

APORTES DE NITRÓGENO Y FÓSFORO DE TRES SISTEMAS AGRÍCOLAS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA “EL JIHUITE”, EN JALISCO, MÉXICO

CONTRIBUTIONS OF NITROGEN AND PHOSPHORUS FROM THREE AGRICULTURAL SYSTEMS OF “EL JIHUITE” WATERSHED, IN JALISCO, MÉXICO

Hugo E. Flores-López^{1*}, Rogelio Carrillo-González², Nestor Francisco-Nicolás³, Claudia Hidalgo-Moreno², José A. Ruiz-Corral¹, Aldo A. Casteñeda-Villanueva⁴, Raymundo Velazco-Nuño⁴

¹Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. INIFAP. 47600. Km 8 Carretera Tepatitlán-Lagos de Moreno. Tepatitlán, Jalisco. (floresh@colpos.mx). ²Campus Montecillo, Colegio de Posgraduados. 56230. km 36.5 Carretera Federal México-Texcoco, Texcoco, México. ³Campo Experimental Cotaxtla. INIFAP. 91700. Km 34 Carretera Veracruz-Córdoba. Veracruz, Veracruz, México. ⁴Centro Universitario de los Altos. Universidad de Guadalajara. Km 7.5 Carretera a Yahualica.

RESUMEN

La cuenca hidrográfica El Jihuite tiene como embalse a la presa del mismo nombre, reservorio de agua usado para la población de Tepatitlán, en Jalisco, México. Sin embargo, se ha identificado el problema de eutrofización del agua de la presa y como factor limitante al fósforo, pero se desconocen los procesos en los terrenos con uso agropecuario donde se origina el enriquecimiento de este nutrimento en dicho embalse. Se evaluó la pérdida de nitrógeno y fósforo generada por los cultivos de maíz, agave tequilero y pastos a escala de lote de escurrimiento, con el objetivo de cuantificar los nutrientes que salen de estos sistemas agrícolas e identificar los procesos asociados con la eutrofización de la presa el Jihuite. Se observó que la pérdida de nitrógeno estaba asociada con el proceso de escurrimiento superficial, mientras que el fósforo dependió de la erosión hídrica de los sistemas agrícolas estudiados. La pérdida de nitrógeno inorgánico en agave tequilero, maíz, suelo desnudo y pasto nativo para el 2002 fue 7, 4.6, 3.9 y 3 kg ha⁻¹; en el 2003 fue 14.9, 7.2, 8.6 y 2.4 kg ha⁻¹. La pérdida de fósforo total en los mismos cultivos para el 2002 fue 3.7, 3.4, 1.7 y 0.1 kg ha⁻¹; en el 2003 fue 10.8, 7.8, 4.3 y 0.0 kg ha⁻¹. El fósforo es un factor limitante en la eutrofización de la presa El Jihuite y su corrección dependerá del control de la erosión hídrica en los terrenos con uso agropecuario; por tanto deberá promoverse el uso de prácticas de conservación de suelo.

Palabras clave: Contaminación no puntual, cuenca hidrográfica El Jihuite, fósforo, nitrógeno.

ABSTRACT

The El Jihuite watershed has a reservoir with the same name, which is used for the inhabitants of Tepatitlán, in the state of Jalisco, México. However, the problem of eutrophication has been observed in the water of the dam and phosphorous as a limiting factor, although there is no knowledge on the processes taking place on the lands with agricultural use, in which the enrichment of this nutrient in this reservoir takes place. Nitrogen and phosphorous losses brought about by maize, tequila agave and grass crops were evaluated on a scale of field plot, in order to quantify the nutrients produced by these agricultural systems and identify the processes related to the eutrophication of the El Jihuite dam. Nitrogen loss was seen to be related to surface runoff, whereas phosphorous depended on the water erosion of the agricultural systems studied. The loss of inorganic nitrogen in tequila agave, maize, bare soil and native grass, for 2002, was of 7, 4.6, 3.9 and 3 kg ha⁻¹; in 2003 it was 14.9, 7.2, 8.6 and 2.4 kg ha⁻¹. Total loss of phosphorous in the same crops for 2002 was 3.7, 3.4, 1.7 and 0.1 kg ha⁻¹; in 2003 it was 10.8, 7.8, 4.3 and 0.0 kg ha⁻¹. Phosphorous is a limiting factor in the eutrophication of the El Jihuite dam, and its correction will rely on the control of water erosion on lands with agricultural use; soil conservation practices should therefore be encouraged.

Key words: Nonpoint source pollution, El Jihuite watershed, phosphorous, nitrogen.

INTRODUCTION

The distribution in the downstream hydrological environment of the remains of these inputs applied on agricultural lands, can take place in periodical discharges or with

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: Abril, 2008. Aprobado: Septiembre, 2009.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 43: 659-669. 2009.

INTRODUCCIÓN

La distribución en el entorno hidrológico aguas abajo de los restos de insumos aplicados en los terrenos agrícolas, puede ocurrir mediante descargas intermitentes o con el escurrimiento superficial debido a eventos meteorológicos, proceso conocido como contaminación por fuentes no puntuales (CNP), también llamada contaminación difusa o no localizada (Loehr, 1984), la cual genera problemas ambientales como la eutrofización de las aguas superficiales (Sharpley *et al.*, 2003).

La eutrofización, un proceso natural o antropogénico, se refiere al enriquecimiento del agua superficial con exceso de nitrógeno (N) y fósforo (P), los cuales son responsables del crecimiento excesivo de algas y malezas acuáticas (Schnoor, 1995). La eutrofización del agua guarda relación con el N inorgánico disuelto (NID) y el P inorgánico disuelto (FID), en la proporción NID:FID; desde un punto de vista estequiométrico de algas y macrofitas acuáticas, si esta proporción es mayor de 7:1 (Gold y Oviatt, 2005), 12:1 (Pietilainen, 1997) o 14:1 (Schnoor, 1996), el P es el nutrimento limitante, pero si la proporción es menor de 5:1 (Pietilainen, 1997) o 7:1 (Gold y Oviatt, 2005), el N es el nutrimento limitante. Concentraciones en el agua de 0.3 ppm de N inorgánico y 0.015 ppm de P inorgánico son los niveles en que la eutrofización podría llegar a ser un problema (McCool y Renard, 1990). En México se ha usado el P total como indicador del estado trófico de cuerpos de agua, de manera que más de 0.118 mg L⁻¹ en los lagos tropicales se consideran eutrofizados (Sobrino-Figueroa, 2007) o cuerpos de agua en ambientes templados con más de 0.035 mg L⁻¹ (Díaz-Zavaleta, 2007b). Con este criterio para caracterización de estado trófico, Díaz-Zavaleta (2007a) identificó muchos cuerpos de agua en México con problemas de eutrofización. En Tepatitlán, Jalisco, Ramírez *et al.* (1997) determinaron el contenido de N y P en muestras de agua de dos puntos y dos profundidades de la presa El Jihuete, donde la proporción de NID:FID fue 14:1 y 13:1, para la superficie y el fondo del embalse y una concentración mayor a 0.1 ppm de P total, con lo cual la presa se considera eutrofizada y el nutrimento limitante fue el P. Sin embargo, se desconoce el proceso asociado con el enriquecimiento de P en el agua de este embalse.

