciclo vegetativo	Walkley y Black
Potencial Hidrógeno		Antes y después del cada ciclo vegetativo	Potenciómetro digital
Temperatura del suelo	(°C)	Diez veces a través del ciclo 3 de la tarde	Termómetros
Humedad del suelo	(%)	Antes de regar (sólo para 1999) a floración	
Amonio	mg kg <sup>-1</sup>	Inicio y final del ciclo vegetativo	Kjendahl
Nitratos	mg kg <sup>-1</sup>	Inicio y final del ciclo vegetativo	Ácido fenoldisulfónico

La instalación del sistema de riego en 1999 consistió de un cabezal de control constituido por una bomba hidráulica de 1 HP, pichancha y filtro de sedimentos, además de la red de tubería de conducción. Se utilizó en la aplicación del agua Cintilla T–tape calibre 0.505, así como también acolchado con plástico transparente polietileno negro calibre 150. Para las muestras de análisis de suelo y temperatura se utilizó barrena de caja y California. También se utilizaron termómetros manuales tipo SA08XN para la medición de la temperatura del suelo.

**Variables medidas en suelo y planta:** Se las midió al inicio del experimento: textura (T), capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y humedad aprovechable (HA). En 1999 se midieron las siguientes variables (Cuadro 1).

Las variables medidas fueron: rendimiento, número de frutos por tratamiento, peso de frutos por tratamiento, clasificación de frutos por categorías, estas variables fueron evaluadas a la cosecha.

Se evaluó la mineralización del estiércol por tratamiento; se realizaron dos muestreos para determinar en el laboratorio la cantidad de amonio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) y nitratos (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). El análisis estadístico se realizó con el paquete computacional Statistical Analysis System Ver. 6.18 (21). El diseño experimental fue el de bloques al azar con arreglo en franjas, cuyo modelo matemático fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + A_j + \sum_{ij} + B_k + \sum_{ik} + (A*B)_{jk} + \sum_{ijk}$$

donde: i es el efecto de las repeticiones, j es el efecto del acolchado, k es el efecto de los niveles de estiércol, Y<sub>ijk</sub> es la respuesta observada en la i-ésima repetición de j-ésimo sistema de acolchado y el k-ésimo nivel de estiércol,  $\mu$  es la media general, R<sub>i</sub> es el efecto de la i-ésima repetición, A<sub>j</sub>

es efecto del j-ésimo sistema de acolchado,  $\Sigma_{ij}$  es componente del error del factor A,  $B_k$  es efecto del k-ésimo nivel del estiércol,  $\Sigma_{ik}$  es componente del error del factor B,  $(A*B)_{jk}$  es efecto de la interacción del j-ésimo sistema de acolchado con el k-ésimo nivel de estiércol,  $\Sigma_{ijk}$  es error general.

## RESULTADOS Y DISCUSION

**Características físicas del suelo en 1998 (antes de aplicar el estiércol).** Las características físicas del suelo en donde se estableció el experimento indican que es un suelo arcilloso hasta la profundidad de 90 cm y franco arcilloso de 90-120 cm, lo cual manifiesta que este tipo de suelo retiene nutrientes y agua en forma significativa para el cultivo comparado con cualquier otro tipo de suelo mineral, ya que su agua disponible (CC y PMP) es alta en comparación con las otras 10 clases texturales que existen (2).

**Temperatura del suelo en 1998 (a través del ciclo del cultivo).** El análisis de varianza por fecha indica que en el 72% de los casos se encontró diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) para el factor acolchado y temperatura del suelo; la comparación de medias muestra que el mejor tratamiento fue el acolchado plástico en las diferentes fechas de muestreo. Los tratamientos con plástico fueron mejores para la degradación del estiércol de bovino porque sus temperaturas fueron óptimas para la máxima actividad de los microorganismos (16). Los rangos de temperatura fueron de 30.5 a 34.1 °C.

Para la variación de la temperatura por profundidad, el mejor tratamiento fue el acolchado plástico a 0-7.5 cm siendo la temperatura en promedio 3 °C mayor que sin acolchar. A mayor profundidad, menor la diferencia, hasta un promedio de temperatura de 1 °C a favor del acolchado para el año de 1998. Esto refleja la bondad del plástico sobre la temperatura del suelo lo cual es indicado como una limitante en los estudios con plásticos por investigadores (1, 10).

