

CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA POR CONTAMINACIÓN DIFUSA DE LA APLICACIÓN DE ESTIÉRCOLES EN MAÍZ Y PASTO

• Hugo Ernesto Flores-López •

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México

• Alma Lina Hernández-Jáuregui •

Universidad de Guadalajara, México

• Uriel Figueroa-Viramontes •

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México

• Aldo Antonio Castañeda-Villanueva •

Universidad de Guadalajara, México

Resumen

La concentración de grandes cantidades de ganado en regiones de México genera alta producción de estiércol, origen de problemas ambientales, como la contaminación difusa en los cuerpos de agua superficial cuando se aplica estiércol al maíz o en el pasto donde se pastorea el ganado lechero, expresados por contaminación microbiológica y eutrofización. El objetivo de este trabajo fue estudiar el proceso de escurrimiento superficial y la lluvia, asociado con los organismos fecales durante el ciclo de lluvias de 2009. La investigación se realizó en terrenos del Campo Experimental Centro Altos de Jalisco del INIFAP. Se utilizaron tres lotes de escurrimiento (LE) de 50 m²: dos con maíz, a uno se aplicó estiércol de bovino (MEB) y a otro de gallina (MEG); a otro LE con pasto se aplicó estiércol de bovino (PEB) de leche para simular pastoreo. Se midió el escurrimiento y se tomaron muestras de agua para evaluar el contenido de organismos fecales arrastrados. Se registró la lluvia en cada tormenta que originó escurrimiento, así como la temperatura. Los resultados mostraron que en todos los eventos con escurrimiento hubo presencia de coliformes, pero el MEB mostró los valores más elevados y en casi todos los eventos de lluvia se identificó *E. coli* y sólo en algunas tormentas *Pseudomonas* sp. En el MEG se tuvo menor cantidad de coliformes con presencia de *E. coli* en casi todas las tormentas y *Pseudomonas* sp. sólo en algunas tormentas. El PEB mostró la menor cantidad de organismos fecales. En el MEB y MEG, la tendencia de la relación lluvia y escurrimiento con la cantidad de organismos fecales fue exponencial negativa, mientras que en el PEB fue exponencial positiva, características que puede utilizarse para el control de contaminación difusa en los cuerpos de agua, aguas abajo.

Palabras clave: organismos fecales, *Escherichia coli*, *Pseudomonas* sp., Altos de Jalisco.

Introducción

En México, la actividad agropecuaria es importante, porque produce más del 3.4% del PIB y la ganadería genera casi el 1% de PIB, con el siguiente inventario ganadero: cabezas de

bovinos leche, 2 340 903; cabezas de bovinos carne, 29 420 059; cerdos, 15 230 631; aves de postura, 184 711 880; aves para carne, 311 961 857. De este inventario ganadero, los Altos de Jalisco, México, participa con 189 184 cabezas de bovinos leche, 105 700 cabezas de bovinos carne, 1 396

700 cerdos y 73 556 700 aves de postura (SIAP-Sagarpa, 2009). De acuerdo con tal inventario y considerando un promedio de excreción de las aves de postura de 0.033 kg/día; en los cerdos de 5.5 kg/día (Ruiz, 2009), y en los bovinos de leche de 6 kg de materia seca/día (Castellanos, 1982), la producción potencial de estiércol es de 4.34 millones de toneladas anuales. Dada la concentración de ganado en la región alteña de Jalisco y la magnitud tan alta de estiércol generado, esta región es considerada una zona de riesgo ambiental (FAO, 2003). Los sistemas de producción (SP) de lechería familiar son predominantes en los Altos de Jalisco (Román, 2009), e involucran al cultivo de maíz como fuente de forraje, complementado con el pastoreo de los bovinos lecheros. Este SP de México e inclusive de otros países enfrenta graves problemas ambientales, como olores desagradables, emisiones a la atmósfera, y contaminación del suelo y el agua; sin embargo, en nuestro país se le ha dado poca atención a estos problemas. Dentro de una explotación lechera, los principales desechos son agua sucia y estiércol; la primera tiene como destino una fosa (40%), un arroyo cercano a la explotación (27%), aplicado a terrenos donde se siembra maíz (13%), o con pastizal (13%) o árboles dentro de la explotación (7%). La utilización del estiércol se da en terrenos sembrados con maíz (53%) o en los terrenos con pastizal (47%); sin embargo, el productor desconoce la cantidad que produce diariamente y no le da ningún tratamiento antes de utilizarlo (Román, 2009). Este mismo autor mencionó que en la lechería familiar de los Altos de Jalisco, el pastoreo es utilizado como una estrategia de alimentación adicional al suministro de concentrados y forrajes balanceados en el establo, por lo que en estas condiciones, las excretas generadas se consideran fuentes de contaminación difusa.

En los Altos de Jalisco, los estiércoles producidos por los bovinos de leche y aves de postura no solamente son fuente de nutrimentos para cultivos como maíz o pastizales, sino que también contienen otros componentes como coliformes fecales, coliformes totales y

enteropatógenos (Torres y Calva, 2007; Soupir et al., 2006; Loehr, 1982), que desde un punto de vista microbiológico reducen la calidad del agua de lagos, embalses y bordos (Ramírez et al., 1996). Para mejorar la calidad del agua de bordos o embalses, una opción de solución es aplicar buenas prácticas de manejo en las áreas de escurrimiento agrícolas o de pastoreo donde se aplicó o depositó el estiércol, sin embargo, antes debe identificarse el proceso de aporte de coliformes u otros organismos al agua de estos almacenamientos (Mishra et al., 2008; Pachepsky et al., 2006).

Existen muchos microorganismos patógenos contenidos en los estiércoles, causantes de la contaminación microbiológica del agua superficial, pero los que se consideran indicadores de contaminación bacteriana son los coliformes fecales, *Escherichia coli* y *Enterococcus* (Mishra et al., 2008; Miller y Beasley, 2008; Soupir et al., 2006; Pachepsky et al., 2006; Ferguson et al., 2003). En México se ha reportado la presencia de estas bacterias en lagos y presas (Quiroz et al., 2007; Chacón et al., 2007; Guzmán y Orbe, 2002).

El escurrimiento superficial es el medio de transporte hacia los cuerpos de agua superficial que utilizan los organismos fecales procedentes de los estiércoles aplicados o depositados en tierras agrícolas o ganaderas (Mishra et al., 2008; Soupir et al., 2006; Oliver et al., 2005; Jamieson et al., 2004; Ferguson et al., 2003), pero también la lluvia juega un papel importante en este proceso, particularmente en la relación que tiene el tiempo de ocurrencia de la lluvia, así como la intensidad y cantidad de lluvia, esta última asociada con el cambio climático y el momento de aplicación del estiércol en los terrenos agrícolas y ganaderos (Oliver et al., 2005; Ferguson et al., 2003; Saini et al., 2003). Aunque la aplicación de estiércoles en las tierras con uso agropecuario puede degradar la calidad de los escurrimientos, especialmente durante la primera tormenta después de la aplicación en terrenos con uso agropecuario, es necesario conocer cómo está la relación para proponer buenas prácticas de manejo que mejoren la calidad del agua.

Objetivo

Estudiar el proceso de transporte por lluvia y escurrimiento con los organismos fecales procedentes de estiércoles de bovinos de leche y aves de postura aplicados en terrenos agrícolas o los depositados por las vacas lecheras en las áreas de pastoreo.

Materiales y métodos

La presente investigación se realizó en los terrenos del Campo Experimental Centro Altos de Jalisco del Centro de Investigaciones

Regionales Pacífico Centro del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), que se localiza en el municipio de Tepatitlán, al noreste del estado de Jalisco, México, como se muestra en la figura 1. El clima del lugar es templado subhúmedo (A)C(w₁)(w)(e)g, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1988), con 869 mm de lluvia promedio anual y 16.7 °C de temperatura promedio anual. El suelo se clasificó como mezcla fina isotérmica, Udic rhodustalf (INEGI, 1994).