the surface runoff due to weather events, which is known as nonpoint source pollution (NSP), also known as diffuse or no localized pollution (Loehr, 1984), which creates environmental problems such as the eutrophication of surface water (Sharpley *et al.*, 2003).

Eutrophication is a natural or anthropogenic process, which refers to the enrichment of surface water with excess nitrogen (N) and phosphorous (P), both of which are responsible for the excessive growth of algae and seaweed (Schnoor, 1995). The eutrophication holds a close relation to the dissolved inorganic N (DIN) and the dissolved inorganic phosphorous (DIP), in the proportion DIN:DIP; from a stoichiometric viewpoint of algae and aquatic plants, if this proportion is greater than 7:1 (Gold and Oviatt, 2005), 12:1 (Pietilainen, 1997) or 14:1 (Schnoor, 1996), P is the limiting nutrient, but if the proportion is lower than 5:1 (Pietilainen, 1997) or 7:1 (Gold and Oviatt, 2005), N is the limiting nutrient. Concentrations in water of 0.3 ppm of inorganic N and 0.015 ppm of inorganic P are the levels in which eutrophication could become troublesome (McCool and Renard, 1990). In México, the total P has been used as an indicator of the trophic state of bodies of water, hence over 0.118 mg L⁻¹ in tropical lakes (Sobrino-Figueroa, 2007), or bodies of water in warm environments with more than 0.035 mg L⁻¹ (Díaz-Zavaleta, 2007b), are considered eutrophic. With this criterion for the characterization of a trophic state, Díaz-Zavaleta (2007a) found that many bodies of water in México have eutrophication problems. In Tepatitlán, Jalisco, Ramírez *et al.* (1997) determined the N and P contents in water samples in two points and two depths of the El Jihuete dam, where the proportion of DIN:DIP was 14:1 and 13:1, for the surface and the bottom of the reservoir, and a total P concentration greater than 0.1 ppm, making the dam eutrophized, and P the limiting nutrient. However, the process related to the enrichment of P in the water of this reservoir is unknown.

The organic and inorganic N applied to the soil is directly related to the content of nitrates and ammonium during the NSP process; nitrates can be leached and can pollute groundwater, or move in the overland flow towards surface water along with ammoniacal N and dissolved organic N (Goulding, 2004). Dorioz and Ferhi (1994) found that 22 % of the N applied in cultivation areas, equivalent to 14.6

El N de origen orgánico e inorgánico aplicado al suelo está directamente vinculado con el contenido de nitratos y amonio durante el proceso de CNP; los nitratos se pueden lixiviar y contaminar las aguas subterráneas, o transportarse en el escurrimiento hacia las aguas superficiales junto al N amoniacal y N orgánico disuelto (Goulding, 2004). Dorioz y Ferhi (1994) encontraron que 22 % del N aplicado en áreas de cultivo, equivalente a $14.6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, fue exportado principalmente en forma de nitratos hacia las partes bajas de una pequeña cuenca agrícola; este valor fue relativamente bajo comparado con valores previos encontrados en áreas grandes e intensamente cultivadas. En la región de los Tuxtlas (Veracruz, México) Uribe-Gómez *et al.* (2002) encontraron que la pérdida promedio de nitratos en terrazas de muro vivo fue 23 kg ha^{-1} , debido al elevado aporte de N por la descomposición de los residuos de la poda de setos que se colocaron en la superficie del suelo.

El transporte de P de la tierras agrícolas a los cuerpos de agua superficial ocurre como P soluble (P_{sol}) o P particulado (P_{part}); el P_{part} considera al P adsorbido a las partículas del suelo y la materia orgánica, las cuales son arrastradas por el escurrimiento superficial durante el proceso de erosión hídrica (Sharpley *et al.*, 2003). En suelos caracterizados por un contenido de arcilla con capas 1:1, materia orgánica y óxidos de hierro, la cantidad de P en solución del suelo es determinado por el proceso de adsorción, el cual es regulado por un pH bajo (Sanyal y De Datta, 1991). Las partículas de sedimento más finas son mantenidas en suspensión por más tiempo cuando se incrementa el escurrimiento, lo que permite su transporte en distancias más largas (Braskerud, 2005). En la cuenca hidrográfica El Jihuite (Jalisco, México) la mayor parte de los terrenos agrícolas tienen pH moderadamente ácido (5.5-6.0) y textura arcillosa en 40 % del área (Flores *et al.*, 1996), con presencia de óxidos de Fe, como goetita, hematita y arcilla caolinita (INEGI, 1994). Aunque estas características permiten proponer la posibilidad que el sedimento adsorbe el P y lo transporta por medio del escurrimiento superficial al embalse de la presa El Jihuite, debe probarse este proceso.

El objetivo del presente trabajo fue cuantificar las pérdidas de nitrógeno y fósforo de los sistemas agrícolas maíz, agave tequilero y pasto, e identificar los procesos asociados con su transporte hacia el

$\text{kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, was exported mainly in the form of nitrates to the lower areas of a small agricultural basin; this value was relatively low in comparison to previous values found in large and intensely cultivated areas. In the area of the Tuxtlas (Veracruz, Mexico) Uribe-Gómez *et al.* (2002) found that the average nitrate loss in living wall terraces was 23 kg ha^{-1} , due to the high N contribution brought about by residues in the trimming of hedges on the ground surface.