Los valores de temperatura con acolchado plástico negro y la profundidad de 0-7.5 cm son los valores óptimos para la actividad enzimática de los microorganismos degradadores de materia orgánica, debido a una mayor retención de calor y a una menor reflexión del mismo. Valores similares de temperatura fueron encontrados por Teasdale y Abdul-Baki (22).

El comportamiento de la temperatura del suelo a la profundidad de 0 a 15 cm con y sin acolchado plástico negro indica que los valores de temperatura con acolchado son en promedio 4 °C mayores que sin acolchado. Los valores de temperatura del suelo con acolchado son óptimos de 30-35 °C para la actividad enzimática de los microorganismos, por lo tanto se espera una mayor degradación del estiércol de bovino con acolchado que sin él, tal como lo encontraron Abdul-Baki *et al.*, (1). La tempe-

ratura del suelo en las zonas muestreadas siempre fue mayor en los tratamientos con acolchado que sin acolchar observándose un incremento de temperatura de 3.6 a 5.5 °C.

En la Figura 1, se observa el promedio de la temperatura del suelo a las profundidades de 0-7.5 y 7.5-15 cm. A mayor profundidad menor temperatura. Resultados similares fueron encontrados por Teasdale y Abdul-Baki (22).

**Temperatura del suelo para 1999 a través del ciclo del cultivo.** Para el año 1999 la temperatura fue 1 °C mayor con acolchado que sin acolchado. En este año el riego fue con cintilla, existiendo una homogeneidad en la humedad del suelo, esto pudo haber influido para que no existiera una diferencia mayor en temperatura entre los tratamientos debido a la capacidad amortiguadora de la humedad del suelo. Para el 16 de Junio existe una diferencia en temperatura de 3 °C entre las profundidades de 0-7.5 y 7.5-15 cm. Pero la diferencia en temperatura por profundidad fue mayor el 3 de agosto con 5.0 °C comparados con las otras fechas.

La temperatura del suelo con y sin acolchado a 0-15 cm en el tratamiento con acolchado, varía de 27 a 30 °C. Los valores sin acolchado varían de 25.5 a 28 °C. La diferencia es de aproximadamente 1.5 °C mayor con acolchado, lo cual indica que existieron mejores condiciones para la degradación del estiércol de bovino con acolchado en 1999. Resultados similares fueron encontrados por Wien *et al.*, (24) los cuales señalan que la mayor intensidad de descomposición orgánica ocurre a los 30 °C, ya que esta temperatura favorece una mayor actividad de los microorganismos.

En la Figura 2, se observa que las mejores condiciones de temperatura para la actividad de los microorganismos se presentan entre los 0-7.5 cm, variando ésta entre los 26.5 y los 32 °C. A la profundidad de 7.5-15 cm la

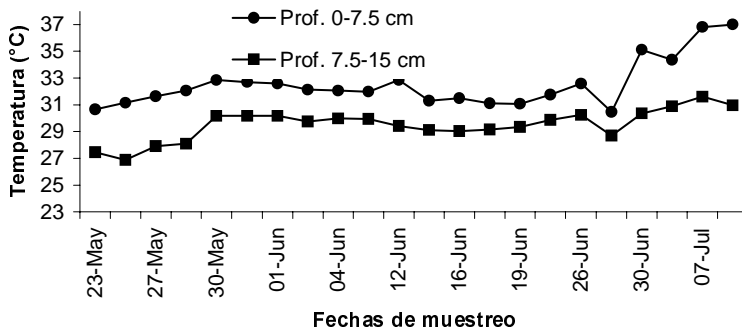


Fig. 1.- Temperatura del suelo a dos profundidades en el cultivo de tomate en el CAE-FAZ-UJED, 1998.

