

ELEMENTOS EMERGENTES DERIVADOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS ESTUDIOS DE EROSIÓN DEL SUELO

ELEMENTS ARISING FROM THE CLIMATIC CHANGE IN THE SOIL EROSION STUDIES

¹ Armando López Santos, ² José Luís González Barrios, ² Guillermo González Cervantes

¹ Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la U. A. Chapingo. Dom. Conocido Cd. Bermejillo, Dgo. (armando.lopezsantos@gmail.com y alopez@chapingo.uruza.edu.mx), ² Centro Nacional de Investigación Interdisciplinario en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera del INIFAP, Gómez Palacio, Dgo, Mex.

SUMMARY. There are evidences that at the end of the last century was not clear the relationship between climate change and the response of vegetation, and even less, and between vegetation and the response geomorphological or soil erosion, and that was the predominant approach and is still based on discoveries that led to the universal formula for loss of soil (USLE). Recent studies have shown the need to refocus and incorporate, in science and technology, at least two elements caused by climate change: historical trends in temperature and rainfall, as well as the dynamics of carbon dioxide (CO₂). Thus the objectives of this trial are: 1) To determine the importance of soil erosion in Mexico and documenting some trends, and 2) Show briefly the rationale under which have relied a great deal of studies of erosion soil, to lead to the exposure of pop climate change considered in future studies of erosion. The results of this investigation indicate that among researchers, there is a nascent convergence in the sense that further work is needed on the mechanisms of adaptation to climate variability. Not only from the standpoint of ecosystems, which has demonstrated the existence of regulatory processes and adaptation, but also at the level of productive activities, in which men throughout its history, since it was invented agriculture, has been refined with the help of technology.

Keywords: Geomorphologic respond, regulation process, climatic variability

RESUMEN. Hay evidencias que a finales del siglo pasado no estaba clara la relación entre el cambio climático y la respuesta de la vegetación, y menos aún, y entre la vegetación y la respuesta geomorfológica o erosión del suelo, y que el enfoque predominante estuvo y aún está basado en descubrimientos que dieron lugar a la fórmula universal de pérdida de suelo (USLE). Estudios recientes han mostrado la necesidad de reenfocar e incorporar, en materia científica y tecnológica, al menos dos elementos derivados del cambio climático: las tendencias históricas de la temperatura y la lluvia, así como la dinámica de dióxido de carbono (CO₂). Es así que los objetivos del presente ensayo son: 1) Determinar la importancia de la erosión del suelo en México y documentar algunas tendencias; y 2) Mostrar brevemente el fundamento teórico bajo el que se han basado una gran cantidad de estudios de la erosión del suelo, para dar lugar a la exposición de los elementos emergentes del cambio climático a considerar en futuros estudios de erosión. Los resultados de la presente investigación indican que entre los científicos, se observa una coincidencia incipiente en el sentido de que es necesario trabajar más en los mecanismos de adaptación ante la variabilidad climática. No solo desde el punto de vista de los ecosistemas, donde se ha demostrado la existencia de procesos de regulación y adaptación, sino, también, a nivel de las actividades productivas, en las que el hombre en toda su historia, desde que se inventó la agricultura, ha venido perfeccionando con ayuda de la tecnología.

Palabras clave: Respuesta geomorfológica, procesos de regulación, variabilidad climática

INTRODUCCIÓN

Los estudios del fenómeno de la erosión del suelo, formalizados por el Departamento de Agricultura a través de la creación del Soil Conservation Service (USDA) en el siglo pasado, para la década de los años 20's, con el descubrimiento del efecto del salpicamiento de la lluvia en 1950 y el desarrollo de la fórmula universal de pérdida

de suelo USLE, han tenido un fuerte enfoque sobre los aspectos relacionados con los disturbios humanos debido principalmente a la labranza, la resistencia del suelo y el efecto de la lluvia en el desprendimiento, sellado y formación de flujo, donde destacan dos de sus principales exponentes: Kirby (1980) y Morgan (1986).

No obstante las fuertes críticas sobre la validez del modelo USLE, debido a que este fue diseñado para las regiones agrícolas de los Estados Unidos, que no incluyó el efecto de la pedregosidad, factor que fue advertido en los trabajos realizados por Figueredo y Poesen (1997), así como los realizados por Nyseen *et al.*, (2001) y sobre todo, a la inconsistencia en cuanto al manejo de unidades que también pone de manifiesto Porta *et al.*, (1999) por más de 50 años se ha mantenido su influencia en países de América Latina y el Caribe, mediante una de las obras más importantes desarrolladas en México: el Manual de Conservación del Suelo y del Agua (CP-SARH-SPP, 1991).