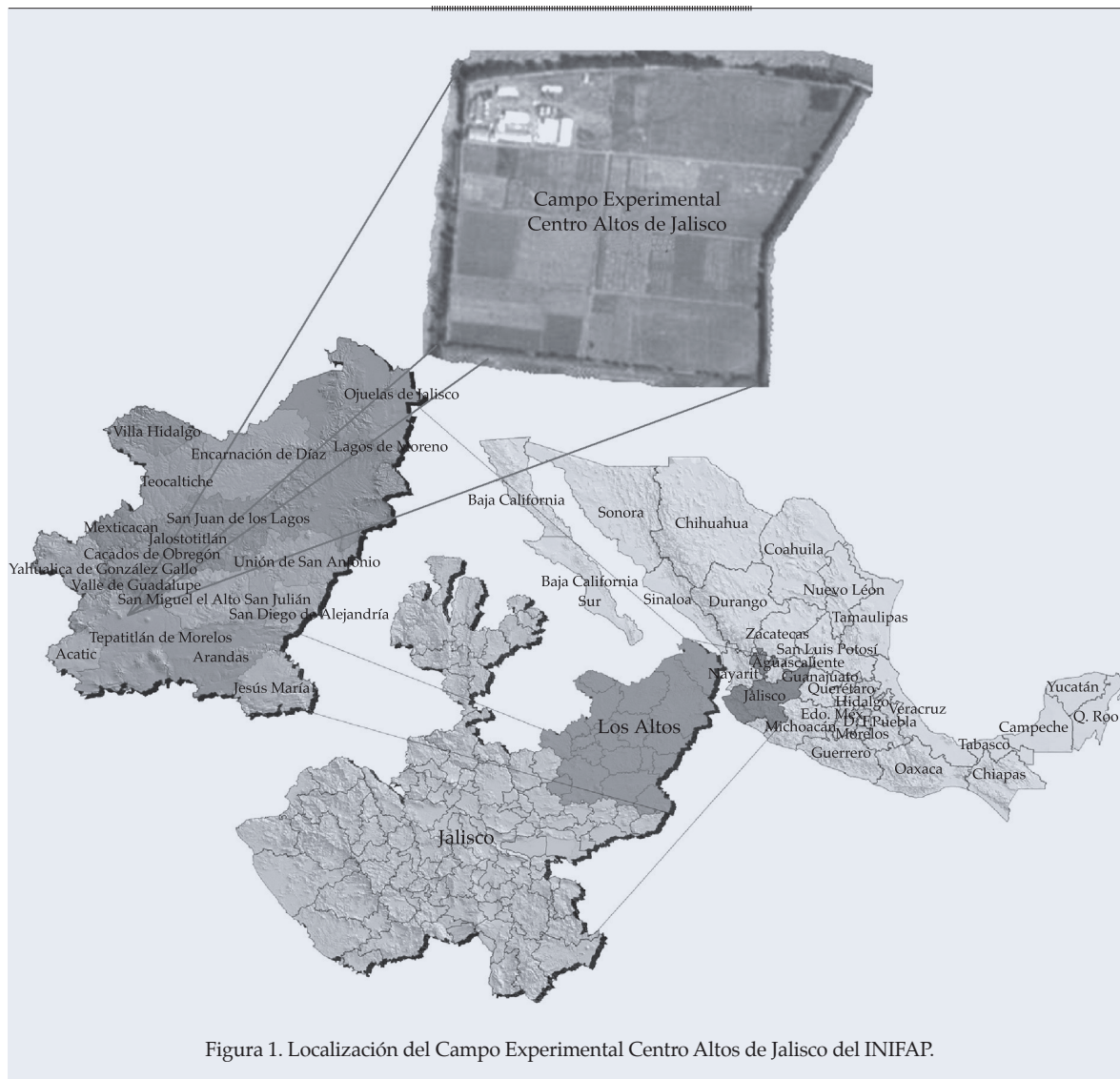


Figura 1. Localización del Campo Experimental Centro Altos de Jalisco del INIFAP.

Para conocer el proceso con el que los organismos fecales son transportados hacia los cuerpos de agua, se establecieron cuatro lotes de escurrimiento (LE), durante el temporal de lluvias del 2009, con dimensiones de 2 m de ancho y 25 m de longitud, para tener un área de escurrimiento de 50 m². Dos de los LE fueron sembrados con maíz, a uno se le aplicó estiércol de bovino (MEB) y a otro estiércol de gallina de postura (MEG). Al LE con pasto nativo se le aplicó estiércol de bovino de leche (PEB), pero sin incorporar, para simular un terreno con pastoreo. Las cantidades de estiércol aplicadas fueron las siguientes:

Tratamiento en lote de escurrimiento	Dosis de fertilización orgánica (estiércol)	Método de aplicación del estiércol
Pasto con rajas de bovino (50 m ²)	Rajas de estiércol de bovino = 15 kg	No incorporado, colocado sobre la superficie.
Maíz con estiércol de bovino (50 m ²)	Estiércol de bovino = 150 kg	Incorporado al momento de la labranza.
Maíz con estiércol de gallina (50 m ²)	Estiércol de gallina = 100 kg	Incorporado al momento de la labranza.

En la parte baja de cada LE se colocaron dos tanques para recibir el escurrimiento superficial de cada tormenta. Una vez pasada la tormenta, se midió la altura del agua en cada tanque para cuantificar el volumen de escurrimiento. Se tomó una muestra del agua del escurrimiento para el análisis microbiológico y determinar así la cantidad de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales, *Escherichia coli*, *Pseudomonas* y otros organismos. Cuando la tormenta ocurrió en fin de semana, la muestra se conservó a menos de 4 °C hasta su análisis. El método de análisis de laboratorio para las muestras de agua para la detección de bacterias coliformes fue la técnica del

número más probable (NMP), descrita en la norma oficial mexicana NOM-112-SSA1-1994. Se colocó un colector de lluvia con registrador automático de datos para medir la cantidad de lluvia y un registrador automático de temperatura del aire.

Resultados y discusión

La lluvia que ocurrió fue de 986.7 mm de junio a diciembre, con una temperatura promedio máxima de 25.1 °C y mínima de 11.2 °C. La distribución de lluvia y temperatura se muestra en la figura 2. La lluvia mostró un comportamiento irregular con tormentas de alta intensidad al final del mes de junio hasta principios de julio; durante julio sólo ocurrieron tormentas de baja intensidad y sin escurrimiento, pero en el mes de agosto y hasta septiembre se tuvieron tormentas con alta cantidad de lluvia, que provocaron escurrimiento. No obstante que en el mes de octubre se presentaron dos tormentas, éstas no provocaron escurrimiento por la baja cantidad e intensidad de la lluvia. Al respecto, Flores (2004) encontró que en el maíz y terrenos con pastizal, la lluvia umbral para producir escurrimiento fue de 9.5 y 12.5 mm, respectivamente, con una condición de humedad antecedente húmeda, situación que explica la falta de escurrimiento en el mes de julio y que algunas tormentas con baja cantidad de lluvia provocaran escurrimiento.

Con la distribución de lluvia mostrada en la figura 2, se generaron 24 tormentas con escurrimiento en el Lote de Escurrimiento (LE) de maíz con estiércol de bovino (MEB), 20 tormentas en el LE maíz con gallinaza y 7 tormentas con escurrimiento en el LE pasto con estiércol de bovino (PEB). La diferencia en tormentas que produjeron escurrimiento es atribuida a la cobertura del follaje del maíz y del pasto, más abundante en el LE con MEG y PEB, además de la condición de humedad antecedente en el suelo y la cantidad e intensidad de la lluvia (Flores, 2004).