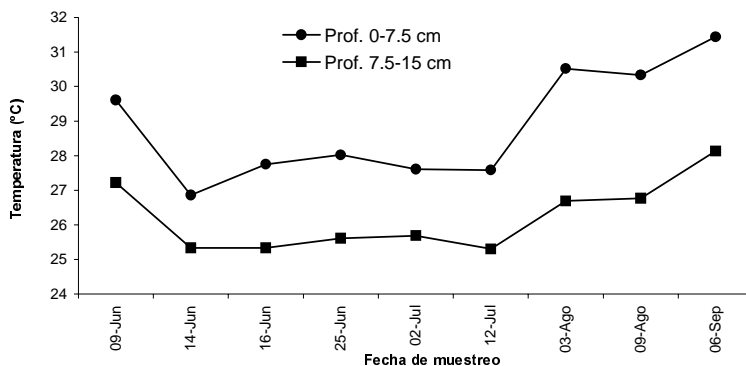


Fig. 2.- Temperatura promedio del suelo a dos profundidades en el cultivo del tomate en el CAE-FAZ-UJED, 1999

temperatura varía de 25 a 27 °C, estos valores no son óptimos para la actividad de los microorganismos por lo tanto se espera una menor biodegradación del estiércol a esta profundidad.

**Humedad de suelo en el año de 1999.** La humedad del suelo con y sin acolchado por tratamiento de estiércol de bovino para la profundidad de 0-7.5 cm tiene una tendencia de incremento de humedad; a mayor contenido de estiércol mayor contenido de humedad, tendencias similares fueron encontradas por Colla (6). El acolchado aumenta un 20% la temperatura. El cultivo del tomate con acolchado tiene mayor rendimiento debido a que los nutrimentos (nitrógeno inorgánico principalmente) se encuentren más disponibles para el cultivo, como lo indican Rodríguez *et al.*, (16).

La temperatura, la humedad y su relación, además de otras características físico-química del suelo, condicionan la actividad de la flora y fauna microbiana afectando en forma positiva o negativa a la nitrificación. El N del suelo, obtenido mediante la nitrificación, está casi todo a disposición de las plantas. Bajo acolchado y haciendo un suministro adecuado del riego no hay pérdidas por percolación (9).

En relación al contenido de humedad con y sin acolchado a la profundidad de 0-7.5 cm los tratamientos con estiércol son los mejores comparados con el testigo. Este contenido de humedad fue muestreado antes de la aplicación del agua. La diferencia con y sin acolchar en promedio fue de 6% de humedad mayor en acolchado. Esta diferencia es menor comparada con el estrato de 0-7.5 cm; sin embargo, en el estrato de 7.5-15 cm el acolchado sigue presentando las mejores condiciones de humedad para el desarrollo del cultivo. Los valores de humedad variaron de 21 a 31% en acolchado; sin acolchado varían del 15 al 24%, por lo que el estiércol incrementa la capacidad de retención de la humedad y nutrientes del suelo; datos similares son reportados por Castellanos (5) y Monks *et al.*,



(14), quienes consideran que a mayor contenido de humedad mayor contenido de abono orgánico biodegradado.

La lámina de agua total aplicada bajo el sistema de riego por cintilla para el cultivo del tomate en 1999 fue de 67 cm, siendo muy similar a la reportada por Levin y García (11) y desde luego con una eficiencia de más de 40% mayor que en riego por gravedad en cuanto a ahorro y pérdidas por aplicación y conducción.

**Características fisico-químicas del suelo antes de aplicar el estiércol en 1998.** El Cuadro 2, muestra las características químicas del suelo. El pH en general es alcalino, el valor de materia orgánica es pobre (2.1%) en el estrato de 0-30 cm. y disminuye hasta 0.51 % de 90-120 cm de profundidad. El valor de CE ( $1.5 \text{ dS m}^{-1}$ ) es normal para el establecimiento de cualquier cultivo agrícola y al igual que la materia orgánica disminuye en los estratos siguientes. En lo referente a  $\text{N-NO}_3^-$  se considera un suelo pobre ya que la concentración máxima encontrada fue de  $17.5 \text{ mg kg}^{-1}$  a 0-15 cm y baja hasta  $3 \text{ mg kg}^{-1}$  en el estrato 90-120 cm, indicando que el suelo requiere fertilización química u orgánica para un buen desarrollo del cultivo. El contenido de P se considera bajo, el valor del K  $1193.7 \text{ mg kg}^{-1}$  es alto, lo cual es una característica de las regiones con suelos calcáreos. Para el valor de  $\text{N-NH}_4^+$ , al igual que para el nitrato se clasifica como suelo pobre con menos de  $14.52 \text{ mg kg}^{-1}$ , en términos generales estos resultados son normales para los suelos de la región donde se aplica estiércol u otro componente orgánico.