Así también, hay una buena cantidad de trabajos que analizan la erodabilidad desde el punto de vista de las variables que dan la cualidad de resistencia del suelo al impacto de la lluvia, como son: textura, contenido de materia orgánica, estabilidad estructural y permeabilidad, (Morris, 1985; Sene *et al.*, 1985; Koolen, 1987; Gerard, 1987; Remjam *et al.*, 1998; y Cecilio *et al.*, 2004, entre otros). Aunque, ahora parece obvia la relación entre el cambio climático y la erosión del suelo, Gutierrez (2006) dice que hasta antes de la década de los 90's no estaba clara la relación entre el cambio climático y la respuesta de la vegetación y entre la vegetación y la respuesta geomorfológica.

Es así que hasta principios de la presente década se trabaja más intensamente sobre estas relaciones, cuyos principales exponentes son: Pruski y Nearing (2002), Cecilio *et al.*, (2003), Zhang *et al.*, (2004), y Monte *et al.*, (2005), entre otros, quienes dicen que es ineludible explorar nuevos enfoques de análisis e incorporar elementos emergentes como resultado del cambio climático. Particularmente, Pruski y Nearing, (2002), basan sus estudios bajo el supuesto de que el impacto del cambio climático continuarán durante un largo tiempo, y su manifestación más directa se dará en los patrones de lluvia y temperatura, que afectará a su vez los patrones de erosividad de las regiones agrícolas del mundo.

Bajo la premisa anterior, los objetivos del presente documento son: 1) Determinar la importancia de la erosión en México y documentar algunas las tendencias; y 2) Mostrar brevemente el fundamento teórico bajo el cual se han basado una gran cantidad de estudios de la erosión del suelo, para dar lugar a la exposición de los elementos emergentes del cambio climático a considera en futuros estudios de erosión.

MAGNITUD DE LA EROSIÓN Y TENDENCIAS

El problema de la desertificación aqueja a muchas naciones alrededor del mundo, aunque la mayoría del

Continente Africano, aparecen otras de Asia y Europa donde la desertificación ha venido avanzando de manera importante. Es así, que en la actualidad hay más de 170 países que han unido esfuerzos en su lucha contra la desertificación (CONAZA-FAO-UNICEF 1995).

De hecho, se considera que la degradación del suelo y los recursos hídricos constituyen uno de los puntos de mayor presión en materia de seguridad alimentaria para las poblaciones en pleno crecimiento, presión que puede agravarse por el cambio climático, pues mientras que algunas regiones podrían volverse más húmedas, en otras el efecto neto de una intensificación del ciclo hidrológico será la pérdida de la humedad del suelo y una mayor erosión. Algunas regiones que ya son propensas a la sequía podrían sufrir periodos secos más largos y más severos (UNFCCC 2003).

En particular México, según estimaciones recientes del INEGI-INE-SEDES (2000), ha venido sufriendo cambios asociados a procesos de erosión hídrica y eólica en una magnitud de poco más de 1 millón de km², superficie que representa el 36 % del territorio nacional y el 57 % de la superficie afectada por otros factores como la degradación química, biológica y física, que sumados todos estos se conocen como desertificación global, cuya distribución geográfica se muestra en la Figura 1.

Debido a esto y al crecimiento poblacional, las tierras cultivables por persona han disminuido de 0.32 ha en 1961-63 a 0.21 ha en 1997-99, y se prevé que se reduzcan todavía hasta las 0.16 hectáreas para el 2030, constituyendo una seria amenaza a la seguridad alimentaria y provocando conflictos ante la creciente escasez recursos (FAO, 2003), como se ha previsto en el estudio sobre los escenarios climatológicos en la agricultura de México para uno de los principales cultivos como lo es el maíz de temporal (Conde *et al.*, 2008) .

Entre el 1999 y 2007, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2001 y 2005) ha reunido suficiente información, que va desde estudios puntuales hasta monitoreos por medio sistemas satelitales de 577 estudios realizados en la década de los años 90's, en relación a su impacto al medio ambiente para mostrar las causas y efectos de la influencia antropogénica en las variaciones del clima mundial, originado en parte por una mayor concentración de gases de efecto invernadero (GEI), dentro de los cuales destaca las altas emisiones de CO₂ a la atmósfera y la deficiente captura por los sistemas biológicos acuáticos y terrestres (IPCC, 2007).