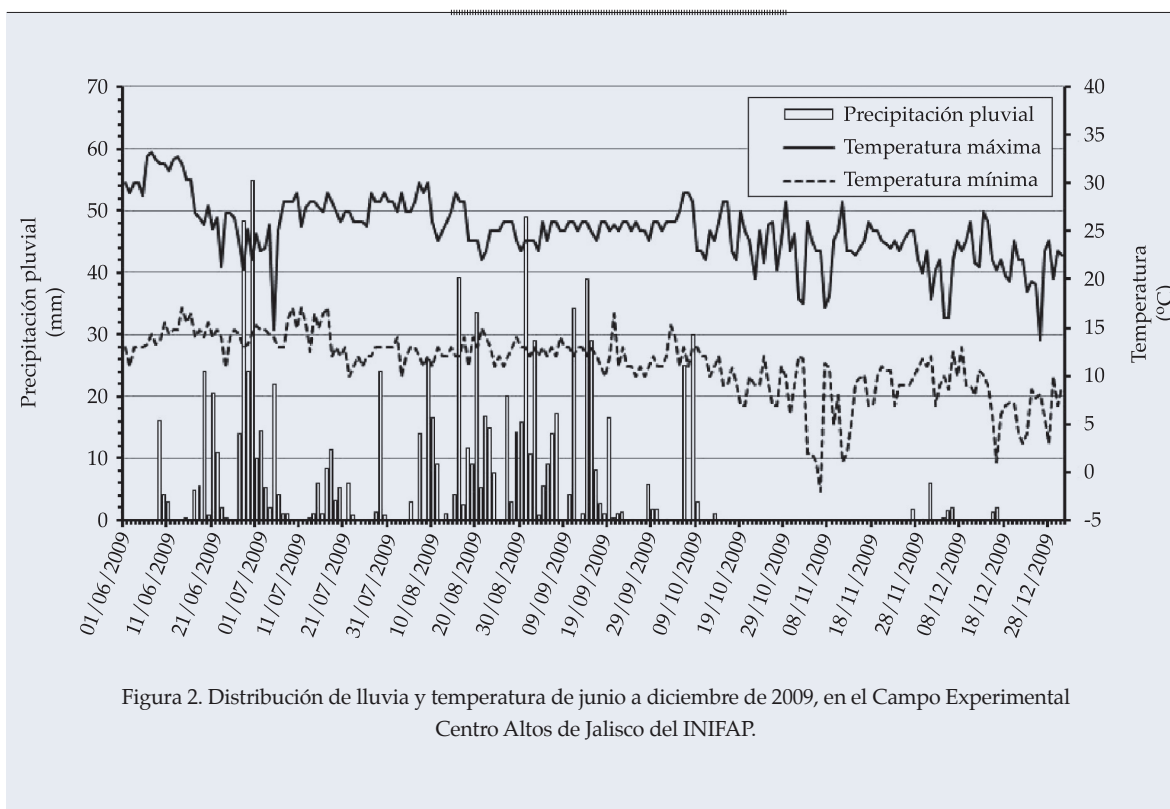


Figura 2. Distribución de lluvia y temperatura de junio a diciembre de 2009, en el Campo Experimental Centro Altos de Jalisco del INIFAP.

Coliformes totales y fecales en el maíz con estiércol de bovino incorporado al suelo

En el cuadro 1 se presentan las tormentas que tuvieron escurrimiento y las muestras que dieron positivo a *Escherichia coli* y *Pseudomonas* sp., así como la cantidad de lluvia que generó el escurrimiento en el maíz con estiércol de bovino incorporado (MEB). Casi todas las muestras resultaron positivas a *E. coli* y a la mitad del ciclo de lluvias también se identificaron bacterias del género *Pseudomonas* sp. Torres y Calva (2007) mencionaron que la detección de *E. coli* en sistemas acuáticos es evidencia de contaminación fecal reciente y actividad antropogénica; asimismo, el género *Pseudomonas* se asocia con elevada cantidad de nutrientes y pH alcalino.

En la figura 3 se muestra la distribución del NMP/100 ml de coliformes fecales totales y coliformes fecales para el MEB de cada tormenta con escurrimiento, de acuerdo con los eventos de lluvia mostradas en el cuadro

1. En esta figura se muestra cómo al inicio del temporal de lluvias, en el mes de julio, la cantidad de organismos coliformes fecales (CF) y coliformes totales (CT) fue baja respecto a lo observado en el mes de agosto y septiembre. Este resultado puede atribuirse a la mayor capacidad de infiltración del suelo al inicio del temporal de lluvias y a eventos de baja cantidad de lluvia, aunado a la humedad del suelo, que produce mayor incubación de bacterias para los meses de agosto y septiembre (Soupir *et al.*, 2006; Jamieson *et al.*, 2004).

En la figura 4 se muestra la tendencia de los CT y CF con la lluvia y el escurrimiento producido por tormenta para el MEB. En esta figura se observa una tendencia potencial con pendiente negativa, donde la menor lámina de lluvia y escurrimiento produce el mayor aporte de CT y CF; en cambio, con el incremento en la lámina de lluvia y escurrimiento, se produce una dilución que disminuye el NMP/100 ml de bacterias contenidas en el agua del escurrimiento. Al respecto, se reporta que el

Cuadro 1. Tormentas con escurrimiento y muestras que dieron positivo a *Escherichia coli* y otras bacterias, además de la lluvia que generó el escurrimiento en el lote de escurrimiento con maíz y estiércol de bovino.

Fecha	<i>Escherichia coli</i>	Otros organismos identificados	Lluvia (mm)
28/06/2009	Positivo		48.3
29/06/2009	Positivo		24.0
30/06/2009	Positivo		54.8
01/07/2009	Positivo		10.0
02/07/2009	Positivo		14.5
03/07/2009	Positivo		5.2
07/08/2009	Positivo		14.0
09/08/2009	Positivo		26.0
10/08/2009	Positivo		16.6
11/08/2009	Positivo		9.0
16/08/2009	Positivo	<i>Pseudomona</i> sp.	39.0
18/08/2009	Positivo	<i>Pseudomona</i> sp.	11.6
20/08/2009	Positivo		33.5
22/08/2009	Positivo		16.8
27/08/2009	Positivo	<i>Pseudomona</i> sp.	20.0
29/08/2009	Positivo		14.2
30/08/2009			15.9
31/08/2009	Positivo		49.0
02/09/2009	Positivo		28.9
07/09/2009	Positivo		17.2
11/09/2009			34.2
14/09/2009	Positivo		38.8
15/09/2009	Positivo		29.0
19/09/2009	Positivo		16.6

pico con mayor concentración de bacterias se tiene después de iniciado el escurrimiento y posteriormente se reduce el contenido de CF y CT en el escurrimiento (Sistani *et al.*, 2009; Soupir *et al.*, 2006; Jawson *et al.*, 1982).

Colifomes totales y fecales en el maíz con gallinaza incorporada al suelo

En el cuadro 2 se muestran las tormentas que produjeron escurrimiento superficial, las muestras que dieron positivo a *Escherichia coli* y otras bacterias identificadas, así como la lluvia que generó el escurrimiento en el maíz con incorporación de gallinaza (MEG). El comportamiento de CT y CF del MEG fue

parecido al de MEB, pero con menos tormentas y escurrimientos positivos a *E. coli* y *Pseudomonas* sp. Miller y Beasley (2008) reportaron un comportamiento similar en el aporte de *E. coli* transportado en el escurrimiento generado con simulador de lluvia en la evaluación de estiércoles aplicados al suelo. En cambio, la disponibilidad superior de nutrientes en la gallinaza con respecto al estiércol de bovino ofrece la posibilidad de mayor desarrollo en el maíz, lo cual produce menor escurrimiento y da más protección al suelo (Flores, 2004).

