

Evaluación y calibración del índice de fósforo en los Altos de Jalisco, México*

Evaluation and calibration index of phosphorus in Jalisco, Mexico

Hugo Ernesto Flores López^{1§}, Uriel Figueroa Viramontes², Celia De La Mora Orozco¹, Gregorio Núñez González² y Laura Valdivia Gómez¹

¹INIFAP-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Carretera Tepa-Lagos, Tepatitlán, Jalisco, km 8. (flores.hugo@inifap.gob.mx; delamora.celia.inifap.gob.mx; ispvaldivia@hotmail.com). ²Campo Experimental La Laguna- INIFAP. Blvd. José Santos Valdés 1200 Pte. Col. Centro. 27440 Matamoros, Coahuila, México. (figueroa.uriel@inifap.gob.mx; nuñez.gregorio@inifap.gob.mx). [§]Autor para correspondencia: flores.hugo @inifap.gob.mx.

Resumen

La alta concentración de ganado en los Altos de Jalisco, México, genera más de 4.34 millones de toneladas anuales de estiércol que la hace una región de alto riesgo ambiental. El índice de fósforo (IP), es una herramienta de planeación que permite identificar zonas de riesgo ambiental y opciones de manejo que reduzcan el impacto potencial de los sistema agropecuarios; pero antes el IP debe adaptarse y calibrarse a las condiciones locales objetivo del presente trabajo. El estudio se desarrolló de 2009 a 2011 en el Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, de INIFAP, localizado en Tepatitlán de Morelos, Jalisco. Se utilizaron lotes de escorrentamiento y áreas de drenaje con maíz y pasto, a los que se aplicó estiércol de bovino y gallinaza más fertilizante; en cada tormenta se midió la lluvia, el escorrentamiento superficial y la erosión hídrica. Con ésta información se calculó el IP a partir de las características de transporte y fuente de P en cada tratamiento. También se evaluó una modificación al transporte de P, de relación lineal en la tasa de pérdida de P (TPP) a una exponencial. Los resultados mostraron que al inicio del estudio el pasto tiene baja vulnerabilidad a la pérdida de P, pero después se torna vulnerabilidad media, mientras que el maíz tuvo vulnerabilidad media. Se observó efecto de escala al incrementar el área de drenaje con reducción del valor del IP. La calibración del IP con modificación de la TPP de tipo lineal a exponencial mejoró el desempeño del IP.

Abstract

The high concentration of livestock in the highlands of Jalisco, Mexico, generates more than 4.34 million tons of manure that makes a region of high environmental risk annually. The phosphorus index (PI) is a planning tool that identifies areas of environmental risk and management options to reduce the potential impact of agricultural system, but before the IP should be adapted and calibrated to local conditions aim of this study. The study was conducted from 2009 to 2011 in the Experimental Center Altos de Jalisco, INIFAP, Tepatitlán located in Morelos, Jalisco. In every storm rainfall, runoff and water erosion was measured; lots of runoff and drainage areas with corn and grass, to which bovine manure and manure plus fertilizer was applied were used. With this information was calculated from the IP transport characteristics and source of P in each treatment. A modification to the transport of P, the linear relationship in loss rate P (TPP) in an exponential was also evaluated. The results showed that at baseline the grass has low vulnerability to P loss, but then becomes medium vulnerability, while corn was medium vulnerability. Scale effect was observed by increasing the drainage area with reduction in the value of the IP. Calibration of IP with modification of TPP linear exponential improved performance IP.

* Recibido: junio de 2013
Aceptado: enero de 2014

Palabras clave: erosión hídrica, escurrimiento superficial, tasa de pérdida de fósforo, fuentes de fósforo.

Introducción

En México la actividad agropecuaria es importante porque produce más de 3.4% del PIB y la ganadería genera casi 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 y aves para carne: 311 961 857; de éste inventario ganadero, los Altos de Jalisco 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, 2011), con una producción de estiércol estimada en 4.34 millones de toneladas anuales, situación que la constituye como una zona de riesgo ambiental (FAO, 2003).

Los componentes orgánicos del estiércol y la orina de los animales en pastoreo, cuando son depositados en el suelo proporcionan nutrientes para los cultivos, además de aumentar la materia orgánica del suelo y una mayor capacidad en la retención de agua. Sin embargo, el alto contenido total de fósforo (P) del estiércol varía de acuerdo a la especie animal, la dieta y el método de manipulación, pero en general el P inorgánico constituye 60 a 90% del P total en los desechos animales y sólo 20 a 80% es soluble en agua (Havlin, 2004).

La contaminación ambiental por efecto de estiércoles procedentes de los establos de lechería familiar y aplicación en las tierras agrícolas y de pastoreo de los Altos de Jalisco, es de tal magnitud, que sus efectos se manifiestan en los cuerpos de agua superficial como crecimiento incontrolado de algas y malezas acuáticas (De la Mora *et al.*, 2011), así como el elevado contenido de coliformes (Flores *et al.*, 2012), con uso limitado para el consumo humano y de los mismos establos. Ésta situación hace necesario estimar el riesgo ambiental de la aplicación de este subproducto pecuario en las tierras, así como la selección y aplicación adecuada de las prácticas de manejo pertinentes que permitan la recuperación de los recursos agua y suelo altamente deteriorados de esta región de México.

El escurrimiento superficial es el medio de transporte de los contaminantes hacia los cuerpos de agua superficial procedentes de los estiércoles aplicados o depositados en tierras agrícolas o ganaderas (Soupir *et al.*, 2006; Mishra *et al.*, 2008; Flores *et al.*, 2009), especialmente durante la

Keywords: water erosion, surface runoff, loss rate of phosphorus, phosphorus sources.

Introduction

In Mexico farming is important because it produces more than 3.4% of GDP and livestock generates about 1% of GDP, with the following livestock inventory: head of cattle milk 2 340 903 heads of cattle meat 29 420 059, 15 230 pigs 631 laying hens: 184 711 880 and poultry meat: 311 961 857; cattle inventory thereof, the Altos de Jalisco participates with 189,184 head of cattle milk, 105 700 head of cattle meat, 1 396 700 pigs and 73 556 700 laying hens (SIAP-SAGARPA, 2011), with an estimated manure production 4.34 million tons per year, a situation that is as an environmental risk area (FAO, 2003).