The transportation of P from agricultural lands to bodies of surface water occurs as soluble P (P_{sol}) or P in particles (P_{part}); the P_{part} considers P adsorbed to soil particles and organic matter, which are carried by the overland flow during the water erosion process (Sharpley *et al.*, 2003). In soils with a high content of clay with layers 1:1, organic matter and iron oxides, the amount of P in solution of the soil is determined by the adsorption process, which is regulated by a low pH (Sanyal and De Datta, 1991). The finest sediment particles are kept suspended for longer when the runoff is increased, which allows for its transportation for greater distances (Braskerud, 2005). In the El Jihuite watershed (Jalisco, México) most agricultural lands have a slightly acid pH (5.5-6.0) and a clayey texture in 40 % of the area (Flores *et al.*, 1996), with a presence of Fe oxides such as goethite, hematite and kaolinite (INEGI, 1994). Although these characteristics may lead one to assume the possibility that the sediment adsorbs P and carries it by surface runoff to the reservoir of the El Jihuite dam, this process must still be tested.

The aim of this study was to quantify the loss of nitrogen and phosphorous of the maize, tequila agave and grass agricultural systems, and to identify the processes related to their transportation to the reservoir of the El Jihuite dam, in Tepatitlán, Jalisco, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

The study was carried out in the Campo Experimental Centro Altos de Jalisco (CECEAJAL) Altos de Jalisco Center Research Grounds, of the Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro (Central Pacific Regional Research Center) of the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (National Forestry, Agriculture and Livestock Research Center), in the municipality of Tepatitlán; it is geographically located between $20^{\circ} 52' 9.1''$ at $20^{\circ} 52' 22.1''$ N and $102^{\circ} 42'$

embalse de la presa el Jihuite, en Tepatitlán, Jalisco, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Campo Experimental Centro Altos de Jalisco (CECEAJAL), del Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, en el municipio de Tepatitlán; se ubica geográficamente entre 20° 52' 9.1" a 20° 52' 22.1" N y 102° 42' 48.2" a 102° 42' 32.1" O, a una altitud de 1930 m. El clima es templado subhúmedo, con 869 mm de lluvia anual y 16.7 °C de temperatura promedio anual. El suelo se clasificó como mezcla fina isotérmica, Udic rhodustalf (INEGI, 1994).

Durante los ciclos de temporal del 2002 y 2003, de junio a octubre, para cada tormenta se midió el escurrimiento superficial y la pérdida de suelo en cuatro lotes de escurrimiento (LE) donde se establecieron los cultivos de maíz, agave tequilero, pasto nativo y suelo sin cobertura o suelo desnudo; cada LE tuvo 2 m de ancho por 25 m de largo y delimitado con láminas galvanizadas enterradas 10 cm, con una pendiente de 2 %. En la parte baja de cada LE se colocaron dos tanques para recibir el escurrimiento superficial; en cada tormenta se midió el volumen de escurrimiento y se tomaron dos muestras de agua, una para calcular la pérdida de suelo de cada LE y otra para analizar el contenido de N y P. En el LE con maíz para el ciclo del 2003 se dejaron todos los residuos del cultivo del año anterior (6720 kg ha⁻¹). Las fórmulas de fertilización fueron: en maíz 160-90-00, en pasto 40-40-00, en agave tequilero 40-40-30, y en suelo desnudo sin fertilización; las fuentes de fertilizante fue urea y fosfato diamónico (18-46-00). Los cuatro tratamientos se mantuvieron libres de malezas todo el ciclo del cultivo, con base en las recomendaciones del CECEAJAL.

En las muestras de agua de escurrimiento y sedimento tomados de los LE se realizaron las siguientes determinaciones: 1) agua del escurrimiento: nitratos más nitritos y amonio (KCl 2N) y fosfatos (molibdato de amonio) (Eaton *et al.*, 1995); 2) sedimento: P total (método de digestión), P orgánico (método de ignición), y por diferencia entre el P total y el P orgánico se obtuvo el P inorgánico (Kuo, 1996). El P total se ha usado como indicador para clasificar el nivel trófico de lagos tropicales (Sobrino, 2007; Schnoor, 1996), y el P orgánico e inorgánico procedentes de la descomposición de residuos orgánicos y la meteorización de materiales fosfatados, de acuerdo con el ciclo de este elemento se constituyen como la fuente de P inorgánico disuelto para las algas y plantas acuáticas (Juárez-Sanz *et al.*, 2006; Stevenson and Cole, 1999).

48.2" at 102° 42' 32.1" W, at an altitude of 1930 m. Climate is warm and subhumid, with an average annual rainfall of 869 mm and 16.7 °C for the average yearly temperature. Soil was classified as a fine isothermical mixture, Udic rhodustalf (INEGI, 1994).

During the rainy seasons in 2002 and 2003, between June and October, the surface runoff and the soil loss were measured for each storm in four field plots (LE), in which the maize crop were set up, along with those for tequila agave, native grass and naked soil; each LE was 2 m wide and 25 m long, bound by sheets of galvanized metal buried 10 cm into the ground 10 cm, with a 2 % slope. Two tanks were placed in the lower parts of each LE to trap the overland flow; in each storm, the volume of runoff was measured and two water samples were taken from each: one, to measure the soil loss from each LE and another to analyze the N and P contents. For the 2003 season, all residues from the previous year's crop were kept on the LE with maize (6720 kg ha⁻¹). The fertilization formulas were: in maize 160-90-00, in grass 40-40-00, in tequila agave 40-40-30, and in bare ground no fertilization; fertilizer sources were urea and diammonium phosphate (18-46-00). The four treatments were kept weed-free during the entire cultivation cycle, based on recommendations by the CECEAJAL.

In the runoff and sediment water samples taken from the LE, the following was established: 1) overland flow water: nitrates plus nitrites and ammonium (KCl 2N) and phosphates (ammonium molybdate) (Eaton *et al.*, 1995); 2) sediment: total P (digestion method), organic P (ignition method), and with the difference between the total P and the organic P, the inorganic P was obtained (Kuo, 1996). The total P has been used as an indicator to classify the trophic level of tropical lakes (Sobrino, 2007; Schnoor, 1996), and organic and inorganic P from the decomposition of organic residues and the weathering of phosphated materials, according to the cycle of this element, are the source of inorganic P dissolved for algae and aquatic plants (Juárez-Sanz *et al.*, 2006; Stevenson and Cole, 1999).