De tal forma que en el resumen de la 4ª Valoración del Grupo II del IPCC (2007), se menciona que:

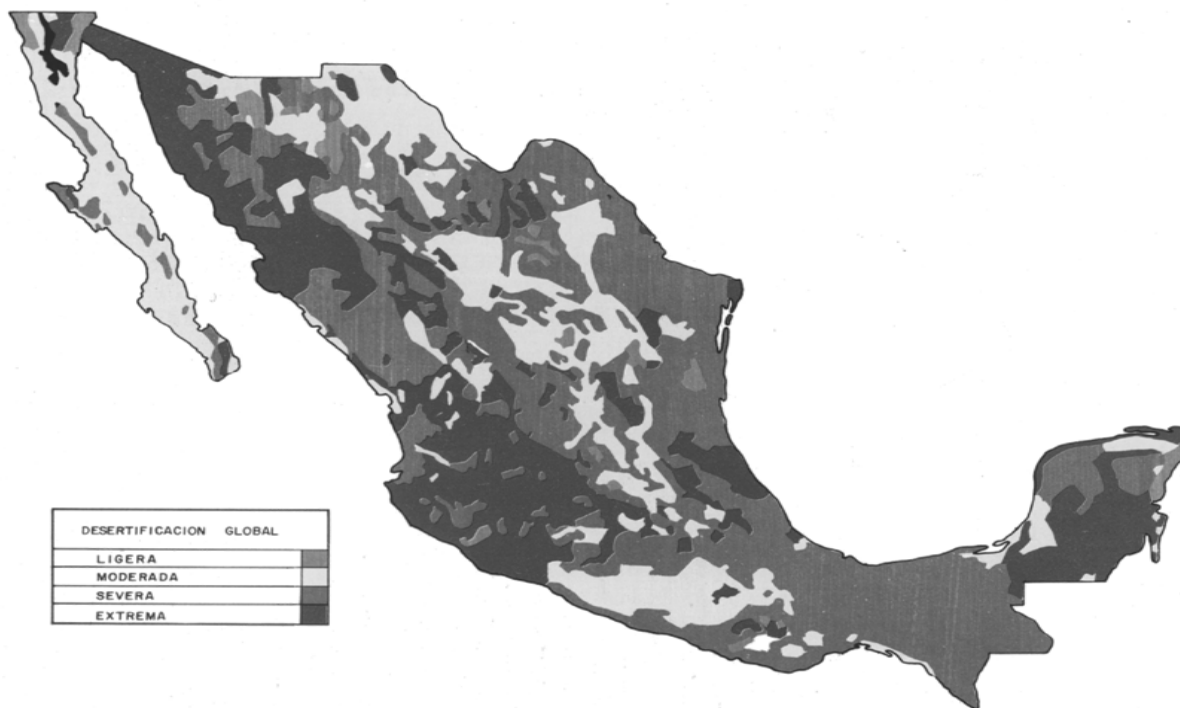


Figura 1. Distribución de la desertificación global de México. (Fuente: CONAZA-FAO-UNICEF, 1995)

“...observaciones de todos los continentes y océanos muestran que todos los sistemas naturales han sido afectados mediante cambios de clima a nivel regional, particularmente por el incremento de las temperaturas”.

En ese mismo documento (IPCC, 2007) asegura que para las regiones del ártico se ha observado, entre otras cosas: i) Crecimiento o incremento de los lagos dentro de los glaciales; 2) Incremento de tierras inestables en el proceso de descongelamiento y avalanchas de rocas de regiones montañosas; y 3) Cambios en algunos ecosistemas Árticos y Antárticos, incluyendo aquellos biomas de mar-hielo, y además alta predación en la cadena trófica. Derivado de esto, los sistemas hidrológicos se están afectando seriamente, ya que ha habido incrementos del escurrimiento y una descarga máxima temprana en muchos glaciales y descarga de nieve en los ríos; además, se presenta un calentamiento de océanos, lagos y ríos en muchas regiones, con efectos en la estructura térmica y calidad del agua.

Los datos que presenta el IPCC (2007) sobre los cambios en los sistemas físicos, biológicos y de temperatura entre 1970 y 2004, indican que en el Norte centro y Noroeste del territorio mexicano, ha aumentado en promedio de 1 y 2 °C, fluctuación que ya había advertido en un reporte previo (UACH-CONAZA-

SEDESOL-SAGARPA, 2004) como un factor que contribuye en marcadas irregularidades hídricas con una fuerte tendencia a la sequía y a la desertificación, cuyos estragos se manifiestan más drásticamente en las regiones agrícolas.