The organic components of manure and urine from grazing animals, when deposited in the soil provide nutrients for crops, as well as increasing soil organic matter and increased capacity in water retention. However, the high total phosphorus content (P) of manure varies according to the species, diet and method of manipulation, but in general the inorganic P constitutes 60-90% of total P in animal waste and only 20 to 80% is soluble in water (Havlin, 2004).

The effect of environmental pollution by manure from the stables and dairy family application on farmland and pasture in the highlands of Jalisco, is such that its effects are manifested in the surface water bodies as uncontrolled growth of algae and aquatic weeds (De la Mora *et al.*, 2011), and the high coliform (Flores *et al.*, 2012), with limited use and for human consumption the same stables. This situation makes it necessary to estimate the environmental risk of the application of this product in livestock land and the proper selection and application of appropriate management practices for the recovery of water and soil resources highly impaired in this region of Mexico.

Surface runoff is the means of transport of pollutants into bodies of surface water from manure applied or deposited on agricultural land or livestock (Soupir *et al.*, 2006; Mishra *et al.*, 2008; Flores *et al.*, 2009), especially during the first storm, it is necessary to know why this relationship occurs as to propose best management practices that will improve water quality (Ferguson *et al.*, 2003; Saini *et al.*, 2003; Oliver *et al.*, 2005).

primera tormenta, razón que hace necesario conocer como ocurre esta relación para proponer buenas prácticas de manejo que mejoren la calidad del agua (Ferguson *et al.*, 2003; Saini *et al.*, 2003; Oliver *et al.*, 2005).

En este contexto, el índice de Fósforo (IP) es una herramienta de planeación para los tomadores de decisión, técnicos, asesores y agricultores, para evaluar el riesgo del fósforo aplicado en las tierras y se desplace hacia un cuerpo de agua cercano (Gburek *et al.*, 2000). También puede usarse para identificar los parámetros críticos del suelo, la topografía y el manejo que influyen de manera determinante en la movilización del P. Con estos parámetros, el IP puede ayudar en la selección de opciones de manejo que definen el impacto potencial y las opciones de operación de los sistemas de producción (SP) con la cual se reduzca el riesgo que el P llegue a los cuerpos de agua superficial. Antes de utilizar el IP debe adaptarse y calibrarse a las condiciones locales, mediante la evaluación de los procesos asociados que cuantifiquen los parámetros de la disponibilidad de P en el sitio y el transporte de este hacia los cuerpos de agua. El objetivo del presente estudio fue evaluar y calibrar el índice de fósforo para su aplicación en los SP de leche en los Altos de Jalisco.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en los terrenos del Campo Experimental Centro Altos de Jalisco (CECEAJAL), del Centro de Investigaciones Regionales Pacífico Centro del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en el municipio de Tepatitlán, al noreste del Estado de Jalisco. Se ubica geográficamente entre los paralelos 20° 52' 9.1" a 20° 52' 22.1" de latitud norte y los meridianos 102° 42' 48.2" a 102° 42' 32.1" de longitud oeste y a una altitud de 1 930 msnm.

El clima del CECEAJAL de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1988), es (A)C(w₁)(w)(e)g. La lluvia promedio anual es de 869.3 mm y las temperaturas máxima, mínima y media promedio anuales son 25.7, 7.7 y 16.7 °C, respectivamente. El suelo se clasifica como mezcla fina isotérmica, Udic Rhodustalf (INEGI, 1994). La pendiente del terreno es 2.1%.

El estudio se desarrolló durante los temporales de lluvias de 2009 a 2011. Se utilizó el índice de Fósforo (IP) de Gburek *et al.* (2000), con los componentes descritos en el

In this context, the Phosphorus Index (PI) is a planning tool for decision makers, technicians, consultants and farmers to assess the risk of phosphorus applied to land and move to a nearby body of water (Gburek *et al.*, 2000). It can also be used to identify the critical parameters of soil, topography and management that influence decisively in mobilizing P. With these parameters, the IP can help in the selection of management options that define the potential impacts and options for operation of production systems (SP) with which to reduce the risk that P reaches the surface water bodies. Before using the IP and calibrated to be adapted to local conditions, by evaluating the processes associated parameters that quantify the availability of P in the site and to the transport of water bodies. The aim of this study was to evaluate and calibrate the rate of phosphorus for use in the SP of milk in the Altos de Jalisco.

Materials and methods

The study was conducted on the grounds of the Experimental Center, Altos de Jalisco (CECEAJAL) Center Pacific Regional Research Center, National Research Institute for Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP), located in the town of Tepatitlán, northeast of State Jalisco. It is geographically located between latitude 20° 52' 9.1" to 20° 52' 22.1" north latitude and 102° 42' 48.2" at 102° 42' 32.1" West longitude at an altitude of 1 930 m.

The CECEAJAL climate according to Köppen modified by García (1988), is (A)C(w₁)(w)(e)g. The average annual rainfall is 869.3 mm and maximum temperatures, minimum and mean annual average are 25.7, 7.7 and 16.7 °C, respectively. The soil is classified as fine blend isothermal, Udic Rhodustalf (INEGI, 1994). The slope is 2.1%.

The study was conducted during rainstorms from 2009 to 2011. Phosphorus index (PI) was used Gburek *et al.* (2000), with the components described in Table 1. The IP considers two basic features: 1) dependent transport characteristics of P on the site; and 2) the characteristics of the source in the P site.

Feature P transport on site

Water erosion. Measured on runoff plots (LE) and drainage areas (AD) with ground cover of grass and maize, where cattle manure and chicken manure was applied. In

Cuadro 1. El IP considera dos características básicas: 1) características dependientes del transporte de P en el sitio; y 2) las características de la fuente de P en el sitio.

Característica del transporte de P en el sitio

Erosión hídrica. Se midió en lotes de escurrimiento (LE) y áreas de drenaje (AD) con cobertura del suelo de pasto y maíz, donde se aplicó estiércol de bovino y gallinaza. En el maíz además se combinó con fertilizante. Se utilizaron los tratamientos siguientes: pasto con rajas de bovino sin incorporar en 50 m² (PRB50), maíz con estiércol de bovino incorporado en 50 m² (MEB50), maíz con gallinaza incorporada en 50 m² (MEG50), pasto con rajas de bovino sin incorporar en 1 m² (PRB1), pasto con rajas de bovino sin incorporar en 4 m² (PRB4), área de drenaje con pasto y rajas de bovino sin incorporar en 6 000 m² (ADPRB) y área de drenaje con maíz y gallinaza incorporada en 6 000 m² (ADMG). La longitud de recorrido del escurrimiento para los LE de 1, 4, 50 m² y AD de 6 000 m², fue de 1, 2, 25 y 72 m, respectivamente.