RESULTS AND DISCUSSION

Surface runoff and soil loss

Table 1 shows the surface runoff (SR), soil loss (SL) and the number of erosive storms that took place between the 2002 and 2003 rainy seasons, in the tequila agave, maize and grass crops, as well as on bare soil. Water erosion (WE) is a complex process that consists in the detachment of soil particles and their transportation by erosion agents, such as ES in a concentrated flow that produces the greatest SL; if there is not enough potential or kinetic energy for

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Escorrimento superficial y pérdida de suelo

En el Cuadro 1 se muestra el escurrimiento superficial (ES), la pérdida de suelo (PS) y el número de tormentas erosivas que ocurrieron durante los temporales de lluvias del 2002 y 2003, en los cultivos de agave tequilero, maíz, pasto y suelo desnudo. La erosión hídrica (EH) es un proceso complejo que consiste en el desprendimiento de partículas de la masa del suelo y su transporte por agentes erosivos, como el ES en flujo concentrado que produce las mayores PS; si no hay suficiente energía potencial o cinética para el transporte, ocurre la sedimentación de las partículas (Morgan, 2005). Este autor mencionó que de existir flujos concentrados de agua, la cobertura del suelo es el elemento protector más importante contra la EH en terrenos agrícolas y de pastoreo.

En el agave tequilero ocurrió la mayor PS en el 2002 y 2003 (27.047 y 36.588 t ha⁻¹), respecto a lo observado en el suelo desnudo (24.92 y 35.128 t ha⁻¹). Este resultado se atribuye a la morfología de la planta de agave tequilero, caracterizado por hojas lanceoladas, acanaladas y firmes, organizadas en forma radial alrededor del tallo, que generaría un flujo concentrado que puede producir mayor pérdida de suelo (Zhang *et al.*, 2002).

En el maíz la PS producida fue mayor en el 2002 (13.351 ha⁻¹) con respecto al 2003 (11.620 t ha⁻¹). Este resultado se explicaría por el efecto protector de los residuos vegetales incorporados en el 2003, lo cual se observa por la reducción del salpicado y compactación de suelo por las gotas de lluvia, disminución de la velocidad del ES y la tasa de desprendimiento de partículas, la formación de pequeñas depresiones con

transportation, sedimentation of particles occurs (Morgan, 2005). This author pointed out that when concentrated flows of water occur, the coverage of soil is the most important element of protection against WE in agricultural and shepherding lands.

Greatest SL took place in 2002 and 2003 on lands with tequila agave (27.047 and 36.588 t ha⁻¹), with respect to the observations on bare soil (24.92 and 35.128 t ha⁻¹). This result can be attributed to the morphology of the tequila agave plant, which has strong, channeled and lanceolate leaves, organized radially around the stem, which could create a concentrated flow that could produce greater soil loss (Zhang *et al.*, 2002).

In maize, SL was greater in 2002 (13.351 ha⁻¹) than in 2003 (11.620 t ha⁻¹). This result could be due to the protective effect of the plant residues incorporated in 2003, which was observed due to less splashing and compacting of the soil by raindrops, reduction in the speed of SR and the particle detachment rate, the formation of small depressions with the residue and the delay in the beginning of the SR (Wilson *et al.*, 2004).

Native grass displayed the least soil loss for 2002 and 2003, with 0.507 and 0.380 t ha⁻¹. The low SL in native grass is caused by the coverage of soil since the beginning of the rainy season, and especially in 2003, in which only a small part of the residues were removed. On the lands with grass, the reduction in soil coverage due to overgrazing or an inadequate handling of the grasslands, SL is increased; on the other hand, when the growth of native flora is allowed to grow and the soil to become covered, WE does not surpass the acceptable levels (Serna and Echavarría, 2002). This feature is also recommended as a barrier between agricultural

Cuadro 1. Escorrimento superficial, pérdida de suelo y número de tormentas en agave tequilero, suelo desnudo, maíz y pasto, acumulados durante los temporales de lluvias del 2002 y 2003.

Table 1. Surface runoff, soil loss and number of storms in tequila agave, bare soil, maize and grass, accumulated during the 2002 and 2003 rainstorms.

Cultivo	2002			2003		
	Escorrimento superficial (mm)	Pérdida de suelo (t ha ⁻¹)	Total de tormentas erosivas	Escorrimento superficial (mm)	Pérdida de suelo (t ha ⁻¹)	Total de tormentas erosivas
Agave tequilero	237.1	27.037	33	278.1	36.588	35
Maíz	159.4	13.351	33	180.2	11.620	34
Pasto nativo	78.6	0.507	30	68.1	0.380	25
Suelo desnudo	222.2	24.920	34	248.6	35.128	35

el residuo y retraso del inicio del ES (Wilson *et al.*, 2004).

En el pasto nativo se tuvo la menor pérdida de suelo para 2002 y 2003, con 0.507 y 0.380 t ha⁻¹. La baja PS en el pasto nativo resulta de la cobertura del suelo desde el inicio del periodo de lluvias, más aún en el 2003 donde sólo se eliminó una pequeña parte de los residuos. En las tierras con pastizal la reducción en la cobertura del suelo por el sobrepastoreo o el inadecuado manejo del pastizal, se incrementa la PS; en cambio cuando se permite el crecimiento del material nativo para favorecer la cobertura de suelo, la EH no rebasa los niveles permisibles (Serna y Echavarría, 2002). Esta característica también se recomienda como una barrera entre los campos agrícolas y los arroyos, opción identificada para el control de la contaminación difusa (Blanco-Canqui *et al.*, 2004). Además, la PS más alta ocurre en la etapa inicial del cultivo cuando la cobertura del suelo es mínima (Ríos y Martínez, 1990), pero después que el follaje resguarda el suelo la PS sólo se observa con tormentas de muy alta energía cinética.

Pérdida de nitrógeno

La pérdida total de N inorgánico (Ni), nitratos más nitritos ($\text{NO}_3^- - \text{N}$) y amonio ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$), observados en el 2002 y 2003, se muestran en la Figura 1. Durante el 2002, la mayor pérdida de Ni ocurrió en el agave tequilero (7 kg ha⁻¹) y menor en el pasto nativo (3 kg ha⁻¹). Hubo una pérdida intermedia de Ni en el suelo desnudo y maíz (4.6 y 3.9 kg ha⁻¹). En el 2003 la pérdida de Ni ocurrió

fields and streams, and it has been identified as an option for the control of diffuse pollution (Blanco-Canqui *et al.*, 2004). Likewise, the greatest SL occurs in the initial stages of the cultivation, when coverage is at its lowest (Ríos and Martínez, 1990), but after the foliage protects the soil, SL is observed only with the occurrence of storms with a very high content of kinetic energy.