ELEMENTOS EMERGENTES EN LOS ESTUDIOS DE LA EROSIÓN DEL SUELO

Antecedentes

En la Figura 2, se sintetiza el esquema conceptual clásico para el estudio y análisis del fenómeno de la erosión hídrica. El eje central, por tanto, lo constituye la característica de resistencia del suelo para ser erosionado, la que por lo general se expresa en forma cualitativa como erodibilidad.

Bajo este esquema teórico, el ejercicio consiste en determinar la cantidad de suelo erosionado en términos de tiempo, a partir de la fórmula universal de pérdida de suelo, (Kirby y Morgan, 1980) cuya expresión matemática es la siguiente: $PS = RKLSCP$

Donde:

PS es la tasa de erosión que puede ser expresada en diferentes formas: $kg\ m^{-2}\ s$, ton por acre o hectárea por día, mes, año, etc.;

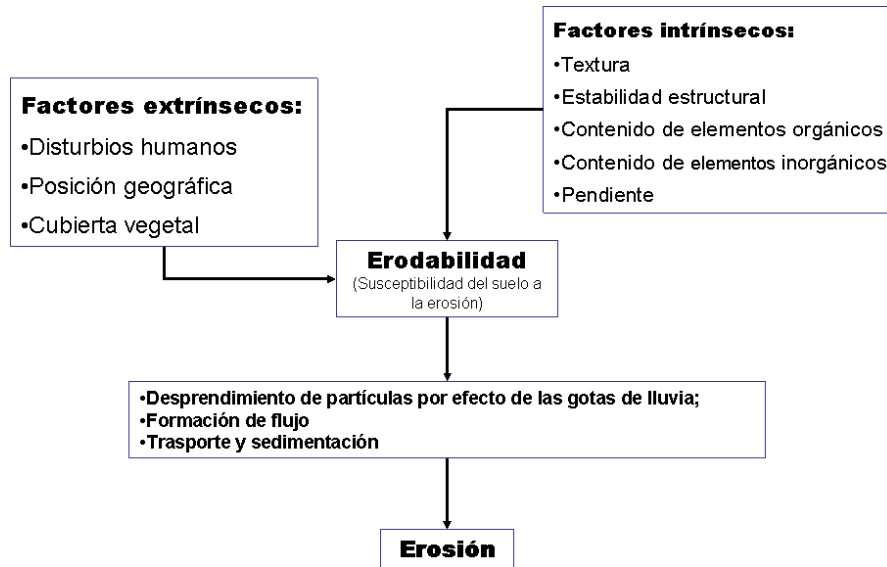


Figura 2. Esquema teórico para el análisis de la erosión del suelo (Elaboración personal con base en Kirby y Morgan, 1980; Morgan, 1986)

R, el factor de erosividad por la precipitación pluvial;

K, es el factor de erodibilidad del suelo; L, es un factor de longitud de pendiente; S, es un factor de gradiente de pendiente;

C, es un factor de manejo de cosechas; y

P, es un factor relacionado con el método de control de la erosión.

En la determinación de P y S, se previenen tres procesos: 1) Impacto y desprendimiento por el efecto de las gotas lluvia; 2) Sellado y formación de flujo; y 3) Transporte y sedimentación. Los cuales, desde luego, están relacionados con factores intrínsecos que determinan la erodabilidad del suelo. Es decir, la magnitud de la erosión, dependerá de la erodabilidad del suelo, la cual, está determinado por factores *extrínsecos* y factores *intrínsecos*, cuyas características generales son:

Factores *extrínsecos*: En estos destaca la participación del hombre, debido a que es el principal responsable por los disturbios por prácticas inadecuadas, donde se considera principalmente a la labranza; la cubierta vegetal en su doble función de protección, por un lado, ante el efecto erosivo de la lluvia, el impacto directo de la radiación solar y secado de la superficie, y por el otro, por representar un impedimento a la formación de flujo por el anclaje que esta representa a nivel radicular.

Factores *intrínsecos*: En estos se asocian características del suelo como son la textura, estabilidad estructural, contenido de elementos orgánicos e inorgánicos con el gradiente de pendiente.