En la salida de cada LE y AD se colocó un recipiente para captar el escurrimiento y sedimento de cada tormenta; posteriormente se tomaron muestras de agua para medir el contenido de fósforo inorgánico, orgánico y total (APHA-AWWA-WPCF, 1992) y sedimento para calcular la pérdida de suelo. Para medir la lluvia se colocó un colector de lluvia y un registrador automático de datos.

Escurrimiento superficial. La calificación del escurrimiento para cada tratamiento en estudio se basó en el número de curva (CN), por sus siglas en inglés. El CN se calculó con el siguiente procedimiento:

Se estimó el parámetro de retención de humedad con el uso de volumen de escurrimiento y la cantidad de lluvia, en la expresión siguiente (Jasso *et al.*, 1999):

$$s = 5 \cdot (p + 2 \cdot Q - \sqrt{4 \cdot Q^2 + 5 \cdot p \cdot Q}) \quad (1)$$

Dónde: Q= es el escurrimiento superficial (mm); p= es la lluvia (mm); y s= es un parámetro de retención de humedad del suelo (mm).

El CN se determinó como una función del parámetro s, a partir de la ecuación siguiente:

$$CN = \frac{25400}{s + 254} \quad (2)$$

addition, maize was combined with fertilizer. The following treatments were used: grass with slices of veal without incorporating 50 m² (PRB50), maize with bovine manure incorporated into 50 m² (MEB50), maize with manure incorporated 50 m² (MEG50), pasture with bovine without incorporating into 1 m² (PRB1), pasture with cattle without incorporating in 4 m² (PRB4), drainage area with grass and slices of veal without incorporating in 6 000 m² (ADPRB) and drainage area corn and chicken manure incorporated in 6000 m² (ADMG). The path length of runoff for LE 1, 4, 50 m², and AD 6000 m², was 1, 2, 25 and 72 m², respectively.

At the output of each LE and AD container was placed to capture runoff and sediment of each storm, then water samples were taken to measure the content of inorganic, organic and total phosphorus (APHA-AWWA-WPCF, 1992) and sediment to calculate soil loss. To measure the rain a rain collector and an automatic data logger was placed.

Surface runoff. The rating of runoff for each study treatment was based on the curve number (CN), for its acronym in english. The SC was calculated using the following procedure:

We estimated the moisture retention parameter using runoff volume and the amount of rain in the next expression (Jasso *et al.*, 1999.)

$$s = 5 \cdot (p + 2 \cdot Q - \sqrt{4 \cdot Q^2 + 5 \cdot p \cdot Q}) \quad (1)$$

Where: Q= the surface runoff (mm), P= the rain (mm), s= is a parameter retaining soil moisture (mm).

The CN is deterministic or as a function of the pair or n to meters, from the following equation:

$$CN = \frac{25400}{s + 254} \quad (2)$$

The rating of runoff from the slope (2.1%) and CN ranges: <60, 60-70, 70-80 and > 80, the rating assigned to runoff was N (negligible), L (low), M (medium) and H (high), respectively.

Feature of the P source on site

Analysis of P in soil. The phosphorus content in the soil of the LE and AD, used the Bray 1 method (APHA-AWWA-WPCF, 1992). The interpretation of the P

La calificación del escurrimiento basada en la pendiente del terreno (2.1%) y los rangos de CN: < 60, 60-70, 70-80 y > 80, la calificación asignada al escurrimiento fue N (despreciable), L (bajo), M (medio) y H (alto), respectivamente.

Característica de la fuente de P en el sitio

Análisis de P en el suelo. El contenido de fósforo en el suelo de los LE y AD, utilizó el método de Bray 1 (APHA-AWWA-WPCF, 1992). La interpretación del contenido de P reportado en el análisis de suelo con el método Bray 1, se utilizó la recomendación de Castellanos *et al.* (2000).

Tasa de aplicación de fertilizante químico y método de aplicación. La cantidad de fertilizante químico aplicado al maíz fue la dosis 160-69-00, incorporado al momento de la siembra a una profundidad mayor de 5 cm.

Tasa de aplicación de Porgánico procedente de estiércoles y método de incorporación al suelo. Las cantidades de estiércol de bovino y gallinaza que se aplicó en los tratamientos PRB50, MEB50, MEG50, PRB1, PRB4, ADPRB y ADMG, fueron 15 kg de rajas estiércol de bovino, 150 kg de estiércol de bovino, 100 kg de estiércol de gallina, 0.360 kg de rajas de estiércol de bovino, 1.44 kg de rajas de estiércol de bovino y 1 800 kg de rajas de estiércol de bovino, respectivamente. Con respecto al método de aplicación del estiércol en maíz, este se incorporó en el suelo al momento de la labranza y en pasto solo se depositó en la superficie del terreno en forma de rajas, situación orientada a simular el pastoreo de las vacas lecheras, como parte del manejo del SP de lechería familiar de los Altos de Jalisco (Román, 2009).

Cálculo del índice de fosforo (IP)

El IP se obtuvo con la aplicación de la ecuación (3), donde se integran las características de transporte y la fuente de P en el sitio, descritas en el Cuadro 1.

$$IP = [(TER \cdot P_{ER})(TES \cdot P_{ES})(DIS \cdot P_{DIS})][\sum_{i=1}^5 (CFP \cdot P)_i] \quad (3)$$

Dónde: TER= a la calificación de la tasa de erosión hídrica; P_{ER} = a la ponderación del factor erosión hídrica; TES= a la calificación de la tasa de escurrimiento superficial; P_{ES} = a la ponderación del factor escurrimiento superficial; DIS= es la calificación de la distancia a la red de drenaje del sitio o el periodo de retorno; P_{DIS} = es la ponderación del factor distancia o periodo de retorno; CFP= es la calificación de cada una de las cinco características de la fuente de fósforo; P=es la ponderación de cada una de las cinco características de la fuente fósforo.

content reported in the analysis of soil with Bray-1 method, the recommendation of Castellanos *et al.* (2000) was used.

Application rate of chemical fertilizer and method of application. The amount of chemical fertilizer applied to corn was dose 160-69-00, built at the time of planting to a depth of 5 cm.