Nitrogen loss

Figure 1 shows the total loss of inorganic N (Ni), nitrates plus nitrites ($\text{NO}_3^- - \text{N}$) and ammonium ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) observed in 2002 and 2003. During 2002, the greatest loss of Ni occurred in the tequila agave (7 kg ha⁻¹) and the lowest one was in native grass (3 kg ha⁻¹). There was an intermediate loss of Ni in bare soil and maize (4.6 and 3.9 kg ha⁻¹). In 2003 Ni loss occurred in tequila agave (14.9 kg ha⁻¹) and lower in the native grass (2.4 kg ha⁻¹); an intermediate Ni loss occurred on bare soil and maize (7.2 and 8.6 kg ha⁻¹). These values can be considered low if compared to Ni loss in other crops (Dorioz and Ferhi, 1994; Uribe-Gómez *et al.*, 2002); however, such differences can be related to the aging and falling of leaves during the cultivation cycle, the decomposition dynamics of residues regulated by factors such as the mineralization or immobilization in the nitrogen cycle, the organic composition of the residue, the temperature and content of the water in the soil, the drying and redampening of the soil, and its physical characteristics (Cabrera *et al.*, 2005; Cermak *et al.*, 2004).

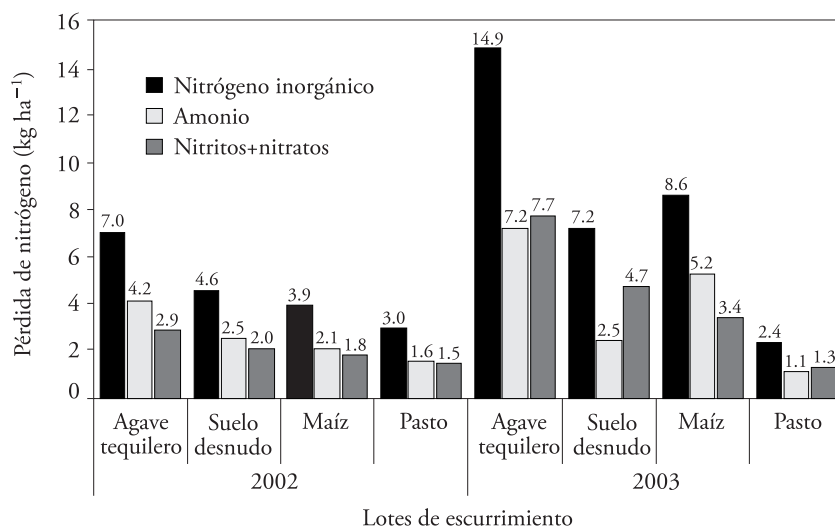


Figura 1. Pérdida de nitrógeno en forma de amonio, nitritos más nitratos y nitrógeno inorgánico, en los lotes de escurrimiento con agave tequilero, maíz, pasto nativo y suelo desnudo durante el 2002 y 2003.

Figure 1. Nitrogen loss in ammonium, nitrates plus nitrites and inorganic nitrogen, in the fields plots with tequila agave, maize, native grass and bare soil during 2002 and 2003.

en el agave tequilero (14.9 kg ha^{-1}) y menor en el pasto nativo (2.4 kg ha^{-1}); una pérdida intermedia de N ocurrió en el suelo desnudo y maíz (7.2 y 8.6 kg ha^{-1}). Estos valores pueden considerarse bajos al compararlos con la pérdida de N de otros cultivos (Dorioz y Ferhi, 1994; Uribe-Gómez *et al.*, 2002); sin embargo, tales diferencias se asocian con la senescencia y caída de hojas durante el ciclo del cultivo, la dinámica de descomposición de los residuos regulada por factores como la mineralización o inmovilización en el ciclo de nitrógeno, la composición orgánica del residuo, la temperatura y el contenido de agua en el suelo, los eventos de secado y rehumedecimiento del suelo, y las características físicas del suelo (Cabrera *et al.*, 2005; Cermak *et al.*, 2004).

La mayor pérdida de nitrógeno en el 2003 con respecto al 2002 es dependiente del ES (Cermak *et al.*, 2004; Goulding, 2004). Sin embargo, la dinámica en la pérdida de $\text{NO}_3^- - \text{N}$, es dependiente de la dinámica del nitrógeno, de manera que el $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ al ser el primer producto de la descomposición de los residuos vegetales (Porta *et al.*, 1999), explica por qué en el 2002 se observó el mayor contenido de $\text{NH}_4^+ - \text{N}$. En cambio, para el 2003 la mayor cantidad de $\text{NO}_3^- - \text{N}$ presente puede asociarse con la descomposición de los residuos del ciclo anterior (Cermak *et al.*, 2004), excepto en el maíz donde se invirtió esta tendencia porque se agregaron y mezclaron los residuos del 2002, efecto que se ve reflejado en una mayor pérdida de $\text{NH}_4^+ - \text{N}$.

Una situación interesante se observa con el N en el suelo desnudo, pues durante el 2002 se muestra mayor cantidad de amonio (2.5 kg ha^{-1}) y menor de nitratos y nitritos (2.0 kg ha^{-1}), pero en el 2003 la situación se invierte, de manera que el amonio encontrado fue mucho menor (2.5 kg ha^{-1}) en comparación con los nitratos y nitritos (4.7 kg ha^{-1}). Esta situación se explica por la dinámica del N y que durante el periodo de estudio se mantuvo libre de vegetación al suelo. En este contexto, la descomposición de los residuos durante el 2002 favoreció que el amonio prevaleciera sobre los nitratos y nitritos; para el 2003 al no incorporarse residuos al suelo se redujo la fuente potencial de amonio (Porta *et al.*, 1999), y por la oxidación del amonio a nitratos y nitritos aumenta la disponibilidad de estos últimos.

The greatest nitrogen loss in 2003 with respect to 2002 is reliant on SR (Cermak *et al.*, 2004; Goulding, 2004). However, the dynamics in the loss of $\text{NO}_3^- - \text{N}$, is reliant on the dynamics of nitrogen, so that $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, being the first product of the decomposition of plant residues (Porta *et al.*, 1999), explains the highest content of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ in 2002. On the other hand, for 2003, the highest amount of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ present can be related to the decomposition of residues of the previous cycle (Cermak *et al.*, 2004), except in maize, in which this trend was reverted since all 2002 residues were added and mixed; this effect is reflected in a greater loss of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$.