No obstante las fuertes críticas sobre la validez del modelo, respecto a que este se hizo para las condiciones de los Estados Unidos, que no incluye el efecto de la pedregosidad, en los que destaca los trabajos realizados por Figueredo y Poesen, 1997; Nyseen *et al.*, 2001; y, sobre todo, a la inconsistencia en cuanto al manejo de unidades (Kirby y Morgan, 1986; Porta, *et al.*, 1999), hay una buena cantidad de trabajos que analizan la erodabilidad desde el punto de vista de las variables que dan la cualidad de resistencia del suelo al impacto de la lluvia, como son: textura, contenido de materia orgánica, estabilidad estructural y permeabilidad, (Morris, 1985; Sene *et al.*, 1985; Gerard, 1987; Remjam, *et al.*, 1998; Cecilio *et al.*, 2004).

Primer elemento emergente: el contexto del cambio climático

Para Yu (2003) y Monte (2005), es claro que el surgimiento de nuevas variables en estudios de erosión se basan en trabajos relacionados con el cambio climático, tales como el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) y el NAST (U.S. National Assessment Synthesis Team), quienes han trabajado con diferentes modelos de circulación general (CGMs),

así como aplicado y comparado en modelos de flujo, dentro de los cuales destacan el WEPP (Water Erosion Prediction Project; disponible en <http://topsoil.nserl.purdue.edu/nserlweb/weppmain/>) y GUEST (Griffith University Erosion System Template).

Lo anterior, sin duda marca una nueva tendencia en los estudios de erosión, porque como dicen Monte *et al.*, (2005): "...los cambios en el manejo futuro de los cultivos, debido al clima pueden afectar los impactos de la erosión más allá que lo que se podría predecir solamente con el cambio climático".

De hecho, Pruski y Nearing (2002), con anterioridad ya habían planteado que al ser la lluvia y la temperatura dos de las variables en las que mayor incidencia tiene el cambio climático, entonces habrá que considerar los cambios climáticos que continuarán durante un largo tiempo y el impacto más directo es en los patrones de lluvia, lo cual, afectará a su vez los patrones de erosividad de las regiones agrícolas de EUA, con base en esto, se investigan los cambios esperados en el escurrimiento y erosión como una función de los cambios climáticos, ya que encontraron que un cambio en 1% en la precipitación, puede afectar en un 2% el cambio del escurrimiento y en 1.7% en la erosión, con lo cual, concluyen que: "...en los lugares donde la precipitación disminuye, los resultados son mucho más complejos por las interacciones de la biomasa de plantas, escurrimiento y erosión pueden aumentar o disminuir por encima de lo esperado."

Del mismo modo, Monte *et al.*, (2005) dicen que: "...ante la poca atención en el manejo de los efectos del cambio climático en las prácticas de cultivo así como en la erosión, deciden estudiar el efecto del cambio climático sobre la erosión del suelo y los procesos de adaptación de la producción agrícola"

Con lo cual, concluyen que: "...el manejo futuro de los cambios en el manejo de los cultivos, debido al clima, pueden afectar la magnitud de los impactos más allá de los que se pueden predecir solamente los modelos de cambio climático".

Cabe destacar que los autores Pruski y Nearing (2002) y Monte *et al.*, (2005), coinciden en el uso de los modelos WEPP-CO₂ para erosión y HadCM3-GGAL, para clima. Ambos alimentados con datos de estaciones meteorológicas de los EUA. Con base en ello, según se puede ver en la Figura 3, poniendo como centro rector del proceso a la biomasa encontraron que: 1) Un incremento en la precipitación, si bien tiene un efecto favorable en la producción de biomasa, también incrementa el escurrimiento y consecuentemente la tasa de erosión; 2) Un incremento en la concentración de CO₂ en la atmósfera favorece la producción de biomasa; y 3) Un incremento o disminución de la temperatura, afecta directamente la producción de biomasa.

Estudios recientes mencionan que dada la relación entre la precipitación, escurrimiento, pérdida de suelo y los efectos del cambio climático al afectar directamente los patrones de lluvia y la temperatura, se prevé un daño mucho mayor en las tasas de erosión, sobre todo en tierras de mayor presión, particularmente aquellas sujetas a uso agrícola, ganadero y forestal. (Pruski, 2002; Cecilio *et al.*, 2003; Zhang *et al.*, 2004), daño que sin duda debe ser valorado, tanto en su situación actual, como en su manifestación futura (Monte *et al.*, 2005).