Application rate of organic P from manure and soil incorporation method. The quantities of cattle manure and chicken manure was applied in PRB50, MEB50, MEG50, PRB1, PRB4, ADPRB and ADMG treatments were 15 kg of rajas bovine manure, 150 kg of cattle manure, 100 kg of chicken manure, 0.360 kg of cattle manure slits, 1.44 kg of cattle manure rajas and rajas 1 800 kg of cattle manure, respectively. Regarding the method of manure application on corn, this was incorporated into the soil at tillage and pasture only deposited on the ground surface in the form of slits, designed to simulate the grazing of dairy cows situation, as management of the SP family dairy Altos de Jalisco (Roman, 2009).

Calculation of the phosphorus (IP)

The IP is obtained by applying equation (3), wherein the transport characteristics and the P source in the room, as described in Table 1 are integrated.

$$IP = [(TER \cdot P_{ER})(TES \cdot P_{ES})(DIS \cdot P_{DIS})][\sum_{i=1}^5 (CFP \cdot P)_i] \quad (3)$$

Where: TER= a qualification rate of water erosion, P_{ER} = a weighting factor of water erosion; TES= a qualification rate of surface runoff, P_{ES} = a runoff weighting factor; DIS= is the rating of the distance to the drainage of the site or the return period, P_{DIS} = is the weighting of the distance or return period factor, CFP= is the rating of each of the five characteristics of the phosphorus source P= is the weighting of each of the five characteristics of the phosphorus source.

According to the calculated IP, site vulnerability to P loss, value is interpreted using Table 2 is identified.

Analysis of information. In data analysis regression analysis and descriptive statistics were used in the EXCEL program. With these results, a modification to the IP rating of the TTP to improve its performance is proposed.

Cuadro 1. Índice de fósforo (IP) para evaluar la vulnerabilidad del sitio a la pérdida de P y cambios propuestos en las características de transporte de P en el sitio (Gburek *et al.*, 2000).**Table 1. Phosphorus Index (PI) to assess the vulnerability of the site to the loss of P and proposed transport characteristics of changes in the P site (Gburek *et al.*, 2000).**

Característica del transporte de P en el sitio	Factor de ponderación	Tasa de pérdida de fósforo				
		Ninguno (0.6) (0.1)	Bajo (0.7) (0.2)	Medio (0.8) (0.4)	Alto (0.9) (0.86)	Muy alto (1.0) (1.6)
		< 10 t ha ⁻¹	10 - 20 t ha ⁻¹	20 - 30 t ha ⁻¹	> 30 t ha ⁻¹	
Erosión hídrica	1.0	No aplica				
Escurrimiento superficial	1.0	Despreciable (N)	Muy bajo o bajo (L o LV)	Medio (M)	Alto (H)	Muy alto (HV)
		Ninguno (0.2)	Bajo (0.4)	Medio (0.6)	Alto (0.8)	Muy alto (1.0)
			(0.1)	(0.2)	(0.4)	(0.86)
Periodo de retorno/distancia	1.0	> 10 años > 170 m	6 - 10 años 130 - 170 m	3-5 años 80 - 130 m	1 - 2 años 30 - 80 m	< 1 años < 30 m
Característica de la fuente de P en el sitio	Factor de ponderación	Tasa de pérdida de fósforo				
		Ninguno (0)	Bajo (1)	Medio (2)	Alto (4)	Muy alto (8)
Análisis de P (Bray 1)	1.0	No aplica	Bajo	Medio	Alto	Excesivo
Tasa de aplicación de fertilizante	0.75	No aplica	1-15 kg P/ha	16-45 kg P/ha	46-75 kg P/ha	> 76 kg P/ha
Método de aplicación de fertilizante	0.5	No aplica	Profundidad mayor a 5 cm	Incorporado antes de la siembra	Incorporado > 3 meses antes de la siembra o aplicado en la superficie < 3 meses antes de la siembra	Aplicado en la superficie > 3 meses antes de la siembra
Tasa de aplicación de P orgánico	1	No aplicado	1-15 kg P/ha	16-30 kg P/ha	31-45 kg P/ha	> 46 kg P/ha
Método de aplicación de P orgánico	1	Ninguno	Inyectado a más de 5 cm de profundidad	Incorporado inmediatamente antes de la siembra	Incorporado > 3 meses antes de la siembra o aplicado en la superficie < 3 meses antes de la siembra	Aplicado en la superficie > 3 meses antes de la siembra

De acuerdo con el IP calculado, se identifica la vulnerabilidad del sitio a la pérdida de P, valor que se interpreta con el uso del Cuadro 2.

Ánalisis de la información. En el análisis de información se utilizó análisis de regresión y estadística descriptiva, en el programa EXCEL. Con éstos resultados se plantea una modificación a la calificación del TTP del IP que mejore su desempeño.

Results and discussion

Features of P transport on site

Rainfall from June to December 2009, 2010 and 2011 was 1053.9, 634.4 and 642.7 mm, respectively. Surface runoff, soil loss and curve number, result of rain each year, reflecting the effect of the hydraulic characteristics of the soil cover

Resultados y discusión

Característica del transporte de P en el sitio

La precipitación pluvial de junio a diciembre de 2009, 2010 y 2011 fue de 1053.9, 634.4 y 642.7 mm, respectivamente. El escurrimiento superficial, pérdida de suelo y número de curva, resultado de la lluvia de cada año, reflejan el efecto de las características hidráulicas de la cobertura del suelo en la generación de erosión hídrica y el escurrimiento superficial, y estos fueron contrastantes en 2009 con respecto a 2010 y 2011. La mayor lamina de escurrimiento, la pérdida de suelo y el valor de CN se tuvo en maíz y menor en pasto, con un fuerte efecto de escala y comportamiento hidrológico similar al reportado en otros estudios (Tapia-Vargas *et al.*, 2000; Loredo-Osti *et al.*, 2005; Moreno-de las Heras *et al.*, 2010; Francisco-Nicolás *et al.*, 2010; Delmas *et al.*, 2012).