An interesting situation is displayed by N in bare soil: in 2002 there is a greater amount of ammonium (2.5 kg ha^{-1}) and less nitrates and nitrites (2.0 kg ha^{-1}), although in 2003, the situation reverts in such a way that the ammonium found was much less (2.5 kg ha^{-1}) in comparison to nitrates and nitrites (4.7 kg ha^{-1}). This situation can be explained by the dynamics of N and the fact that during the study period, the soil was kept free of plants. In this context, the decomposition of residues during 2002 favored that the ammonium could prevail over the nitrates and nitrites; for 2003, because there are no residues added to the soil, the potential source of ammonium was reduced (Porta *et al.*, 1999), and due to the oxidation of ammonium to nitrates and nitrites, the availability of the latter increases.

Phosphorous loss

In the runoff, traces of P were only found in the first storm, yet this nutrient was not found later in the runoff; therefore, the total P recorded is that found in the sediment. This situation agrees with the fact that the P adsorbed to the sediment is transported in the surface runoff (Sharpley and Menzel, 1987), especially when the sediment contains iron oxides (Parfitt, 1978), such as in the case of the soil in the area of study.

Figure 2 shows the total loss of P (Pt), organic P (Porg) and inorganic P (Pin), moved from the LE in 2002 and 2003. Due to the loss of P being reliant on the material transported away, the LE with tequila agave displayed the greatest water erosion, and as a consequence, a high loss of this nutrient. In contrast, the native grass showed the lowest water erosion,

Pérdida de fósforo

En el escurrimiento sólo se encontraron trazas de P en la primera tormenta, pero después no se identificó este nutrimento en el escurrimiento; por tanto, la totalidad del P reportado corresponde al encontrado en el sedimento. Esta situación concuerda con el hecho de que el P adsorbido al sedimento se transporta en el escurrimiento superficial (Sharpley y Menzel, 1987), particularmente cuando el sedimento contiene óxidos de hierro (Parfitt, 1978), como es el caso del suelo en el área en estudio.

En la Figura 2 se muestra la pérdida de P total (Pt), P orgánico (Porg) y P inorgánico (Pin), exportado de los LE durante 2002 y 2003. Debido a que la pérdida de P es dependiente del material exportado, el LE con agave tequilero mostró la mayor erosión hídrica y en consecuencia, también una elevada salida de este nutrimento. En contraste, el pasto nativo tuvo la menor erosión hídrica que se refleja en una mínima cantidad de pérdida de P. En la Figura 2 también se muestra que la mayor parte del P contenido en el material exportado es de origen orgánico.

En cada tratamiento estudiado el porcentaje de Porg durante el 2002 estuvo en el intervalo de 72 a 85 %, mientras que en el 2003 esta proporción se mantuvo excepto en el maíz que se redujo a 57 %. En los terrenos donde se origina el sedimento se reporta que el contenido de Porg está en el intervalo de 13 a 83 % (Picone y Zamuner, 2002; Arzuaga *et al.*, 2005), lo cual permite considerar que en los sedimentos exportados de maíz, agave tequilero y pasto

reflected in a minimum loss of P. Figure 2 we can also see that the greatest part of P contained in the material exported is organic.

In each treatment studied, the percentage of Porg in 2002 was in the interval of 72 to 85 %, whilst in 2003 this proportion remained, except in maize, in which it was reduced to 57 %. On the lands the sediment comes from, the Porg content is said to be in the 13 to 83 % interval (Picone and Zamuner, 2002; Arzuaga *et al.*, 2005), which helps consider that in the exported sediments of maize, tequila agave and native grass, the Porg degradation processes still don't act in the sediment. When these sediments precipitate in the reservoirs, two types of processes are identified in the reduction of the Porg content: one is the mineralization of the particles that contain this material, and the other is the content of iron oxides (Beusekom and Rockmann, 1998); in the first, P is released by biological processes, and in the latter, it is captured by adsorption.

From the viewpoint of eutrophication of surface water, the inorganic form of P is responsible for the growth of algae and aquatic plants (Schnoor, 1995), but since Pin is adsorbed to the sediment and this precipitates to the bottom of the reservoir, its availability is not immediate, although according to Braskerud (2005), Pant and Reddy (2001), Wright *et al.* (2001) the anoxic conditions that can be created in the bottom of the body of surface water, favor the desorption of the P and its release into the water for the eutrophication process (Beusekom and Rockmann, 1998). Regarding this, in the reservoir

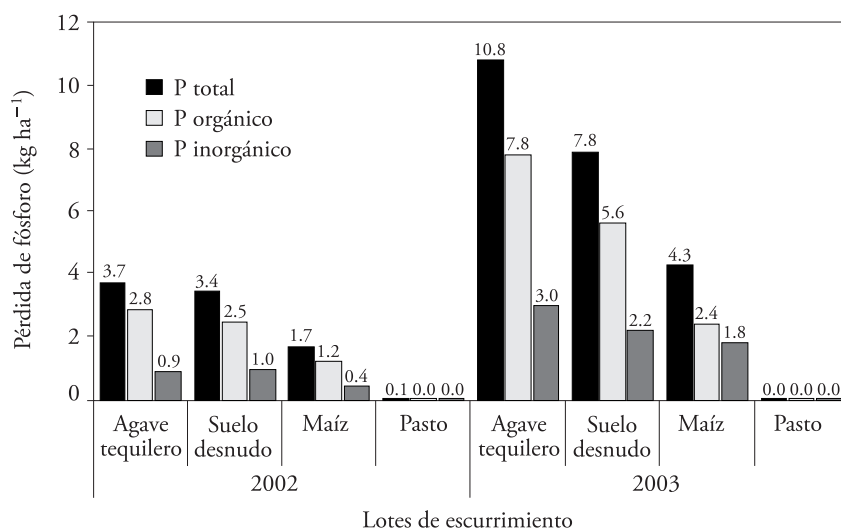


Figura 2. Pérdida de fósforo total, fósforo orgánico y fósforo inorgánico, de lotes de escurrimiento durante los años 2002 y 2003.