**Características fisico-químicas del suelo al final del ciclo vegetativo del cultivo en 1998 y después de aplicar el estiércol.** Al final del ciclo 1998 la comparación de medias para MO muestra que los mejores tratamientos son los de mayor contenido de estiércol: T4, T5, T3 y T2. Sin embargo el valor más alto (2.5 %) de MO se clasifica como pobre; en este primer año no existe un incremento de MO en los sitios donde se aplicó estiércol. Los tratamientos testigos presentan los valores más bajos de MO existiendo diferencia significativa con respecto a los niveles de estiércol de bovino (Cuadro 3).

Cuadro 2.- Características físicas y químicas del suelo (CAE-FAZ UJED, 1998).

Profundidad Cm	pH $\text{dS m}^{-1}$	MO% $\text{Mg kg}^{-1}$	CE $\text{mg kg}^{-1}$	$\text{N-NO}_3^-$ $\text{mg kg}^{-1}$	P $\text{mg kg}^{-1}$	K	$\text{N-NH}_4^+$
0-15	8.19	2.17	1.57	17.5	10.5	1193.7	12.77
15-30	8.25	1.85	1.37	9.75	20.7	930	14.52
30-60	8.16	1.24	1.22	4	10.7	606.2	13.4
60-90	8.18	0.92	1.03	3.5	5.0	422.5	14.1
90-120	8.19	0.51	1.06	3	4.7	451.2	12.7

Con respecto a la conductividad eléctrica (CE) el tratamiento con mayor CE es el T5 (160 t ha<sup>-1</sup> de estiércol) con un valor de 4.9 dS m<sup>-1</sup>, seguido de los niveles 80, 40 y 120 t ha<sup>-1</sup> de estiércol. Estos tratamientos no difirieron entre sí, pero sí con el de 160 t ha<sup>-1</sup> de estiércol. El rango óptimo de salinidad para la producción agrícola se considera normal hasta un valor de 4 dS m<sup>-1</sup> y con el nivel de 160 t ha<sup>-1</sup> de estiércol este valor es superior, 4.9 dS m<sup>-1</sup>. Lo que indica que este nivel de estiércol puede presentar problemas de salinidad, sobre todo cuando se aplican estas dosis cada año.

En el Cuadro 3, se observa la comparación de medias para N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en las diferentes dosis de estiércol de bovino mostrando que el mayor nivel es T5 con un valor de 46.36 mg kg<sup>-1</sup> considerándose que este suelo bajo estas condiciones tiene un nivel alto de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, por lo que ya no se necesitaría aplicar N al menos al inicio del ciclo del cultivo.

**Características químicas del suelo al final del ciclo vegetativo del cultivo en 1999.** En el Cuadro 4, se observa la comparación de medias para MO, siendo el mejor tratamiento el de 160 t ha<sup>-1</sup> de estiércol

Cuadro 3.- Comparación de medias para conductividad eléctrica, M.O. y nitratos en las diferentes dosis de estiércol de bovino en el CAE-FAZ-UJED, 1998.

Niveles de estiércol	Media CE dS m <sup>-1</sup>	Media MO (%)	Media N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )
T5 = 160 t ha <sup>-1</sup>	4.90 a	2.51 a	46.36 a
T3 = 80 t ha <sup>-1</sup>	3.66 b	2.45 a	36.55 b
T2 = 40 t ha <sup>-1</sup>	3.58 b	2.44 a	36.31 b
T4 = 120 t ha <sup>-1</sup>	3.31 b	2.27 a	36.25 b
T6 = 100 - 60 -00	2.66 c	2.02 b	25.63 c
T1 = Testigo	2.58 c	1.97 b	22.36 c
	∞ = 0.05	∞ = 0.05	∞ = 0.05
	D.M.S. = 0.98	D.M.S. = 0.330	D.M.S. = 7.859

Comparación de medias entre columnas con letras latinas no iguales son estadísticamente diferentes (P<0.05)

Cuadro 4.- Comparación de medias para C.E, M.O. y nitratos en las diferentes dosis de estiércol de bovino en el CAE-FAZ-UJED, 1999