Segundo elemento emergente: considerando el flujo de C-CO₂

Además de las variables asociadas a la resistencia del suelo, que dan como resultado la separación de partículas y transporte por la formación de flujo, Zhang *et al.*, (2004), dicen que: "... muchas variables tales como

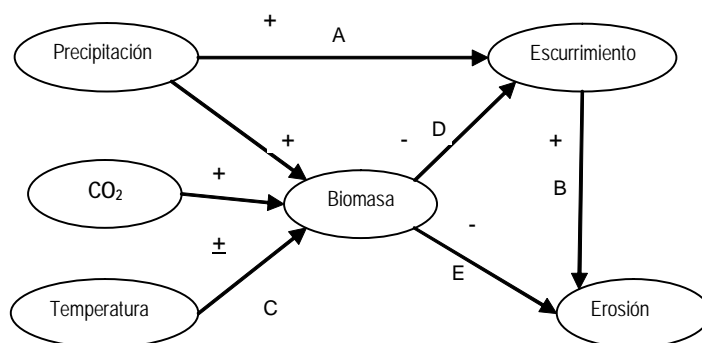


Figura 3. Relaciones entre precipitación, temperatura y CO₂ con la biomasa y su efecto con el escurrimiento y la erosión del suelo. (Pruski y Nearing 2002)

la precipitación, temperatura y la concentración de CO_2 en la atmósfera y la radiación solar afectan la erosión del suelo y la producción agrícola, y que el impacto de cada variable es diferente y compleja.”

Pero, es obvio que parte del CO_2 que se encuentra actualmente en la atmósfera, que es de ± 350 ppm -de las ± 280 ppm, como ya se dijo, probablemente existentes en la era preindustrial (Pruski y Nearing, 2002)- tiene como origen el proceso de respiración del suelo y el conjunto de las operaciones en la finca (Scow, 1999; Lal, 2004; Wang, *et al*, 2005).

Según se puede ver en la Figura 4, propuesta por Scow (1999), hay una tendencia negativa que se presenta el ciclo del carbono con respecto a las entradas y salidas de la materia orgánica del suelo, en sus diferentes formas (CO_2 , erosión y lixiviación), cuyo saldo negativo de 244 partes, de las 65 mil contenidas en el suelo, debido al alto nivel de extracción y la baja aportación por la biomasa y por la aplicación de estiércoles compostados.

No obstante esto, Li (2005), confirma lo que ya se había mencionado antes sobre el futuro en la concentración del CO_2 de la siguiente manera: "...la

concentración actual de CO_2 en la atmósfera podrá incrementarse al doble en los próximos 50 años, con los riesgos que ello implica para la estabilidad global, a no ser que en el futuro inmediato se asuma la tarea de controlar la respiración de la capa arable del suelo de acuerdo al balance de los ecosistemas.”

Un buen balance del ecosistema en el mejor de los casos, implica la utilización racional de un suelo con un buen nivel de materia orgánica (MO) y su microflora asociada, así como sus diferentes grados de sensibilidad (suelo-MO-organismos) a los factores ambientales, como la humedad y temperatura, y prácticas agronómicas. (Zagal *et al*, 2001).

El grado de sensibilidad de los organismos está relacionado con las dos fracciones de la MO, la lábil y la estable, las cuales poseen tiempos de reciclaje que varían desde horas para la primera, y hasta siglos para la segunda (Zagal *et al.*, 2001). La fracción débil, por tanto, es sensible a las modificaciones de corto plazo. Es influenciada por la actividad biológica y se comporta como fuente de nutrientes para vegetales y organismos del suelo, cuyo rol es fundamental en el flujo del carbón a través del suelo (Figura 5).