Figure 2. Loss of total, organic and inorganic phosphorus, from field plots during the years 2002 and 2003.

nativo, aún no actúan los procesos de degradación de Porg en el sedimento. Cuando estos sedimentos precipitan en los embalses, se identifican dos tipos de procesos en la reducción del contenido de Porg: una es la mineralización de las partículas que contienen este material y otro es el contenido de óxidos de hierro (Beusekom y Rockmann, 1998); en el primero se libera P vía procesos biológicos y el segundo lo captura mediante el proceso de adsorción.

Desde el punto de vista de la eutrofización de las aguas superficiales, la forma inorgánica del P es la responsable del crecimiento de algas y plantas acuáticas (Schnoor, 1995), pero dado que el Pin está adsorbido al sedimento y este precipita al fondo del embalse, su disponibilidad no es inmediata, pero según Braskerud (2005), Pant y Reddy (2001), Wright *et al.* (2001) las condiciones anóxicas que se pueden generar en el fondo del cuerpo de agua superficial, favorecen la desorción del P y su liberación hacia el agua para el proceso de eutrofización (Beusekom y Rockmann, 1998). Al respecto, en el embalse de presa El Jihuite, Ramírez *et al.* (1997) reportaron condiciones REDOX con valores negativos en el fondo del embalse de la presa el Jihuite de febrero a mayo, lo que corrobora la falta de oxígeno en el fondo del embalse en ese lapso de tiempo. En este contexto, la eutrofización del embalse de la presa El Jihuite se podrá evitar con el control de la erosión hídrica en los sistemas de producción del área de drenaje del embalse de la presa. Para el caso de maíz, es recomendable usar labranza de conservación o siembra directa con curvas a nivel. En el cultivo de agave tequilero se recomienda usar curvas a nivel en el trazo de las hileras, con cobertura vegetal en la parte central de las hileras y un surco de al menos 15 cm de altura en cada lado de la hilera de agave. En terrenos con pasto es necesario dejar una cobertura mínima del suelo de 20 %, para tener pérdidas de suelo menores a la permisible.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados presentados, la pérdida de nitrógeno está asociada con el proceso de escurrimiento superficial, mientras que la pérdida de fósforo depende del proceso de erosión hídrica.

La mayor pérdida de nitrógeno inorgánico ocurrió en el agave tequilero y fue menor en el pasto nativo, con mayor proporción de nitratos. Sin embargo, en el 2003 en el maíz la incorporación de los

of the El Jihuite dam, Ramírez *et al.* (1997) reported REDOX conditions with negative values in the bottom of the reservoir of the El Jihuite dam from February to May, which corroborates the lack of oxygen in the bottom of the reservoir in that period of time. In this context, the eutrophication of the reservoir of the El Jihuite dam can be avoided with the control of water erosion in the production systems of the watershed of the dam's reservoir. For the case of maize, it is recommendable to use conservation farming or direct sowing with contour. In the cultivation of tequila agave, it is recommended to use contour in the tracing of the rows, with plant coverage in the central part of the rows and a furrow at least 15cm high to each side of the row of agave. In lands with grass, it is necessary to leave a minimum soil coverage of 20 %, in order to have soil losses lower than the acceptable.

CONCLUSIONS

Based on the results presented, the loss of nitrogen is related to the process of surface runoff, while the loss of phosphorous relies on the process of water erosion.

The greatest loss of inorganic nitrogen took place in the tequila agave and it was least in the native grass, with a greater proportion of nitrates. However, in 2003, in the maize, the incorporation of the residues of this crop increased ammonium loss.

The greatest loss of phosphorous was observed in the tequila agave and it was least in grass; this result is related to the process of water erosion of the treatments. The loss of organic phosphorous was greater than that of inorganic phosphorous..

Phosphorous is the limiting factor in the eutrophication of the El Jihuite dam. Its correction will depend on the control of water erosion in the lands with agricultural use. There must therefore be an encouragement of practices for soil conservation.

—End of the English version—



residuos de este cultivo, favoreció el incremento en la pérdida de amonio.

La mayor pérdida de fósforo se observó en el agave tequilero y fue menor en pasto, resultado asociado

con el proceso de erosión hídrica de los tratamientos. La pérdida de fósforo orgánico fue mayor que de fósforo inorgánico.

El fósforo es el factor limitante en la eutrofización de la presa El Jihuite su corrección dependerá del control de la erosión hídrica en los terrenos con uso agropecuario. Por tanto, deberá promoverse el uso de prácticas de conservación de suelo.