Niveles de estiércol	M.O. %	C.E. dSm <sup>-1</sup>	N-NO <sub>3</sub> mg kg <sup>-1</sup>
Testigo	1.75	2.58	7.77
40 t ha <sup>-1</sup> de estiércol	2.68	3.14	8.97
80 t ha <sup>-1</sup> de estiércol	2.27	3.61	21.50
120 t ha <sup>-1</sup> de estiércol	2.75	6.98	19.72
160 t ha <sup>-1</sup> de estiércol	2.90	5.11	38.75
100-60-0	1.72	2.36	9.81

con un valor de 2.90 %, seguido de los niveles de 120 y 40 t ha<sup>-1</sup>; no existiendo diferencias entre sí, pero sí con los otros tratamientos. Estos valores se clasifican como intermedios; sin embargo, se nota un incremento de 1% de MO con respecto al inicio del experimento en 1998, esto refleja la bondad del estiércol.

La conductividad eléctrica (CE) es mayor en el tratamiento de 120 t ha<sup>-1</sup> de estiércol siendo diferente a los demás, seguido del nivel 160 t ha<sup>-1</sup> de estiércol con valor de 5.11 dSm<sup>-1</sup>, ambos tratamientos rebasan los límites permisibles de 2.7 dSm<sup>-1</sup> para tomate, aunque el límite general permisible en los suelos es de 4 dSm<sup>-1</sup> y se ha encontrado que el tomate desarrolla y produce buenas cosechas no rebasando este límite (1). Al biodegradarse el estiércol libera iones que aumentan la concentración salina del suelo. Tanto la fórmula utilizada por el productor y el testigo se encuentra en niveles adecuados de CE para la siembra de tomate con 2.36 y 2.58 dSm<sup>-1</sup>, respectivamente. Estos resultados indican que no se deben aplicar dosis superiores a 80 kg de estiércol por hectárea en el cultivo.

En el mismo Cuadro 4, se observa la comparación de medias para nitratos donde el tratamiento más alto fue el de estiércol con 160 t ha<sup>-1</sup> con 38.75 mg kg<sup>-1</sup>, diferente al resto de los tratamientos. Una vez más se refleja la bondad del estiércol con una mayor mineralización, evidenciada por una mayor cantidad de nitratos en el suelo en este segundo año de aplicación. La tendencia es similar a lo encontrado en la Estación Experimental de Amarillo Texas (EE.UU), durante 5 años se incrementó el nivel de MO y como consecuencia la concentración de nitratos (12).

**Concentración del amonio para 1999 en acolchado al final del ciclo vegetativo del cultivo.** Con respecto a la concentración de amonio para la profundidad de 0-15 cm se observaron niveles que oscilan entre 4.2-16.5 mg kg<sup>-1</sup> y son muy parecidos a los del inicio de experimento en 1998. Sin embargo, es importante considerar que al inicio del ciclo vegetativo en 1999 la concentración de amonio a la misma profundidad fluctuó de 18.5-68.9 mg kg<sup>-1</sup> por lo que es claro que en este ciclo vegetativo

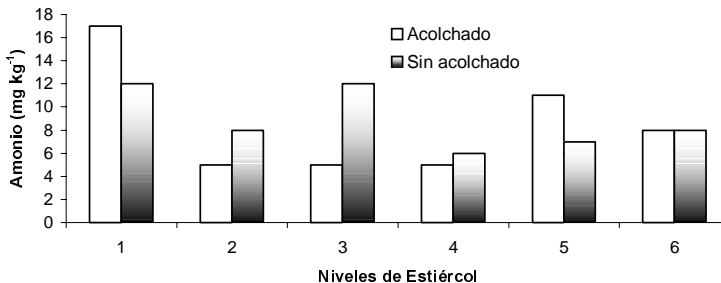


Fig. 3.- Concentración de amonio con y sin acolchado a la profundidad de 0-15 cm en las diferentes dosis de estiércol CAE-FAZ-UJED, al final de 1999.

el amonio fue mineralizado en el transcurso del tiempo debido a una fuerte actividad enzimática (Figura 3). La movilidad del ion amonio en el suelo es en gran medida inferior a la del nitrato, asimismo, la concentración de nitrato en el suelo es mayor que la de amonio (13).