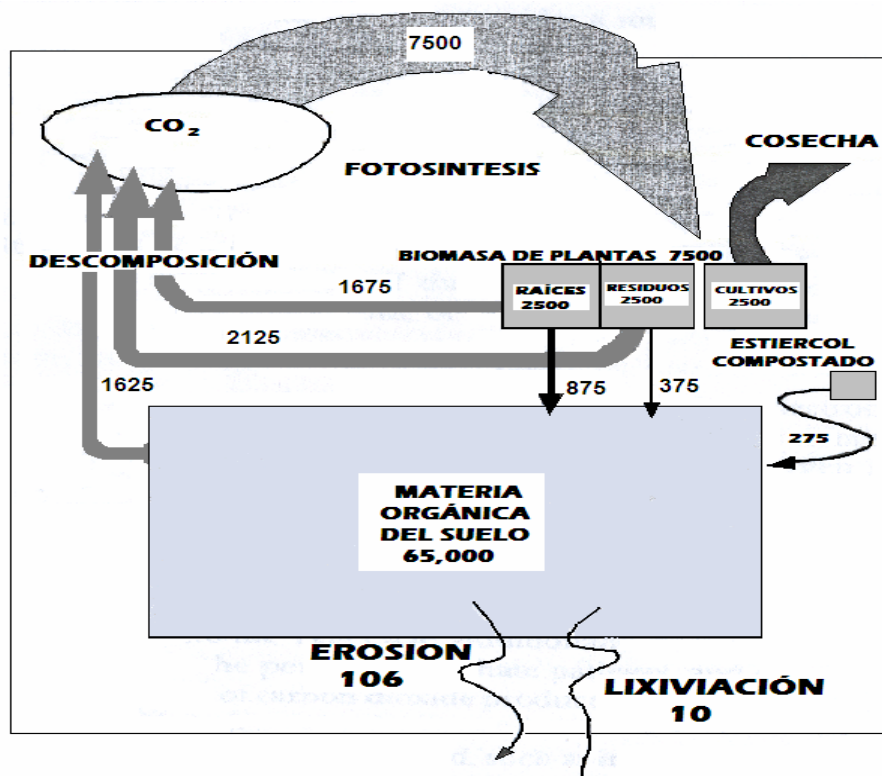


Figura 4. Ciclo del carbono en los agroecosistemas. (Scow, 1999)

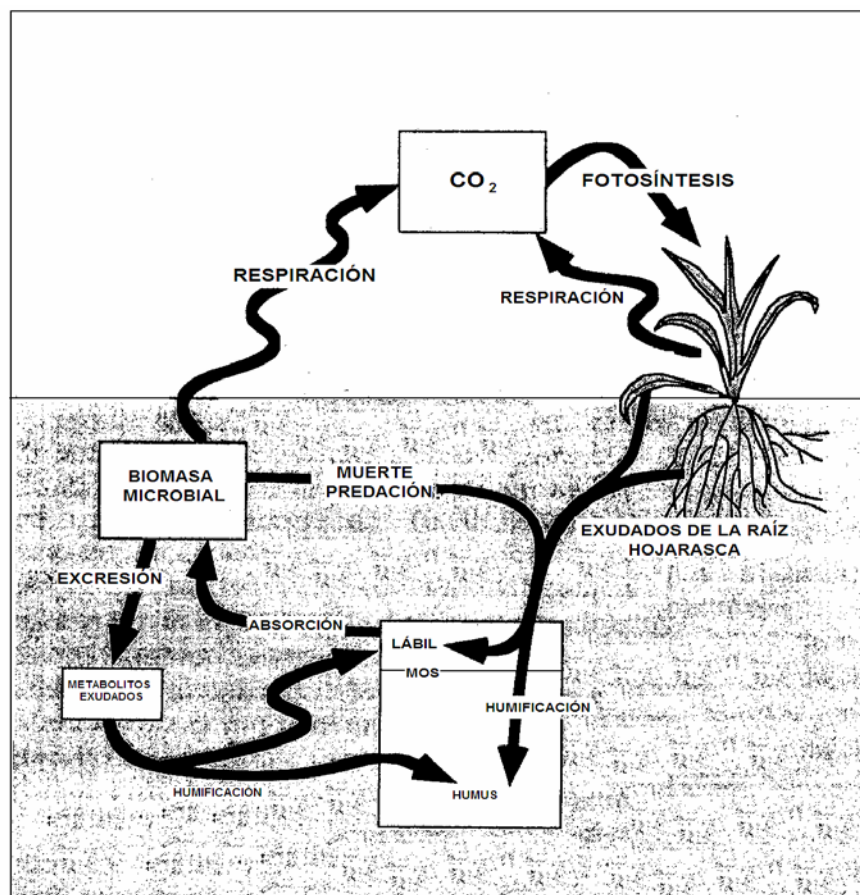


Figura 5. Rol del proceso microbial en el flujo de C, a través del suelo (Scow, 1999).

A continuación se presentan algunos reportes científicos relacionados con el tema de la erosión y más específicamente con aspectos de la cualidad de resistencia del suelo y los procesos de agregación.

Paustian *et al.*, en diferentes años (1990, 1997, y 2000), han conducido varios estudios para evaluar cambios en el C del suelo como una función del clima y cambios en el CO₂ para diferentes sistemas de manejo.

Chan y Heenan (1999), en un estudio sobre la estabilidad de los agregados inducida por la biomasa microbial, encontraron que la naturaleza lábil del C de la biomasa microbial tiene un efecto transitorio en la estabilidad de los agregados del suelo, dentro de diferentes sistemas de manejo.