LITERATURA CITADA

- Arzuaga, S. A., C. Fernández López, H. C. Dalurzo, y S. Vázquez. 2005. Fósforo total, fósforo orgánico y fosfatasa ácida, en entisoles, alfisoles y vertisoles de Corrientes con diferentes usos agrícolas. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas Resumen A-066*. pp: 1-4.
- Beusekom, J. E. E. Van, and U. H. Rockmann. 1998. Transformation of phosphorus in the Elbe estuary. *Estuaries* 21(4A): 518-526.
- Blanco-Canqui, H., C. J. Gantzer, S. H. Anderson, and E. E. Alberts. 2004. Grass barriers for reduced concentrated flow induced soil and nutrient loss. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1963-1972.
- Braskerud, B. C. 2005. Retention of soil particles and phosphorus in small constructed wetlands in agricultural watersheds. *In: Dunne, E. J., K. R. Reddy, and O. T. Carton (eds). Nutrient Management in Agricultural Watersheds: A Wetlands Solution*. Wageningen Academic Publishers. Wageningen, The Netherlands. pp: 121-131.
- Cabrera, M. L., D. E. Kissel, and M. F. Vigil. 2005. Nitrogen mineralization from organic residues: Research opportunities. *J. Environ. Quality* 34: 75-79.
- Cermak, J. D., J. E. Gilley, B. Eghball, and B. J. Wienhold. 2004. Leaching and sorption of nitrogen and phosphorus by crop residue. *Trans. Am. Soc. Agric. Engineers* 47: 113-118.
- Díaz-Zavaleta, G. 2007a. Análisis de algunos estudios limnológicos realizados en cuerpos de agua mexicanos. *In: Arredondo-Figueroa, J. L., G. Díaz-Zavaleta, y J. T. Ponce Palafox (Comp). Limnología de Presas Mexicanas. Aspectos Teóricos y Prácticas*. AGT Editor, S. A. México, D. F. pp: 348-368.
- Díaz-Zavaleta, G. 2007b. Un modelo simplificado para la evaluación trófica de lagos y presas de México. *In: Arredondo-Figueroa, J. L., G. Díaz-Zavaleta, y J. T. Ponce Palafox (Comp). Limnología de Presas Mexicanas. Aspectos Teóricos y Prácticas*. AGT Editor, S. A. México, D. F. pp: 469-483.
- Dorioz, J. M., and A. Ferhi. 1994. Non-point pollution and management of agricultural areas-Phosphorus and nitrogen transfer in an agricultural watershed. *Water Resource* 28: 395-410.
- Eaton, A. D., L. S. Clesceri, and A. E. Greenberg. 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19a edición. APHA-AWWA-WEF. Washington, D. C., USA. xxxiv.
- Flores, L., H. E., J. A. Martínez S., H. Ramírez V., V. Alemán M., P. Díaz M., y J. A. Ruíz C. 1996. Diagnóstico agroclimático y edafológico de la cuenca hidrológica "El Jihuite", México. *In: Resúmenes del III Congreso Interamericano sobre el medio ambiente: Avances y aplicación a la solución de problemas ambientales*. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. pp: 1-4
- Gold, A. J., and C. A. Oviatt. 2005. Nitrate in fresh water and nitrous oxide in the atmosphere. *In: Addiscott, T. M. (ed). Nitrate, Agriculture and the Environment*. CABI PUBLISHING. Cambridge, Massachusetts, USA. pp: 110-126.
- Goulding, K. 2004. Pathways and losses of fertilizer nitrogen at different scales. *In: Mosier, A. R., J. K. Syers, and J. R. Freney (eds). Agriculture and the Nitrogen Cycle*. SCOPE. Washington, D. C. USA. pp: 209-217.
- INEGI. 1994. Tour description. Tramo Guadalajara, Jalisco-Zamora, Michoacán. *In: Guide for technical tours "1" and "10": Guadalajara-Mexico City*. 15° Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. Acapulco, México. pp: 47-72.
- Juárez-Sanz, M., J. Sánchez-Andreu, y A. Sánchez-Sánchez. 2006. *Química del Suelo y Medio Ambiente*. Publicaciones de la Universidad Alicante. San Vicente Raspeig, España. 743 p.
- Kuo, S. 1996. Phosphorus. *In: Bigham, J. M., A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston, and M. E. Sumner (eds). Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemicals Methods*. SSSA and ASA. Madison, Wisconsin. pp: 869-919.
- Loehr, R. C. 1984. *Pollution Control for Agriculture*. Second edition. Academic Press, Inc. Orlando, Florida. 467 p.
- McCool, D. K., and K. G. Renard. 1990. Water erosion and water quality. *Adv. Soil Sci.* 13: 175-185.
- Morgan, R. P. C. 2005. *Soil Erosion and Conservation*. Blackwell Publishing. Third edition. Oxford, U. K. 304 p.
- Pant, H. K., and K. R. Reddy. 2001. Phosphorus sorption characteristics of estuarine sediments under different redox conditions. *J. Environ. Quality* 30: 1474-1480.
- Picone, L. I., y E. Zamuner. 2002. Fósforo orgánico y fertilidad fosfórica. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 16: 11-15.
- Pietiläinen, O. P. 1997. Agricultural phosphorus load and phosphorus as a limiting factor for algal growth in Finnish lakes and rivers. *In: Tunney, H., O. T. Carton, P. C. Brooks, y A. E. Johnston (eds). Phosphorus Loss from Soil to Water*. CAB INTERNATIONAL. New York. pp: 354-356.
- Porta, J., M. López-Acevedo, y C. Roquero. 1999. *Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente*. 2a edición. Ediciones Mundi-Prensa. Bilbao. 849 p.
- Ramírez V., H., H. E. Flores L., J. A. Martínez S., V. Alemán M., y V. Díaz M. P. 1997. Estudio de la calidad del agua en la cuenca El Jihuite. *In: Informe del Proyecto Manejo Integral de la Cuenca Agropecuaria y Forestal El Jihuite. Actividades realizadas en 1997*. Proyecto núm. 900. INIFAP. CIPAC. CENAPROS. Campo Experimental Altos de Jalisco. pp: 40-63.
- Ríos B., J. D., y M. R. Martínez M. 1990. Efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo. *Agrociencia, Serie Agua-Suelo-Clima* 11: 61-73.
- Schnoor, J. L. 1995. *Environmental Modeling. Fate and Transport of Pollutants in Water, Air and Soil*. Wiley-Interscience Publication. New York. 682 p.

- Serna P., A., y F. G. Echavarría Ch. 2002. Caracterización hidrológica de un agostadero comunal excluido al pastoreo en Zacatecas, México. I. Pérdidas de suelo. *Téc. Pec. Méx.* 40: 37-53.
- Sharpley, A. N., and R. G. Menzel. 1987. The impact of soils and fertilizer phosphorus on the environment. *Adv. Agron.* 41: 297-324.
- Sharpley, A. N., T. Daniel, T. Sims, J. Lemunyon, R. Stevens, and R. Parry. 2003. Agricultural phosphorus and eutrophication. Second edition. United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service. ARS-149. 44 p.
- Sobrino-Figueroa, A. 2007. Indicadores biológicos en los sistemas acuáticos. *In: Arredondo-Figueroa, J. L., G. Díaz-Zavaleta, y J. T. Ponce Palafox (Comp). Limnología de Presas Mexicanas. Aspectos Teóricos y Prácticas.* AGT Editor, S. A. México, D. F. pp: 677-719.
- Stevenson, F. J., and M. A. Cole, 1999. Cycles of soil. Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients. Second edition. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA. pp: 279-329.
- Uribe-Gómez, S., N. Francisco-Nicolás, y A. Turrent-Fernández. 2002. Pérdida de suelo en un entisol con prácticas de conservación en Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Agrociencia* 36: 161-168.
- Wilson, G. V., S. M. Dabney, K. C. McGregor, and B. D. Barkoll. 2004. Tillage and residue effects on runoff and erosion dynamics. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 47: 119-128.
- Wright, R. B., B. G. Lockaby, and M. R. Walbridge. 2001. Phosphorus availability in an artificially flooded southeastern floodplain forest soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 1293-1302.
- Zhang, G., B. Liu, G. Liu, M. A. Nearing, C. H. Huang, and K. L. Zhang. 2002. Soil detachment by shallow flow. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 45(2): 351-357.