En la figura 5 se muestra la distribución del NMP/100 ml de CT y CF en el MEG. En el MEG, la cantidad de CF y CT mostró

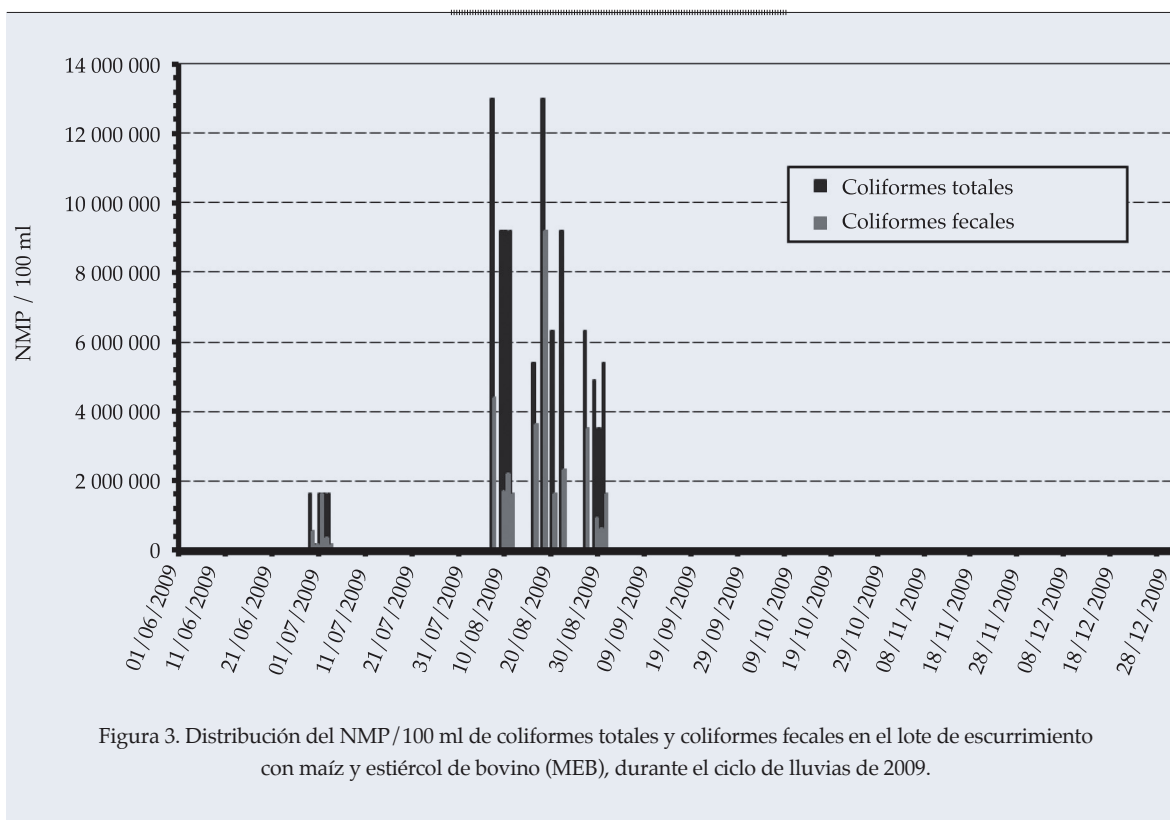


Figura 3. Distribución del NMP/100 ml de coliformes totales y coliformes fecales en el lote de escurrimiento con maíz y estiércol de bovino (MEB), durante el ciclo de lluvias de 2009.

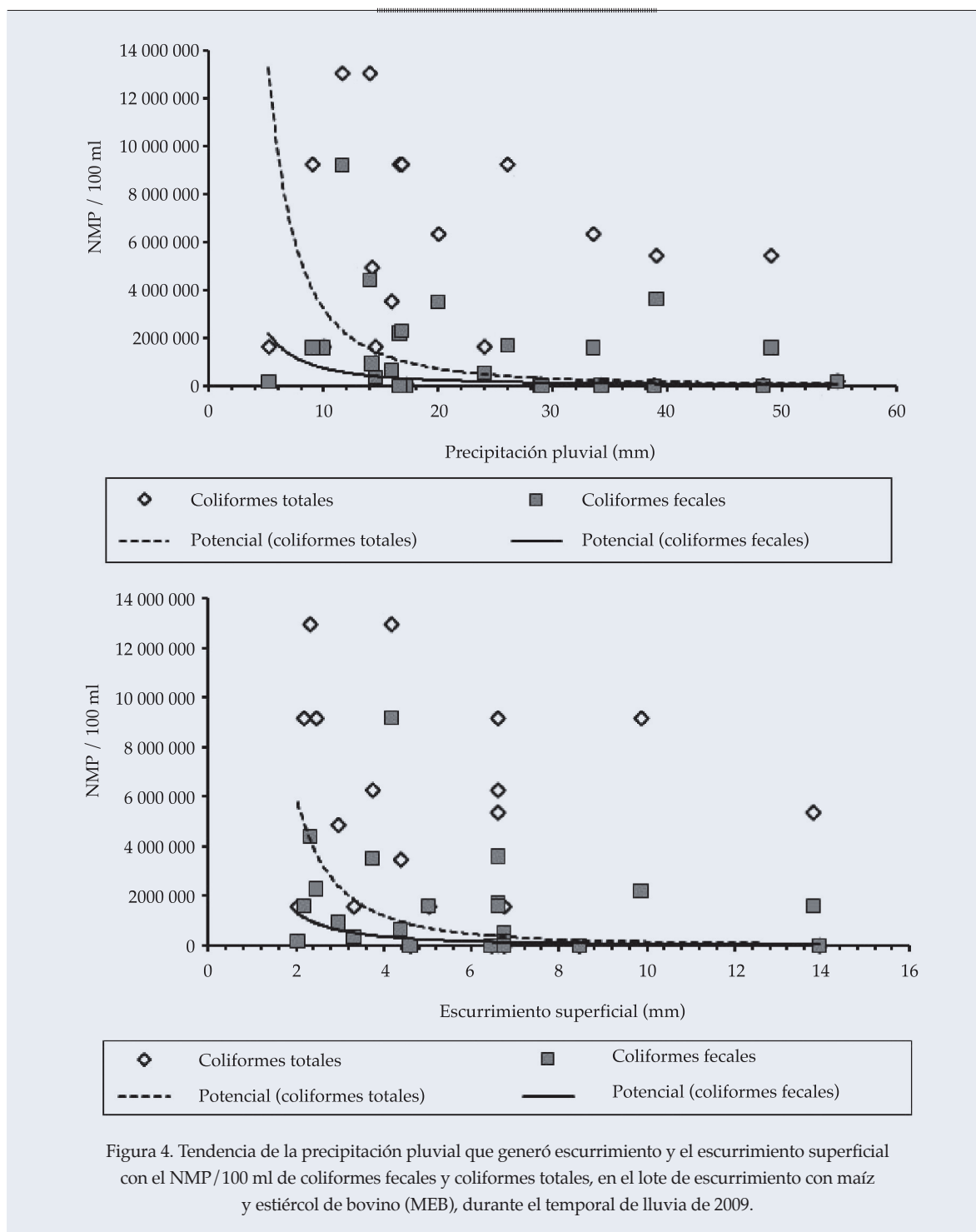
menor proporción que en el MEB, debido a que posiblemente la gallinaza estuvo sujeta a mineralización antes de aplicarse al maíz, proceso que genera calor y elimina organismos patógenos, con la consecuente reducción del número de CT y CF (Ruiz, 2009). Sin embargo, el aporte más importante de CF y *E. coli* al escurrimiento sucede cuando la lluvia ocurre después de la incorporación del estiércol al suelo (Sistani *et al.*, 2009; Miller y Beasley, 2008; Mishra *et al.*, 2008; Soupier *et al.*, 2006).

En la figura 6 se muestra la tendencia de los CT y CF con la lluvia, y el escurrimiento producido por tormenta en el MEG. En esta figura se observa que la lluvia y el escurrimiento tienen una tendencia potencial negativa con los CF y CT del MEG, resultado similar al observado en el MEB, pero con menor cantidad de estos organismos, efecto atribuido al tipo de estiércol (Miller y Beasley, 2008). El hecho de que el contenido de CF y CT se reduzca con el tiempo y el aumento en la cantidad de agua en el escurrimiento, sugiere un dilución del

contenido de CF y CT, situación que permite explicar el porqué la calidad microbiológica del agua en ríos o cuerpos de agua superficiales se reporta con un contenido bajo de organismos CF y CT (Chacón *et al.*, 2007; Guzmán y Orbe, 2002; Torres-Orozco y Pérez-Rojas, 2002; Hoz y De la Lanza, 2002; Hernández y Orbe, 2002; Ramírez *et al.*, 1996), cuando el escurrimiento en sus fases iniciales tiene alta concentración de estos organismos. Pero pueden existir excepciones cuando se vierten aguas residuales de ciudades a la red de drenaje pluvial y el agua se almacena en embalses, como en algunos tramos del río Santiago, donde la concentración CF se reporta extremadamente alta (García-Cabrera, 2007).