La concentración del amonio para la profundidad de 15-30 cm con y sin acolchado para final de 1999 fluctuó entre 5-18 mg kg<sup>-1</sup> muy similares a las del inicio del experimento en 1998, con y sin acolchado. Esto refleja de manera clara que a esta profundidad se presentó una mineralización de amonio, siendo el nivel de estiércol de 40 t ha<sup>-1</sup> con acolchado el más alto con 18 mg kg<sup>-1</sup>.

El amonio para la profundidad de 30-60 fluctúa de 4-16 mg kg<sup>-1</sup> como era de esperarse, ya que a esta profundidad los valores disminuyeron en todos los tratamientos debido a que la amonificación a este punto disminuye considerablemente.

**Rendimiento del cultivo en 1998.** En este año el análisis de varianza para el rendimiento de tomate muestra que se encontró diferencia significativa para la interacción acolchado y niveles de estiércol. En el Cuadro 5 se observa la comparación de medias con y sin acolchado en los diferentes niveles de estiércol de bovino. Con respecto al rendimiento el mejor tratamiento fue acolchado-testigo sin fertilizar (58.4 t ha<sup>-1</sup>). No existe diferencia en los tratamientos con acolchado con 40 y 120 tha<sup>-1</sup>. El valor más alto de rendimiento es normal ya que el cultivo del tomate se estableció en este año bajo riego superficial, tendencias similares de rendimiento

Cuadro 5.- Comparación de medias para rendimiento total en tomate para la interacción dosis de estiércol de bovino con y sin acolchado bajo riego por gravedad en el CAE-FAZ-UJED. 1998

Factor A	Factor B	Media (t ha <sup>-1</sup> )
Acolchado	Testigo	58.4 a
Sin Acolchado	Fórmula (100-60-00)	57.5 a
Acolchado	Fórmula (100-60-00)	55.9 a
Sin Acolchado	(120 t ha <sup>-1</sup> )	53.1 a
Sin Acolchado	Testigo	52.0 a
Sin Acolchado	(40 t ha <sup>-1</sup> )	48.2 a
Sin Acolchado	(80 t ha <sup>-1</sup> )	46.9 a
Acolchado	(40 t ha <sup>-1</sup> )	46.2 b
Acolchado	(120 t ha <sup>-1</sup> )	43.8 b
Sin Acolchado	(160 t ha <sup>-1</sup> )	37.5 b
Acolchado	(80 t ha <sup>-1</sup> )	32.4 c
Acolchado	(160 t ha <sup>-1</sup> )	24.4 c

∞ = 0.05

D.M.S. = 11.84

Comparación de medias entre columnas con letras latinas no iguales son estadísticamente diferentes (P<0.05)

fueron encontradas por Ibarra y Rodríguez (10). La media nacional de producción bajo estas condiciones para este cultivo es de 22-23 t ha<sup>-1</sup>. Considerando que este tipo de suelo es arcilloso, hasta la profundidad de 1.20 m, es posible encontrar esta respuesta en el primer año, además, los microorganismos en los tratamientos del estiércol de bovino necesitan nitrógeno para su metabolismo para poder iniciar las transformaciones de estiércol para lo cual toman al nitrógeno presente en el suelo y ocurre una alta inmovilización del nitrógeno inorgánico. Lo que explica que la bondad del estiércol no se manifieste en rendimiento total en el primer año de su aplicación.

**Rendimiento del cultivo para 1999.** El análisis de varianza para el rendimiento total en el año de 1999 mostró diferencias altamente significativas para la interacción acolchado y tratamientos de estiércol, y para los dos factores en forma individual.

En el Cuadro 6 se observa la comparación de medias para la interacción dosis de estiércol con y sin acolchado bajo riego por cintilla, mostrando que las mejores interacciones son acolchado con 120 t ha<sup>-1</sup> y acolchado con fórmula química (100-60-00) con valores de 119.5 y 115.2 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Para este año los tratamientos con estiércol y acolchado se comportaron de manera similar a la fórmula química con acolchado, debido a que éste incrementa la temperatura del suelo en más de 4 °C en promedio, y con ello favorece la actividad enzimática de los microorganismos.