La calificación de las características de transporte de P en el sitio para la distancia al cuerpo de agua o red de drenaje se evaluó con 1 para todos los LE y 0.9 para el AD. La erosión hídrica en todos los tratamientos fue menor a 10 t ha^{-1} durante los años de estudio, por lo que la calificación fue de 0.7, en cambio el CN varió en los años que duró el estudio; para 2009 los tratamientos de LE con pasto PRB1, PRB4 y PRB50, se calificó con 0.8; para los tratamientos de LE con maíz MEB50, MEG50, se calificó con 0.9 y para ADPRB y ADMG se calificaron con 0.7 y 0.9 respectivamente. En 2010 los tratamientos del LE con pasto y maíz mantuvieron los mismos valores que en 2009, pero en las ADPRB y ADMG se calificaron con 0.7 y 0.8 respectivamente. Para 2011 se mostraron cambios más notables, de manera que los tratamientos de LE con pasto PRB1, PRB4 y PRB50, se calificó con 0.9, 0.9 y 0.8, respectivamente; los tratamientos de LE con maíz MEB50, MEG50, se calificó con 0.9, y para ADPRB y ADMG se calificaron con 0.7 y 0.8 respectivamente.

Característica de la fuente de P en el sitio

El contenido inicial de P en el suelo para LE y AD de 46.99 y 25.92 ppm (calificación de alto y medio, respectivamente). Para 2011, el contenido de P en el suelo para el ADMG, ADPRB, fue de 60.79 ppm (calificación de alto), 7.88 ppm (calificación de bajo), respectivamente; en los LE MEG50, MEB50 y PRB50, el contenido de P en el suelo fue de 62.98 ppm (calificación de excesivo), 36.48 ppm (calificación de alto) y 13.38 ppm (calificación de medio),

in the generation of water erosion and surface runoff, and these were contrasting in 2009 over 2010 and 2011. Most sheet runoff, soil loss and the value of CN was lower in corn and pasture, with a strong effect of scale and similar to that reported in other studies (Tapia-Vargas *et al.*, 2000; Loredo-Osti *et al.*, 2005; Moreno-de las Heras *et al.*, 2010; Francisco-Nicolás *et al.*, 2010; Delmas *et al.*, 2012).

Cuadro 2. Interpretación del grado de vulnerabilidad a la pérdida de P en el sitio, de acuerdo con el valor de IP calculado con la ecuación 3.

Table 2. Interpretation of the degree of vulnerability to loss of the P site, in accordance with the IP value calculated from Equation 3.

IP	Vulnerabilidad del sitio a la pérdida de P
< 5	Bajo
5 - 9	Medio
9 - 22	Alto
> 22	Muy alto

The rating of the transport characteristics of P in the site for the distance to the water body or drainage network was evaluated with 1 for all LE and 0.9 for AD. Water erosion in all treatments was less than 10 t ha^{-1} during the years of study, so that the rating was 0.7, whereas the CN varied in the years of the study; 2009 LE treatments with PRB1 grass, and PRB50 PRB4, scored with 0.8; treatments for corn MEB50 LE, MEG50, scored with 0.9 and ADMG ADPRB and was graded 0.7 and 0.9 respectively. In 2010 LE treatments with grass and corn remained the same values as in 2009, but in ADPRB and ADMG were rated 0.7 and 0.8 respectively. By 2011 most notable changes were such that LE treatments PRB1 grass, and PRB50 PRB4, scored with 0.9, 0.9 and 0.8, respectively; treatments with corn MEB50 LE, MEG50, scored with 0.9 and ADMG to ADPRB and were rated with 0.7 and 0.8 respectively.

Features of P source on site

The initial content of P in the soil for LE and AD of 46.99 and 25.92 ppm (medium and high grade, respectively). For 2011, the P content in the soil for ADMG, ADPRB, was 60.79 ppm (high grade), 7.88 ppm (low grade), respectively, in LE MEG50, PRB50 MEB50 and the content of P in soil was 62.98 ppm (score excessive), 36.48 ppm (high grade) and 13.38 ppm (average rating), respectively. In maize, soil incorporation of manure and bovine manure generate a residual effect changes in the physical and chemical soil characteristics (Eghball *et al.*, 2004), but when the cattle's are

respectivamente. En el maíz, la incorporación al suelo de la gallinaza y el estiércol de bovino, generan un efecto residual con cambios en las características edáficas físicas y químicas (Eghball *et al.*, 2004); sin embargo, cuando las rajas de bovino se dejan sobre el suelo del LE y AD con pasto, ocurre una reducción en el contenido de P en el suelo, efecto atribuido al lavado por el escurrimiento (Aarons *et al.*, 2009; Vadas *et al.*, 2011) y acentuado por la extracción continua de P en los pastizales en la capa superficial (0 a 10 cm de profundidad), que finalmente los hace susceptibles a deficiencias de fósforo (McLaughlin *et al.*, 2011).

Tasa y método de aplicación de fertilizante químico. La calificación de la tasa de aplicación de fertilizante químico y método de aplicación, resultó de 1 en los tratamientos estudiados.

Tasa de aplicación de estiércoles y método de incorporación en el suelo. La calificación a la tasa de aplicación de estiércoles en los LE con pasto y las AD con pasto y maíz se calificó con 1, mientras en los LE con maíz se calificó con 4. Con respecto al método de aplicación del estiércol, cuando se aplicó con tres meses de anticipación a la siembra se calificó con 4, en cambio cuando se incorporó antes de la siembra la calificación fue de 2.

El Cuadro 3 muestra el índice de Fosforo (IP) calculado para los tratamientos estudiados y el grado de vulnerabilidad a la pérdida de P para cada uno de ellos de 2009 a 2011. El IP muestra que en pasto con rajas de bovino al inicio del estudio la vulnerabilidad a la pérdida de P es baja, pero después cambió a vulnerabilidad media. Éste resultado es atribuido principalmente a las características de transporte en el sitio por el escurrimiento superficial (Sharpley *et al.*, 1993; Dougherty *et al.*, 2004); sin embargo, la fuente de fósforo con su contenido de P y el método de colocación sobre el suelo da calificaciones media y alta, con implicaciones importantes en el resultado del IP. Aarons *et al.* (2009) mencionaron que las rajas de bovino tienen un efecto localizado sobre la planta de pasto, produciendo en este punto un aumento de P, K, pH y CE en el estrato de 0 a 10 cm del suelo, con permanencia en el terreno de hasta 112 días, dependiendo del contenido de humedad de la raja de estiércol, su contenido de materia seca, el área de contacto con el suelo, la temperatura ambiental, la precipitación y escurrimiento superficial (Vadas *et al.*, 2011).

left on the floor of the LE and AD grass, occurs a reduction in the content of P in the soil, attributed to runoff washing effect (Aarons *et al.*, 2009; Vadas *et al.*, 2011) and accented by continuous extraction P in pastures in the surface layer (0-10 cm depth), which ultimately makes them susceptible to deficiencies of phosphorus (McLaughlin *et al.*, 2011).