Coliformes totales y fecales en el pasto con rajas estiércol de bovino sin incorporar

En el cuadro 3 se muestran las tormentas que produjeron escurrimiento superficial, las que dieron positivo a *E. coli* y otras bacterias

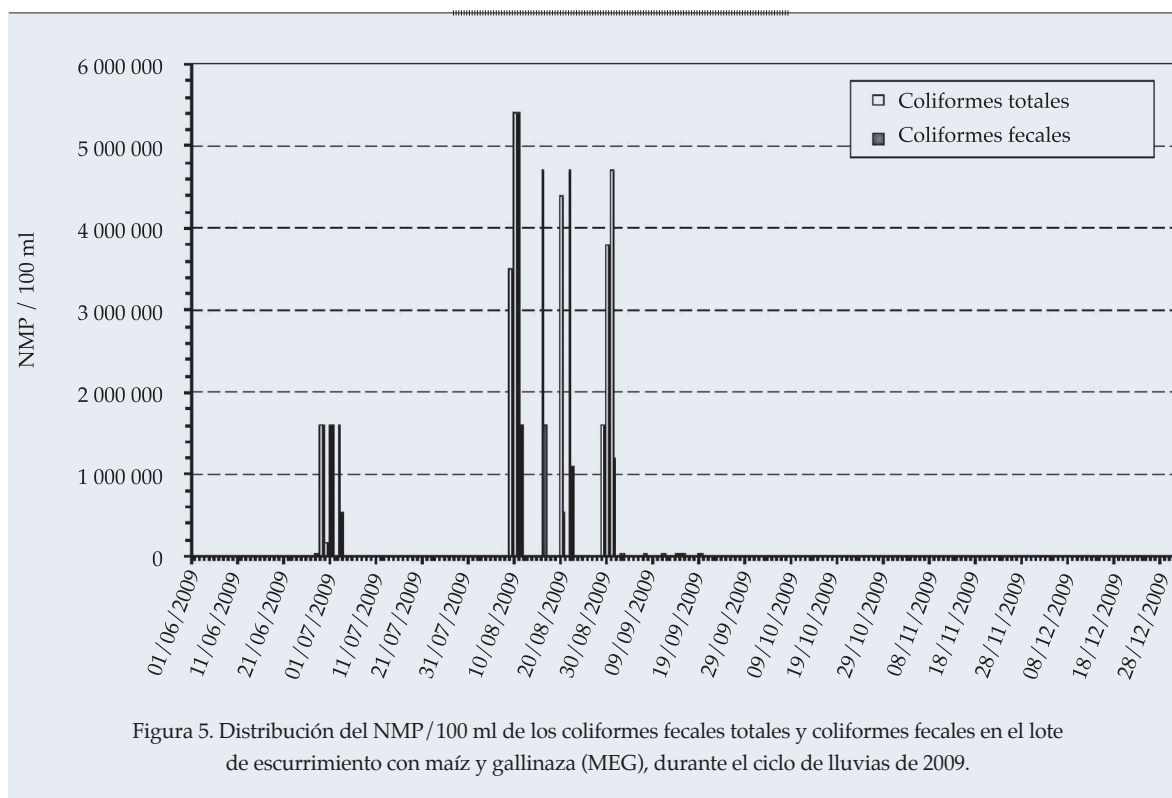


identificadas, así como la cantidad de lluvia que produjo esguerrimiento en el pasto con rajas de estiércol de bovino sin incorporar (PEB). El pasto tuvo un efecto protector contra la lluvia y el esguerrimiento muy notable, ello debido a la cobertura de este cultivo

sobre el suelo (Flores *et al.*, 2009), pues sólo tormentas de gran cantidad e intensidad de lluvia produjeron esguerrimiento y únicamente algunas de estas tormentas dieron positivo a *E. coli* y *Pseudomonas*. Esta característica del pasto debe considerarse para utilizarlo para el

Cuadro 2. Tormentas con escurrimiento; muestras que dieron positivo a *Escherichia coli* y otras bacterias, y la lluvia que generó el escurrimiento en el lote de escurrimiento con maíz y gallinaza.

Fecha	<i>Escherichia coli</i>	Otros organismos identificados	Lluvia (mm)
28/06/2009	Positivo		48.3
29/06/2009	Positivo		24.0
30/06/2009	Positivo		54.8
01/07/2009	Positivo		10.0
03/07/2009	Positivo		5.2
09/08/2009	Positivo		26.0
10/08/2009	Positivo		16.6
11/08/2009	Positivo		9.0
16/08/2009		<i>Pseudomona</i> sp.	39.0
20/08/2009			33.5
22/08/2009			16.8
29/08/2009			14.2
30/08/2009	Positivo		15.9
31/08/2009	Positivo		49.0
02/09/2009			28.9
07/09/2009	Positivo		17.2
11/09/2009	Positivo		34.2
14/09/2009	Positivo		38.8
15/09/2009			29.0
19/09/2009			16.6



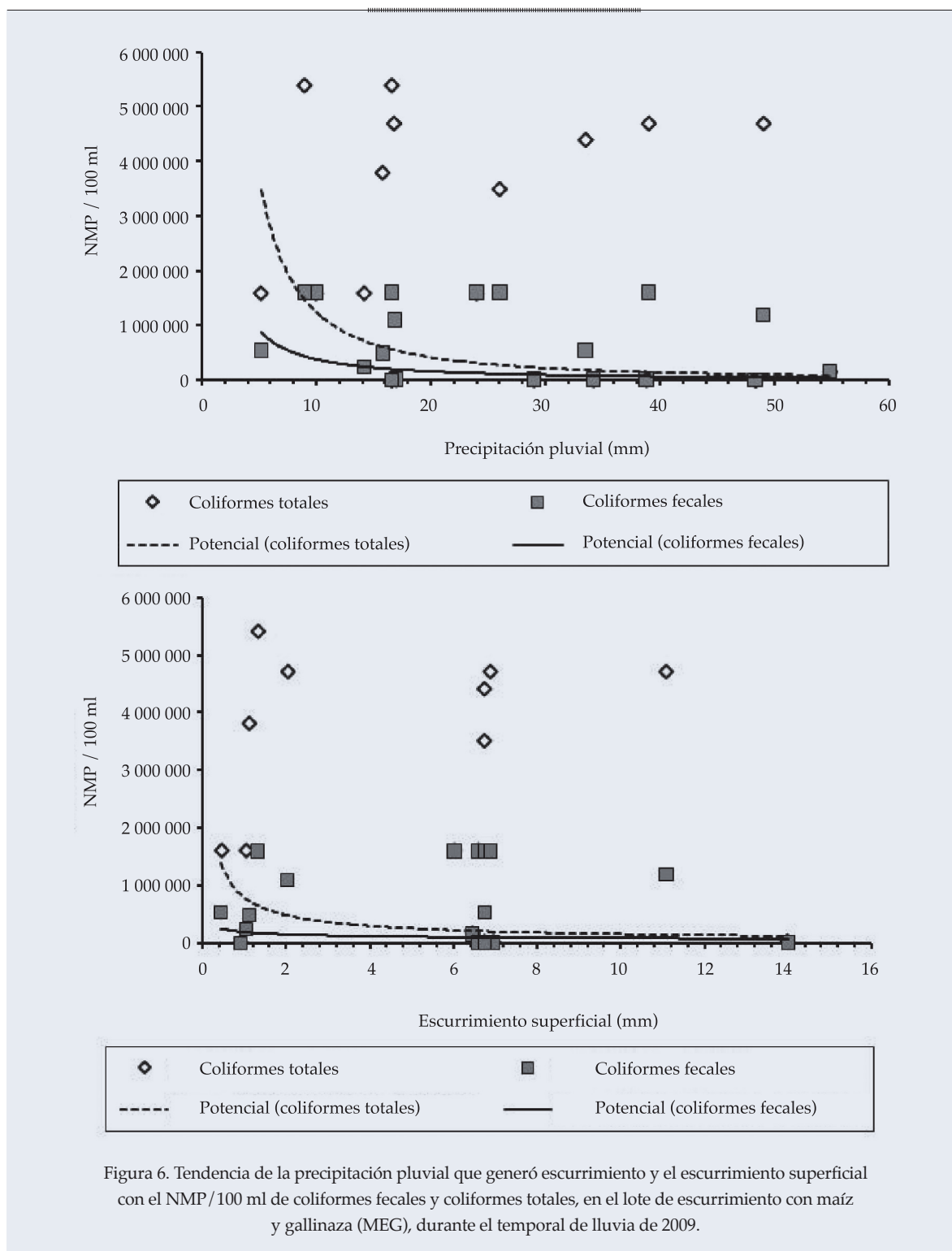


Figura 6. Tendencia de la precipitación pluvial que generó escurrimiento y el escurrimiento superficial con el NMP/100 ml de coliformes fecales y coliformes totales, en el lote de escurrimiento con maíz y gallinaza (MEG), durante el temporal de lluvia de 2009.