Cuadro 6.- Comparación de medias del rendimiento en tomate para la interacción dosis de estiércol de bovino, con y sin acolchado bajo riego por cintilla en el CAE-FAZ-UJED 1999.

Factor A	Factor B	Media (t ha <sup>-1</sup> )
Acolchado	(120 t ha <sup>-1</sup> )	119.58 a
Acolchado	Fórmula (100-60-00)	115.26 a
Acolchado	(160 t ha <sup>-1</sup> )	91.90 b
Acolchado	(80 t ha <sup>-1</sup> )	89.50 b
Sin Acolchado	(120 t ha <sup>-1</sup> )	77.50 b
Sin Acolchado	(40 t ha <sup>-1</sup> )	77.46 b
Acolchado	(40 t ha <sup>-1</sup> )	75.63 b
Acolchado	(Testigo)	67.66 c
Sin Acolchado	Fórmula (100-60-00)	67.63 c
Sin Acolchado	(160 t ha <sup>-1</sup> )	59.80 c
Sin Acolchado	(Testigo)	54.66 c
Sin Acolchado	(80 t ha <sup>-1</sup> )	49.70 c

∞ = 0.05  
D.M.S. = 16.51

Comparación de medias entre columnas con letras latinas no iguales son estadísticamente diferentes (p<0.05)

Por lo que existe una mayor biodegradación de MO incrementándose la disponibilidad de nutrientes para las plantas, principalmente el nitrógeno inorgánico ( $\text{N-NO}_3^-$  y  $\text{N-NH}_4^+$ ).

### CONCLUSIONES

Los valores de temperatura del suelo son óptimos con acolchado plástico negro para la actividad enzimática de los microorganismos que participan en la mineralización del nitrógeno inorgánico (30-35 °C) a la profundidad de 0-15 cm.

La concentración de humedad del suelo fue mayor en los tratamientos con acolchado plástico con estiércol aplicado y superiores en un 20% en comparación con los demás tratamientos.

Los valores de nitratos en el suelo son mayores con el acolchado en las dosis de estiércol en las tres profundidades. Esto favorece los requerimientos del cultivo pero también son un potencial de contaminación del suelo y del agua cuando se presentan en exceso.

Las altas concentraciones de amonio al inicio del ciclo vegetativo del cultivo para 1999 son normales en suelos arcillosos de la región y fueron superiores en el nivel de estiércol de 40 ton ha<sup>-1</sup>.

Los resultados de los rendimientos del cultivo con acolchado para el segundo año de aplicación de estiércol de bovino es igual al tratamiento químico por lo que se demuestra la eficiencia del estiércol como suplemento de las aplicaciones de fertilizante químico.

Los valores de conductividad eléctrica se incrementan al doble con los niveles de estiércol, incluso los niveles 160 y 120 t ha<sup>-1</sup> rebasan los límites de CE para un suelo normal ya que sus rangos son mayores de 4 dS m<sup>-1</sup>, por lo que se debe tener un cuidado a la hora de hacer recomendaciones, ya que los excesos de aplicación de estiércol podrían contaminar el suelo.

Se recomienda que en los suelos arcillosos de la región se inicie con la aplicación de estiércol en el primer año con una dosis que fluctúe entre los 80 y 120 t ha<sup>-1</sup> y para el segundo año, dependiendo del análisis de suelo, disminuirla según la concentración salina del mismo.

### BIBLIOGRAFIA

1. Abdul-Baki A, JR Tesalde, R Korcak, DJ Chitwood. Fresh-market tomato production in a low-input alternative system using cover-crop mulch. *Hort Science* 31 (1996) 65
2. Bareiro PM, Claridades Agropecuarias. ASERCA-SAGARPA. México (1995) 3-14
3. Cadahia C, Fertirrigación: Cultivos hortícolas y ornamentales (1998) 46-47, Ed. Mundi-Prensa. Páginas 475. 2da. Ed, España
4. Chen Y, J Katan, Effects of solar heating of soils by transparent polyethylene mulching on their chemical properties. *Soil Sci* 130 (1990) 271