Rate and method of application of chemical fertilizer. The rating of the application rate of chemical fertilizer and method of application resulted 1 in the treatments.

Application rate and method of manure incorporation into the soil. The rating for the application rate of manure in the LE with grass and grass and maize AD scored with 1, while the LE with corn scored 4. With respect to the method of application of manure, when applied three months before planting scored with 4, however when it was incorporated before planting the rating was 2.

The Table 3 shows the rate of phosphorus (IP) calculated for the treatments and the degree of vulnerability to P loss for each of 2009-2011. The IP shows that cattle pasture with slits at baseline vulnerability to P loss is low, but later changed to medium vulnerability. This result is mainly attributed to the transport characteristics at the site by surface runoff (Sharpley *et al.*, 1993; Dougherty *et al.*, 2004). But the source of phosphorus contents of P and method of placement Ground da middle and upper grades, with major implications for the outcome of the IP. Aarons *et al.* (2009) mentioned that the slices of beef they have located on plant grass effect, producing at this point an increase of P, K, pH and EC in the layer of 0-10 cm soil, to stay in the field up to 112 days, depending on the moisture content of the raja of manure dry matter content, the contact area with the ground, ambient temperature, precipitation and surface runoff (Vadas *et al.*, 2011).

When this situation is combined with hydrological conditions that produce high surface runoff in point, as high CN values, the result is the mobilization of P in surface runoff (Dougherty *et al.*, 2004) and therefore more vulnerable to the site of the loss of P.

In the case of maize with fertilizer and manure application, the IP shows that the crop has a medium risk in the three years of the study. This result is associated with the transport

Cuadro 3. Valor del índice de fósforo y grado de vulnerabilidad a la pérdida de fósforo según tratamientos evaluados en el periodo de 2009 a 2011.**Table 3. Phosphorus index value and vulnerability to phosphorus loss as treatments evaluated in the period from 2009 to 2011.**

Tratamiento	Índice de fósforo / vulnerabilidad					
	2009		2010		2011	
Pasto 1 m ² EBR	3.8	Bajo	5.5	Medio	7.6	Medio
Pasto 4 m ² EBR	3.8	Bajo	5.5	Medio	6.6	Medio
Pasto 50 m ² EBR	3.8	Bajo	5.5	Medio	5.5	Medio
Maíz EB 50 m ²	6.4	Medio	6.4	Medio	6.4	Medio
Maíz G 50 m ²	6.4	Medio	6.4	Medio	6.4	Medio
Área de drenaje pasto EBR	2.3	Bajo	3.2	Bajo	3.2	Bajo
Área de drenaje maíz G	3.6	Bajo	2.9	Bajo	3.2	Bajo

Cuando se combina esta situación con condiciones hidrológicas que producen altos escurrimientos superficiales en el punto, como valores de CN elevados, el resultado es la movilización del P en el escurrimiento superficial (Dougherty *et al.*, 2004) y en consecuencia, una mayor vulnerabilidad en el sitio a la pérdida de P.

En el caso de maíz con aplicación de fertilizante y estiércol, el IP muestra que el cultivo tiene un riesgo medio en los tres años que duró el estudio. Éste resultado se asocia con las características de transporte en el sitio, particularmente a la erosión hídrica que generan la remoción de P particulado y disuelto (Sharpley *et al.*, 1993), efecto reforzado con la cantidad de fertilización combinado con la aplicación de estiércol y el método de incorporación de este. Havlin (2004) mencionó que la extracción de P del suelo en tierras con uso agrícola o pecuario se incrementa exponencialmente con la erosión hídrica del suelo y linealmente con la disponibilidad de P en el suelo. La vulnerabilidad a la pérdida de P en el AD se mantuvo baja durante el tiempo que duró el estudio, resultado atribuido a las características de transporte de P en el sitio y el efecto de escala observado en los procesos de escurrimiento superficial y erosión hídrica (Cerdán *et al.*, 2004; Moreno-de las Heras *et al.*, 2010).

Con base en estos resultados, las tierras de pastoreo más cercanas a la red de drenaje y los cuerpos de agua son más susceptibles a recibir P vía escurrimiento superficial, en cambio las tierras agrícolas pierden el P vía erosión hídrica con escurrimientos superficial. Es necesario implementar buenas prácticas de manejo para reducir la salida de P de las áreas de pastoreo y agrícolas, vía escurrimiento superficial y erosión hídrica, respectivamente.

characteristics at the site, particularly to water erosion that generate P removal particulate and dissolved (Sharpley *et al.*, 1993), an effect reinforced by the amount of combined fertilization with manure application and the incorporation of this. Havlin (2004) mentioned that the extraction of soil P in livestock or agricultural land use increases exponentially with water erosion of soil and linearly with the availability of P in soil. Vulnerability to P loss in AD remained low during the period of the study, attributed to the transport characteristics of P on the site and the scale effect observed in the processes of surface runoff and water erosion result (Cerdán *et al.*, 2004; Moreno-de las Heras *et al.*, 2010).

Based on these results, the nearest land to the drainage network and water bodies are more susceptible to grazing receive P via surface runoff instead lose farmland P via surface runoff water erosion. It is necessary to implement best management practices for P output of grazing and agricultural and water via runoff, erosion respectively.

Performance index phosphorus

IP performance was evaluated by the rate equations relating to the loss of total phosphorus, inorganic phosphorus and organic phosphorus runoff in 2009 and 2010. The resulting models are exponential and are shown in Table 4. Such functions are similar to that observed in surface runoff and water erosion with increasing travel distance of water flow (Sharpley *et al.*, 2002; Havlin, 2004), so the effect of this hydrological transport of P is highly influential in this nutrient export off site. Table 1 shows that the classification rate of loss of phosphorus

Desempeño del índice de fósforo

El desempeño del IP se evalúo mediante ecuaciones que relacionan el índice con la pérdida de fósforo total, fósforo inorgánico y fósforo orgánico, en el escurrimiento de 2009 y 2010. Los modelos que resultaron son de tipo exponencial y se muestran en el Cuadro 4. Este tipo de funciones son similares al observado en el escurrimiento superficial y la erosión hídrica con el incremento en la distancia de recorrido del flujo de agua (Sharpley *et al.*, 2002; Havlin, 2004), por lo que el efecto de estas características hidrológicas en el transporte de P es altamente influyente en la exportación de este nutriente fuera del sitio. En el Cuadro 1 se muestra que la calificación en la tasa de pérdida de fósforo (TPP) con la erosión hídrica, escurrimiento superficial y la distancia que recorre el escurrimiento fuera del sitio es tipo lineal (Sharpley *et al.*, 1993; Sharpley *et al.*, 2002 Havlin, 2004), por lo que los modelos del Cuadro 4 son la base para modificar la calificación del TPP con tendencia exponencial a las características de transporte en el sitio, como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 4. Modelos entre el índice de fósforo con la pérdida de fósforo total, fósforo inorgánico y fósforo orgánico, con y sin modificación en la calificación de la TPP en las características de transporte en el sitio, para 2009 y 2010, en Tepatitlán de Morelos, Jalisco.