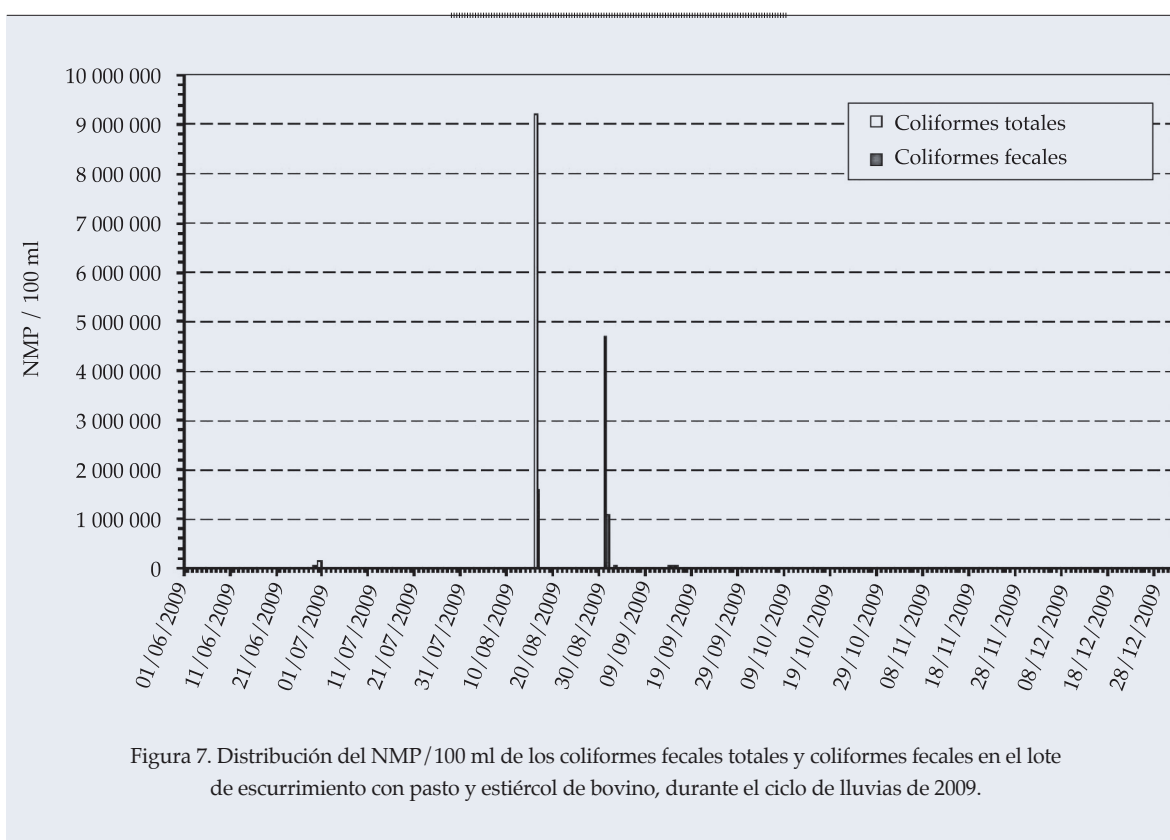
control de escurrimiento y el salpicado de la lluvia, previniendo la contaminación difusa en tierras con uso agrícola y ganadero. La figura 7 muestra la distribución de los eventos de lluvia

que generaron transporte de CT y CF.

En la figura 8 se muestran la tendencia del NMP/100 ml de CT y CF del PEB, aunque fueron pocas las tormentas que generaron

Cuadro 3. Tormentas con escurrimiento, cantidad de coliformes fecales y coliformes fecales totales en la tormenta; muestras que dieron positivo a *Escherichia coli* y otras bacterias, y la lluvia que generó el escurrimiento en el lote de escurrimiento con pasto y estiércol de bovino sin incorporar.

Fecha	<i>Escherichia coli</i>	Otros organismos identificados	Lluvia (mm)
29/06/2009	Positivo		24.0
30/06/2009	Positivo		54.8
16/08/2009	Positivo	<i>Pseudomona</i> sp.	39.0
31/08/2009			49.0
02/09/2009			28.9
14/09/2009	Positivo	<i>Pseudomona</i> sp.	38.8
15/09/2009	Positivo	<i>Pseudomona</i> sp.	29.0



escurrimiento y la cantidad de CF y CT fue baja. Ello se refleja en la relación de los CT y CF con la lluvia y el escurrimiento superficial, representados por modelos potenciales con pendiente positiva. Esta figura muestra un efecto contrario al observado en el MEB y MEG con la lluvia y el escurrimiento, pues fueron necesarias tormentas de alta cantidad de lluvia para generar escurrimiento.

Con base en la información anterior, el

maíz genera contaminación difusa con CT y CF por la aplicación de estiércoles de bovino o ave de postura, con alta concentración de CT y CF, pero ésta tiende a diluirse con lluvia de mayor cantidad y alto escurrimiento. En cambio, el pasto con cobertura de suelo completa requiere de eventos de lluvia de muy alta cantidad y elevados escurrimientos, para generar contaminación difusa con organismos