5. Castellanos JZ, OJJ Márquez, JD Etchewrs, AA Santelises, JR Salinas, Efecto de largo plazo de la aplicación de estiércol de ganado lechero sobre el rendimiento de forrajes y las propiedades del suelo en una región árida irrigada del Norte de México. *Revista Terra* 14 (1996) 150-188
6. Colla G, JP Mitchell, BA Joyce, LM Huyck, WW Wallend, SR Temple, TC Hasio, DD Poudel, Soil Physical Properties and Tomato Yield and Quality in Alternative Cropping Systems, *Agron J* 92 (2000) 924
7. Fortis HM, A Rhodante, JA Leos-R, E Salazar-S, El mercado de los derechos de agua en la Comarca Lagunera. *Rev Políticas Agrícolas* 12 (2002) 103
8. García E, Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köeppen. Offset Larios (1981)
9. Grubinger, VP, PL, Minotti, HC y Turner, AD. Tomatoe response to starter fertilizer, polyethylene mulch, and level of soil phosphorus. *J Am Soc Hort Sci* 118 (1993): 212-216.
10. Ibarra, JL y PA Rodríguez. 1991. Validación del acolchado plástico en tomate, pepino, sandía y algodón en el noroeste de México. *Revista Terra*. 9 (2): 150-156
11. Levine, G, y D. García. 1996. Desempeño de los módulos transferidos en el distrito de riego de la Comarca Lagunera. Tópicos relacionados con el agua. Segundo Seminario Internacional: Transferencia de Sistemas de Riego. Guanajuato, México
12. Mathers, AC. and BA. Stewart. 1980. The effect of feedlot manure on soil physical and chemical properties. Pp. 159-62. In *Livestock Waste: A Renewable Resource. The Proceedings of the 4th International Simposium on Livestock Wastes/1980*, abril 15-17, Amarillo, Texas
13. Mengel, K. and EA Kirkby. 1982. *Principles of Plant Nutrition*. 3er. Ed. International Potash Institute. Bern, Switzerland. 655 p
14. Monks, CD., Monks, OW., Basden, TA y Rayburn, E. 1997. Soil temperatures, soil moisture, weed control and tomatoe response to mulching. *Weed technology*. Vol.11: 561-566
15. Paul, EA. and FF Clark. 1989. *Soil Microbiology and Biochemistry*. Ed. Academic Press. Inc. San Diego. California. pp. 115-130.
16. Rodríguez, PA, JA Olmos, y J Ibarra. 1986. Cultivo de tomate cv. Florada bajo acolchado de suelos en: invernadero, microtúneles semicirculares, triangulares e intemperie. Reporte interno. Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila.
17. SAGARPA. 2001. Anuario estadístico de la producción agropecuaria 2000. Sistema de Información Agropecuaria. Región Lagunera Coahuila-Durango. Alianza para el Campo. Subdelegación de Planeación y Desarrollo Rural. Cd. Lerdo, Dgo
16. Salazar, SE, Lindenmann, WC, Smith, G, and Cardenas, M. Comparison of nitrogen mineralization and denitrification under laboratory conditions between two tillage systems. 1998. *Revista Terra*. Vol. 16, Número 2: 173-180
19. Salazar-Sosa E, JA Leos-Rodríguez, M Fortis-Hernández y C Vázquez-Vázquez. 2002 (a). Nitrogen recovery and uptake by wheat and sorghum in stubble mulch and no tillage systems. *Agrociencia* 36: 433-440. 2002. México
20. Salazar SE, Vázquez VC, y Rivera OO. 2002 (b). Manejo y biodegradación del estiércol bovino en la Comarca Lagunera, Memorias de la XV Semana Internacional de Agronomía. P 1-150. Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango
21. SAS Institute Inc. 1998. SAS for Windows. Release 6-12, version 4.0.1111. SAS Compus Drive. North. Carolina. U.S.A
22. Teasdale, JR. and AA Abdul-Baki. 1995. Soil temperature and tomato growth associated with black polyethylene and hairy vetch mulches. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120:848-853
23. Teasdale, JR. and AA Abdul-Baki. 1997. Growth analysis of tomatoes in black polyethylene and hairy vetch production systems. *Hortcience* 32 (4) 659-663
24. Wien, HC, PL Miniotti, VP Grubinger. 1993. Tomato response to starter fertilizer, polyethylene mulch, and level of soil phosphorus. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118 (2) 212-216