Table 4. Models between the rate of loss of phosphorus total phosphorus, inorganic phosphorus and organic phosphorus, with and without change in the rating of the TPP in the transport characteristics at the site, for 2009 and 2010 in Tepatitlán de Morelos, Jalisco.

Tipo de fósforo	Sin modificación en el factor de ponderación de la TPP		Con modificación en el factor de ponderación de la TPP	
	Modelo	r ²	Modelo	r ²
Fósforo total	$Y = 0.0253\exp(0.0834X)$	0.487	$Y = 0.088\exp(0.451X)$	0.768
Fósforo inorgánico	$Y = 0.0208\exp(0.717X)$	0.314	$Y = 0.047\exp(0.430X)$	0.610
Fósforo orgánico	$Y = 0.0004\exp(1.394X)$	0.673	$Y = 0.017\exp(0.571X)$	0.746

Con la modificación propuesta a la calificación de la TPP, se calculó nuevamente el IP para los tratamientos en estudio y obtener los nuevos modelos del IP con la pérdida de fósforo total, orgánico e inorgánico, con resultados mostrados en el Cuadro 4. El coeficiente de determinación (r²) de los nuevos modelos muestra que el IP mejoró su desempeño, por lo que la calibración propuesta al IP se considera adecuada para su aplicación en los Altos de Jalisco. Sin embargo, su aplicación se limita a condiciones en que se llevó a cabo este trabajo, por lo que se recomienda ampliar la calibración del IP en localidades donde el escurrimiento y la erosión hídrica tenga una mayor intensidad, así como en distancias o periodos de retorno mayores a utilizados en el presente estudio.

(TPP) with water erosion, surface runoff and distance the offsite runoff is linear (Sharpley *et al.*, 1993; Sharpley *et al.*, 2002; Havlin, 2004), so the models in Table 4 are based to change the rating of the TPP with exponential characteristics onsite transportation trend, as shown in Table 1.

The proposed amendment to the rating of the TPP, the IP was calculated again for the treatments under study and get the new models of IP with the loss of total organic and inorganic phosphorus, with results shown in Table 4. The coefficient of determination (r²) of the new model shows that the IP improved its performance, so that the calibration given the IP is considered suitable for application in the highlands of Jalisco. However, its application is limited to conditions in which they carried out this work, it is recommended to extend the calibration of IP in areas where runoff and water erosion has greater intensity, as well as distances or return periods greater than used in the present study.

Conclusions

The Phosphorus Index (PI) in the grass with slices of manure application showed low baseline vulnerability to contamination with P, but then turns into medium vulnerability, low residual. The IP maize showed a medium risk in all years of the study, attributed to the incorporation of bovine manure and manure to the soil before planting the fertilizer result. The IP s in drainage areas with grass and maize showed low vulnerability to phosphorus loss attributed to the transport characteristics of P on the site and the scale effect observed in the processes of surface runoff

Conclusiones

El Índice de Fósforo (IP) en el pasto con aplicación de rajas de estiércol, mostró vulnerabilidad baja al inicio del estudio a la contaminación con P, pero después se torna en vulnerabilidad media, con baja residualidad. El IP del maíz mostró un riesgo medio en todos los años que duró el estudio, resultado atribuido a la incorporación de estiércol de bovino y gallinaza al suelo antes de la siembra más el fertilizante. El IP en las áreas de drenaje con pasto y maíz mostró baja vulnerabilidad a la pérdida de fósforo, resultado atribuido a las características de transporte de P en el sitio y el efecto escala observado en los procesos de escurrimiento superficial y erosión hídrica. Con base en estos resultados, las tierras de pastoreo más cercanas a la red de drenaje y cuerpos de agua, son más susceptibles a recibir P vía escurrimiento superficial, en cambio las tierras agrícolas pierden el P vía erosión hídrica con escurrimientos superficial.

En la calibración del IP, la modificación de la calificación de la tasa de pérdida de fósforo en las características de transporte de fósforo con una relación exponencial, mejoró sustancialmente el desempeño. Sin embargo, se recomienda ampliar la calibración del IP en localidades donde el escurrimiento y la erosión hídrica tenga una mayor intensidad, así como en distancias o períodos de retorno mayores a utilizados en el presente estudio.