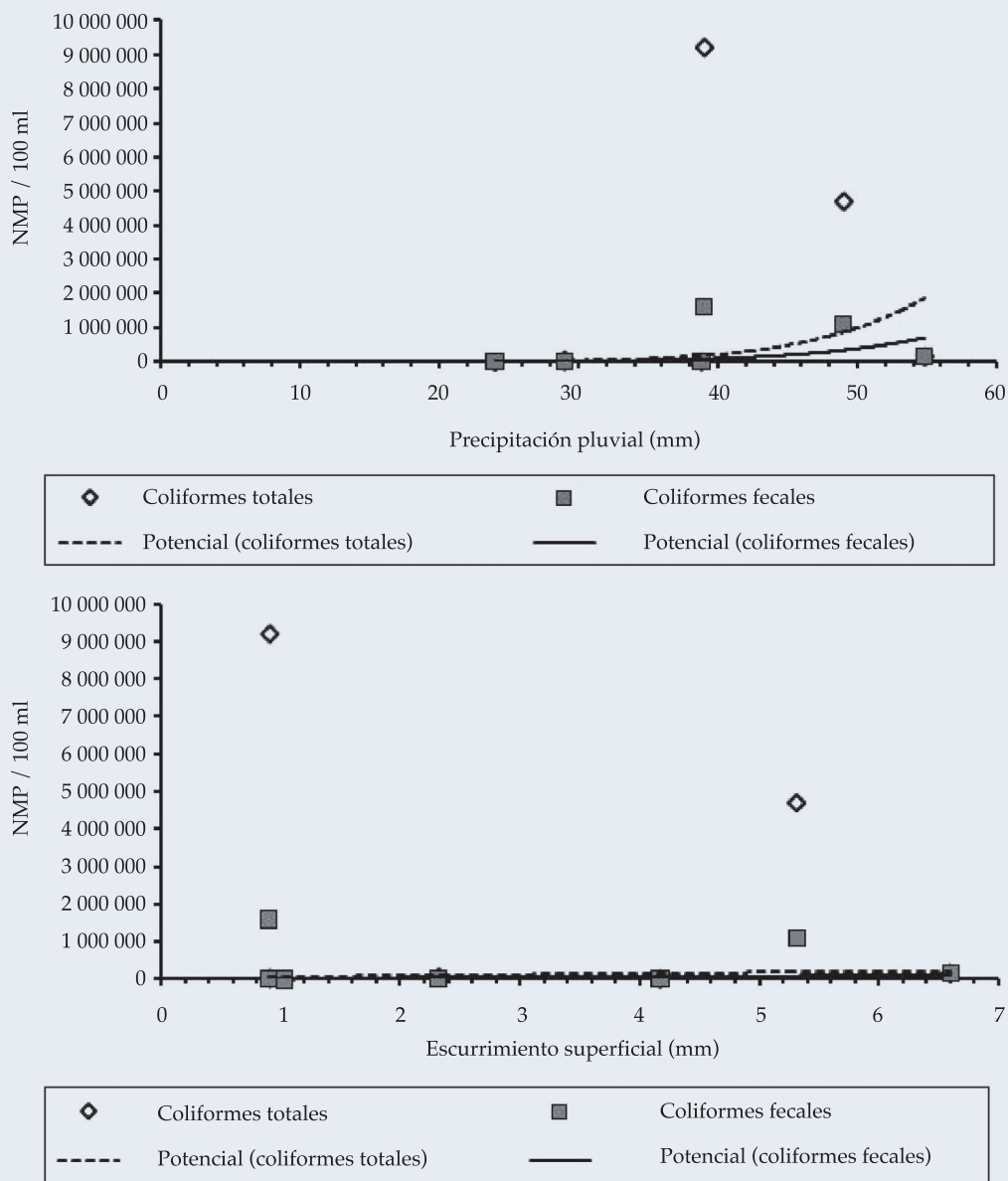


Figura 8. Tendencia de la precipitación pluvial que generó escurrimiento y el escurrimiento superficial con el NMP/100 ml de coliformes fecales y coliformes totales, en el lote de escurrimiento con pasto y estiércol de bovino, durante el temporal de lluvia de 2009.

CT y CF.

Conclusiones

La distribución de lluvia durante 2009 generó 24 tormentas con escurrimiento en el Lote de Ecurrimiento (LE) de maíz con estiércol

de bovino (MEB), 20 tormentas en el LE maíz con gallinaza (MEG) y 7 tormentas con escurrimiento en el LE pasto con estiércol de bovino (PEB). Con el avance del temporal de lluvias se incrementó el transporte de

coliformes totales y coliformes fecales, hasta el mes de septiembre, cuando la lluvia comenzó a disminuir.

Se identificaron coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF) y *E. coli* en todos los tratamientos estudiados. Sólo en algunas tormentas se identificaron *Pseudomonas* sp.

En el lote de escurrimiento de maíz con estiércol de bovino, la relación entre la lluvia y el escurrimiento es de tipo potencial con pendiente negativa, donde la menor lámina de lluvia y escurrimiento favorece el mayor aporte de CT y CF. Se considera que el incremento en la lámina de lluvia o escurrimiento diluye el contenido de NMP/100 ml de CF y CT.

En el lote de escurrimiento de maíz con gallinaza, el NMP/100 ml de CT y CF, se encontró una cantidad de CF mucho menor con respecto a los CT. La razón de esta situación es atribuida a la posible mineralización de la gallinaza antes de aplicarse, proceso que genera calor y elimina organismos patógenos, con la consecuente reducción del número de CT y CF. La correlación entre los CF y CT del MEG y la lluvia y el escurrimiento fue más baja que en el MEB, pero con una tendencia potencial similar.

En el lote de escurrimiento de pasto con estiércol de bovino, el NMP/100 fue bajo y necesitó de tormentas con altas cantidades de lluvia para producir escurrimiento superficial, por el efecto protector del pasto contra el escurrimiento, situación representada por un modelo potencial con pendiente positiva. La correlación entre CT y CF con la lluvia es alta, pero mucho muy baja con el escurrimiento.

Recibido: 14/12/10
Aprobado: 02/01/12

Referencias

- CASTELLANOS, J.Z. Estudios sobre la producción, utilización y características de los estiércoles en la Comarca Lagunera. *Memorias del Primer Ciclo Internacional de Conferencias Sobre "La Utilización del Estiércol e la Agricultura"*. Castellanos, J.Z. y Reyes, J.L. (editores). Publicación Especial de Ingenieros Agrónomos del Tecnológico de Monterrey, A.C. 17-18 de marzo. Torreón, Coahuila, 1982, pp. 11-23.
- CHACÓN, A., ROSAS, C. y ALVARADO, J. El lago de Cuitzeo. *Las aguas interiores de México*. De la Lanza Espino, G. (compilador). México, D.F.: AGT Editor, S.A., 2007, pp. 303-338.
- FAO. *Reporte de la iniciativa de la ganadería, el medio ambiente y el desarrollo – Integración por zonas de la ganadería y de la agricultura especializadas (AWI) - Opciones para el manejo de efluentes de granjas porcícolas de la zona centro de México* [en línea]. Disponible en World Wide Web: <http://www.fao.org/wairdocs/LEAD/X6372S/x6372s00.htm>, 2003. Fecha de acceso: 28-06-2007.
- FERGUSON, CH., DERODA-HUSMAN, A.M., ALTAVILLA, N., DEERE, D., and ASHBOLT, N. Fate and transport of surface water pathogens in watersheds. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. Vol. 3, No. 3, 2003, pp. 299-361.
- FLORES, H.E. *Rutas de transporte superficial de nitrógeno y fósforo en un área de drenaje de Jalisco, México*. Tesis doctor en Ciencias. Texcoco, México: Colegio de Posgraduados, Instituto de Recursos Naturales, Programa de Edafología, 2004.
- FLORES, H.E., IRETA, J., PÉREZ, J.F., RUIZ, J.A. y DÍAZ, P. *Identificación de buenas prácticas agrícolas para reducir la degradación del suelo e incrementar la calidad del agua*. Libro científico núm. 1. Tepatitlán de Morelos, México: INIFAP, CIRPAC, CE Centro Altos de Jalisco, 2009, 155 pp.
- GARCÍA-CABRERA, J. Plancton como indicador de calidad del agua en la presa Aguamilpa. *Ingeniería hidráulica en México*. Vol. XXII, núm. 1, enero-marzo de 2007, pp. 103-116.
- GARCÍA, E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4a. edición. Imprenta Universitaria UNAM, México, D.F., 1988, 219 pp.
- GUZMÁN, M. y ORBE, A. El lago de Chapala. *Lagos y presas de México*. De La Lanza Espino, G. y García Calderón, J.L. (compiladores). México, D.F.: AGT Editor, S.A., 2002, pp. 171-192.
- HERNÁNDEZ, D. y ORBE, A. Presa Fernando Hiriart Balderrama (Zimapán) Hidalgo-Querétaro, México: Opciones para su manejo. *Lagos y presas de México*. De La Lanza Espino, G. y García Calderón, J.L. (compiladores). México, D.F.: AGT Editor, S.A., 2002, pp. 437-457.
- HOZ, Z., M.E.E. y DE LA LANZA, G. Los jagüeyes, cuerpos de agua epicontinentales del noreste de México. *Lagos y presas de México*. De La Lanza Espino, G. y J.L. García Calderón (Compiladores). México, D.F.: AGT Editor, S.A., 2002, pp. 295-321.
- INEGI. Tour description. Tramo Guadalajara, Jalisco-Zamora, Michoacán. In: *Guide for technical tours "1" and "10": Guadalajara-México City*. 15° Congreso Mundial de la

- Ciencia del Suelo del 10 al 16 de julio de 1994, Acapulco, México.
- JAMIESON, R., GORDON, R., JOY, D., and LEE, H. Assessing microbial pollution of rural surface waters. A review of current watershed scale modeling approaches. *Agricultural Water Management*. Vol. 70, 2004, pp. 1-17.
- JAWSON, M.D., ELLIOTT, L.F., SAXTON, K.E., and FORTHER, D.H. The effect of cattle grazing on indicator bacteria in runoff from a Pacific Northwest watershed. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 11, 1982, pp. 621-627.
- LOEHR, R.C. Efecto de los estiércoles sobre la calidad del agua y la ecología. *Memorias del Primer Ciclo Internacional de Conferencias Sobre "La Utilización del Estiércol en la Agricultura"*. Castellanos, J.Z. y Reyes, J.L. (editores). Publicación Especial de Ingenieros Agrónomos del Tecnológico de Monterrey, A.C., 17-18 de marzo, Torreón, Coahuila, 1982, pp. 25-42.
- MILLER, J.J. and BEASLEY, B.W. Influence of Livestock Manure Type on Transport of *Escherichia coli* in Surface Runoff. *Water Quality Research Journal of Canada*. Vol. 43, 2008, pp. 129-136.
- MISHRA, A., BENHAM, B.L., and MOSTAGHIMI, S. Bacterial transport from agricultural lands fertilized with animal manure. *Water Air Soil Pollution*. Vol. 189, 2008, pp. 127-134.
- PACHEPSKY, Y.A., SADEGHI, A.M., BRADFORD, S.A., SHELTON, D.R., GUBER, A.K., and DAO, T. Transport and fate of manure-borne pathogens: Modeling perspective. *Agricultural Water Management*. Vol. 86, 2006, pp. 81-92.
- OLIVER, D.M., HEATHWAITE, L., HAYGARTH, P.M., and CLEGG, C.D. Transfer of *Escherichia coli* to Water from Drained and Undrained Grassland after Grazing. *Journal of Environment Quality*. Vol. 34, 2005, pp. 918-925.
- QUIROZ, H., MOLINA, I., GARCÍA, J. y DÍAZ, M. Los lagos Zempoala y Tonatiahua del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, Morelos. *Las aguas interiores de México*. De la Lanza Espino, G. (compilador). México, D.F.: AGT Editor, S.A., 2007, pp. 143-167.
- RAMÍREZ, H., MARTÍNEZ, J.A., FLORES, H.E., DÍAZ, P., ALEMÁN, V. y GUZMÁN, M. Estudio de la calidad del agua de la presa El Jihuite. *Manejo Integral de la Cuenca Agropecuaria y Forestal El Jihuite*. Publicación especial núm. 1. Tepatitlán de Morelos, México: INIFAP, CIRPAC, Campo Experimental Altos de Jalisco, 1996, pp. 15-17.
- ROMÁN, M.R. *Confort térmico y características del sistema de producción de bovinos de leche en la cuenca hidrográfica el Jihuite de los Altos de Jalisco*. Tesis de Licenciatura Ingeniero en Sistemas Pecuarios. Tepatitlán de Morelos, México: Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de los Altos, Departamento de Ciencias Biológicas, 2009, 67 pp.
- RUIZ, J.F. *Ingeniería del compostaje*. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo, 2009, 237 pp.
- SAINI, R., HALVERSON, L.J., and LORIMOR, J.C. Rainfall timing and frequency influence on leaching of *Escherichia coli* RS2G through soil following manure application. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 32, No. 5, 2003, pp. 1865-1872.
- SIAP-SAGARPA. *SIACON 2008* [en línea] agosto de 2009 [citado el 15 de diciembre de 2009]. Disponible para World Wide Web: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=181&Itemid=426.
- SISTANI, K.R., TORBERT, H.A., WAY, T.R., BOLSTER, C.H., POTE, D.H., and WARREN, J.G. Broiler Litter Application Method and Runoff Timing Effects on Nutrient and *Escherichia coli* Losses from Tall Fescue Pasture. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 38, 2009, pp. 1216-1223.
- SOUPIR, M.L., MOSTAGHIMI, S., YAGOW, E.R., HAGEDORN, C., and VAUGHAN, D.H. Transport of fecal bacteria from poultry litter and cattle manures applied to pastureland. *Water, Air, and Soil Pollution*. Vol. 169, 2006, pp. 125-136.
- TORRES, R. y CALVA, L.G. Importancia de las bacterias en las presas. *Limnología de presas mexicanas. Aspectos teóricos y prácticos*. Arredondo-Figueroa, J.L., Díaz-Zavaleta, G. y Ponce Palafox, J.T. (compiladores). México, D.F.: AGT Editor, S.A., 2007, pp. 371-412.
- TORRES-OROZCO, R.E. y PÉREZ-ROJAS, A. El lago de Catemaco. *Lagos y presas de México*. De la Lanza Espino, G. y García Calderón, J.L. (compiladores). México, D.F.: AGT Editor, S.A., 2002, pp. 214-251.

Abstract

FLORES-LÓPEZ, H.E., HERNÁNDEZ-JÁUREGUI, A.L., FIGUEROA-VIRAMONTES, U. & CASTAÑEDA-VILLANUEVA, A.A. Microbiological water quality resulting from nonpoint pollution from the application of manure on maize and grass. Water Technology and Sciences (in Spanish). Vol. III, Special Number TyCA-RETAC, February-March, 2012, pp. 127-141.

The concentration of large quantities of livestock in regions of Mexico generates high manure production, causing environmental problems such as diffuse pollution in surface water bodies when manure is applied to corn or grass where dairy cattle graze. This is expressed by microbiological contamination and eutrophication. The objective of this work was to study the runoff and rain process associated with fecal organisms during the 2009 rainy season. This research was conducted at the Experimental Station Centro Altos de Jalisco of INIFAP. Three field plots (FP) of 50 m² were used. Two contained maize, to which bovine manure (MEB) was added to one and hen manure (MEG) to the other. The third FP contained grass, to which bovine manure (PEB) was applied to simulate dairy grassing. Runoff was measured and water samples were taken to evaluate the content of fecal organisms. Rain and temperature was measured during each storm producing runoff. The results showed that for all events with runoff there was a presence of coliforms, while the MEB had the highest values and *E. coli* was identified in almost all the rain events; *Pseudomonas* sp. was identified for some storms only. In MEG the amount of coliforms with presence of *E. coli* was less for almost all storms and *Pseudomonas* sp. was present in some storms only. PEB was observed to have the least amount of fecal organisms. For MEB and MEG, the relationship trend between rainfall and runoff with the amount of fecal organisms was exponentially negative, whereas for PEB it was exponentially positive, a factor that can be used to control diffuse pollution downstream in bodies of water.

Keywords: fecal organisms, *Escherichia coli*, *Pseudomonas* sp., Altos de Jalisco.

Dirección institucional de los autores

Dr. Hugo Ernesto Flores López

Investigador
Campo Experimental Centro Altos de Jalisco
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas
y Pecuarias
km 8 carretera Tepatitlán-Lagos de Morelos, Colonia
Rancho Las Cruces
47600 Tepatitlán de Morelos, Jalisco, MÉXICO
Teléfono: +52 (378) 7820 355
flores.hugo@inifap.gob.mx

Quím. Alma Lina Hernández Jáuregui

Profesora-investigadora
Centro Universitario de los Altos
Universidad de Guadalajara
Km. 7.5 carretera a Yahualica
47600 Tepatitlán de Morelos, Jalisco, MÉXICO
Teléfono: +52 (378) 7828 033 al 37
almahj@hotmail.com

Dr. Uriel Figueroa Viramontes

Investigador
Campo Experimental La Laguna
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas
y Pecuarias, México
Km. 17 carretera Torreón-Matamoros, Colonia Centro
27440 Matamoros, Coahuila, MÉXICO
Teléfono: +52(871) 1823 178
figueroa.uriel@inifap.gob.mx

M.C. Aldo Antonio Castañeda-Villanueva

Profesor-investigador
Centro Universitario de los Altos
Universidad de Guadalajara
Km. 7.5 carretera a Yahualica
47600 Tepatitlán de Morelos, Jalisco, MÉXICO
Teléfonos: +52 (378) 7828 033 al 37
aldocasta@hotmail.com