Literatura citada

- Aarons, S. R.; O'Connor, C. R.; Hosseini, H. M. and Gourley, C. J. P. 2009. Dung pads increase pasture production, soil nutrients and microbial biomass carbon in grazed dairy systems. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 84:81-92.
- American Public Health Association-American Water Works Association-Water Pollution Control Federation(APHA-AWWA-WPCF).1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Ediciones Díaz de Santos, S. A. Madrid, España. 4:192-197.
- Castellanos, J. Z.; Uvalle- Bueno, X. y Aguilar- Santelises, A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas agrícolas, plantas y ECP. 2^a. Edición. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. 201 p.
- Cerdan, O.; Bissonnais, Y. L.; Govers, G.; Lecomte, V.; van Oost, K.; Couturier, A.; King, C. and Dubreuil, N. 2004. Scale effect on runoff from experimental plots to catchments in agricultural areas in Normandy. J. Hydrol. 299:4-14.
- De La Mora O. C.; Flores, L. H. E.; García, V. J.; Chávez, D. A. A. y Ruiz, C. J. A. 2011. Caracterización taxonómica del plancton en la presa El Jihuite en Tepatitlán de Morelos, Jalisco. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Folleto técnico Núm. 8. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 46 p.
- and water erosion result. Based on these results, the nearest land to the drainage network and water bodies, grazing are more likely to receive P via surface runoff instead lose farmland P via surface runoff water erosion.
- In the calibration of the IP, the change in the rating of the rate of loss of phosphorus in phosphorus transport characteristics with an exponential relationship, substantially improved performance. However, it is recommended to extend the calibration of IP in areas where runoff and water erosion has greater intensity, as well as distances or higher return periods used in this study.
- End of the English version*
-
- Delmas, M.; Pak, L. T.; Cerdan, O.; Souchère, V.; Le Bissonnais, Y.; Couturier, A. and Sorel, L. 2012. Erosion and sediment budget across scale: a case study in a catchment of the European loess belt. J. Hydrol. 420-421:255-263.
- Dougherty, W. J.; Fleming, N. K.; Cox, W. J. and Chittleborough, D. J. 2004. Phosphorus transfer in surface runoff from intensive pasture systems at various scales: a review. J. Environ. Quality. 33(6):1973-1988.
- Eghball, B.; Ginting, D. and Gilley, J. E. 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. Agron. J. 96:442-447.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2003. 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. (consultado noviembre, 2011). <http://www.fao.org/wairdocs/LEAD/X6372S/x6372s00.htm>.
- Ferguson, Ch.; De Roda-Husman, A. M.; Altavilla, N.; Deere, D. and Ashbolt, N. 2003. Fate and transport of surface water pathogens in watersheds. Critical Rev. Environ. Sci. Technol. 3(3):299-361.
- Flores, L. H. E.; Hernández, J. A. L.; Figueroa, V. U. y Castañeda, V. A. A. 2012. Calidad Microbiológica del agua por contaminación difusa de la aplicación de estiércoles en maíz y pasto. Tecnologías y ciencias del agua. TyCA-RETAC. III:127-141.
- Flores L. H. E.; Ireta, M. J.; Pérez, D. J. F.; Ruiz, C. J. A. y Díaz, M. P. 2009. Identificación de buenas prácticas agrícolas para reducir la degradación del suelo e incrementar la calidad del agua. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)- CIRPAC- Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Libro científico núm. 1. Tepatitlán de Morelos, Jalisco. México. 156 p.
- Francisco-Nicolás, N.; Turrent-Fernández, A.; Flores-López, H. E.; Martínez-Menes, M. R. y Enríquez-Quiroz, J. F. 2010. Estimación del escurrimiento superficial con el método SCS-CN en el trópico subhúmedo de México. Terra Latinoamericana. 28:71-78.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4^a. edición. Imprenta Universitaria. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, D. F., 219 pp.

- Gburek, W. J.; Sharpley, A. N.; Heathwaite, L. and Folmar, G. J. 2000. Phosphorus management at the watershed scale: a modification of the phosphorus index. *J. Environ. Quality.* 29:130-144.
- Havlin, J. L. 2004. Technical basis for quantifying phosphorus transport to surface and groundwaters. *J. Animal Sci.* 82:E277-E291.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1994. 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. 10-16 de julio. Acapulco, México. 42-72 p.
- Jasso, I. R.; Sánchez, C. I.; Stone, A. J. J.; Melgoza, C.; Simanton, J. R. y Martínez, R. J. G. 1999. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Recursos Hídricos (SAGAR)- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-CENID RASPA. Libro científico Núm. 1. Gómez Palacio, Durango, México. 75-97 p.
- Loredo-Osti, C.; Beltrán, L. S.; Villanueva, D. J. y Urrutia, M. J. 2005. Establecimiento de pasto buffel para el control de la erosión hidrálica. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-CENID RASPA. Campo Experimental San Luis. San Luis Potosí. S. L. P., México. Folleto técnico Núm. 26. 32 p.
- McLaughlin, M. J.; McBeath, R. T.; Smernik, M.; Stacey, S. P.; Ajiboye, B. and Guppy, C. 2011. The chemical nature of P accumulation in agricultural soils-implications for fertilizer management and design: an Australian perspective. *Plant Soil.* 349:69-87.
- Mishra, A.; Benham, B. L. and Mostaghimi, S. 2008. Bacterial transport from agricultural lands fertilized with animal manure. *Water Air, and Soil Pollution.* 189:127-134.
- Moreno-de las Heras, M.; Nicolau, L. J.; Merino-Martín, L. and Wilcox, B. P. 2010. Plot scale effects on runoff and erosion along a slope degradation gradient. *Water Res. Res.* 46:W04503.1-12.
- Oliver, D. M.; Heathwaite, L.; Haygarth, P. M. and Clegg, C. D. 2005. Transfer of *Escherichia coli* to water from drained and undrained grassland after grazing. *J. Environ. Quality.* 34:918-925.
- Román, M. M. R. 2009. 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. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de los Altos, Departamento de Ciencias Biológicas. 67 pp.
- Saini, R.; Halverson, L. J. and Lorimor, J. C. 2003. Rainfall timing and frequency influence on leaching of *Escherichia coli* RS2G through soil following manure application. *J. Environ. Quality.* 32(5):1865-1872.
- Sharpley, A. N.; Kleinman, P. J. A.; McDowell, R. W.; Gitau, M. and Bryant, R. B. 2002. Modeling phosphorus transport in agricultural watersheds: Processes and possibilities. *J. Soil Water Conserv.* 57(6):425-439.
- Sharpley, A. N.; Daniel, T. C. and Edwards, D. R. 1993. Phosphorus movement in the landscape. *J. Produc. Agric.* 6(4):492-500.
- SIAP-SAGARPA. 2011. Anuarios agropecuario. (consultado enero, 2011). http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=287&Itemid=430.
- Soupir, M. L.; Mostaghimi, E.; Yagow, R.; Hagedorn, C. and Vaughan, D. H. 2006. Transport of fecal bacteria from poultry litter and cattle manures applied to pastureland. *Water, Air, and Soil Pollution.* 169:125-136.
- Tapia-Vargas, M.; Tiscareño-López, M.; Oropeza-Mota, J. L.; Stone, J. J. y Velázquez-Valle, M. 2000. Simulación de escurrimiento y salida de sedimentos en cinco prácticas de manejo de suelo. *Agrociencia* 34:663-675.
- Vadas, P. A.; Aarons, S. R.; Butler, D. M. and Dougherty, W. J. 2011. A new model for dung decomposition and phosphorus transformations and loss in runoff. *Soil Res.* 49:367-375.