CONCLUSIONES

El cambio climático es una realidad, independientemente de cuan intensos sean los factores

de orden natural o antropogénico. Lo cierto es que hay una combinación que tiene un efecto catalizador en los procesos de deterioro de los recursos naturales.

El cambio climático, que se expresa en tendencias desastrosas para muchas naciones y la deficiente capacidad para contrarrestar sus efectos, establece nuevos retos que la ciencia y la tecnología han venido abordando con nuevos enfoques que arrojan resultados interesantes y preocupantes al mismo tiempo.

Se observa una coincidencia incipiente entre los investigadores, en el sentido de que es necesario trabajar más en los mecanismos de adaptación ante la variabilidad climática. No solo desde el punto de vista de los ecosistemas, donde se ha demostrado la existencia de procesos de regulación y adaptación, sino, también, a nivel de las actividades productivas, en las que el hombre en toda su historia, desde que se practica la agricultura, se ha venido perfeccionando con ayuda de la tecnología.

La tecnología por sí misma, no resuelve problemática tan compleja, parte de la cual aquí se expuso. Los instrumentos que hasta ahora existentes como el Protocolo de Kyoto y el Plan de Acción para Combatir la Desertificación Mundial, sin duda son un buen principio, pero, el problema parece mucho más grande.

LITERATURACITADA

- Cecilio, R.A. *et al.*, 2004. Analysis of the RUSLE and WEPP models for a Small Watershed Located in Vicoso, Minas Gerais State, Brazil. ISCO, 2004-13th International soil Conservation Conference, Brisbane, 2004
- Conde, C.; Ferrer, R. M. y Gay, C. 2008. Impactos del cambio climático en la agricultura en México. INESEMARNAT. Revisado (05/07/08) en <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/437/conde.html>
- CONAZA-FAO-UNICEF, 1995. Plan de Acción para Combatir la Desertificación en México PACD-México.
- CP-SARH-SPP. 1991. Manual de Conservación del suelo y del agua. 3 ed. Tomos I y II. Ed. Colegio de Postgraduados. Monecillo, Edo. de México.
- Chan, K. Y. y Heenan, D. P. 1999. Microbial-induced soil aggregate stability under different crop rotations. Wagga Wagga Agricultural Institute, New South Wales Agriculture, PMB Wagga Wagga, NSW2650, Australia.
- FAO. 2003. El estado mundial de la agricultura, 2003-2004, documento de la FAO, producido por el Departamento Económico y Social. Revisado (05/07/08) en <http://www.fao.org/docrep/006/y5160s/y5160s16e.htm>
- Figueredo, T. y Poesen, J. 1997. Effects of Surface Rock Fragment Characteristic on Interill Runoff and Erosion of a Silty loam Soil. *Soil and Tillage Research* 46:81-95
- Gerard, C. J. 1987. Laboratory Experiments on the Effect of Antecedent Moisture and Residue Application on Aggregation of Different Soils. *Soil Tillage Research*, 9: 21-32
- Gutiérrez-Elorza, M. 2006. Erosión e influencia del cambio climático. Dpto. de Ciencias de la Tierra, Zaragoza, España. *Revista C y G Vol 3-4*: 45-49
- INEGI-INE-SEDESOL, 2000. Indicadores de Sustentabilidad en México. Ed. INEGI Aguascalientes, Ags. México.
- IPCC. 2001 Climate Change, 2001, the scientific basis. [Http:// www.grida.no/climate/ipcc_tar/wgl](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wgl) (Revisado 6/11/06)
- IPCC. 2005. "IPCC/TEAP Special Report. Safeguarding the Ozone layer and the global climate system: issues related to hydrofluorocarbons and perfluorocarbons. Summary for Policy Makers". Disponible en: <http://www.ipcc.ch/press/SPM.pdf>
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report.
- Kirkby, M. J. y Morgan, R.P.C. 1980. Erosión del Suelo. Primera ed en Español, 1984. Ed. LIMUSA, México.
- Koolen, A.J. 1987. Deformation and Compactation of Elemental Soil Volumes and Effect on Mechanical Soil Properties. *Soil and Tillage Research* 10: 5-19
- Lal, R. 2004. Carbon Emission from Farm. ELSEVIER. (30): 981-990. (<http://www.sciencedirect.com> (Revisado 02/12/05))
- Li, H. *et al.*, 2005. Effects of Plant Process on Soil Organic Carbon Concentration. *Biosci. Jun*; 16 (6) 1163-8. (www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/)
- Monte, R. *et al.*, 2005. Climate change impacts on soil erosion in Midwest United States with changes in crop management. *CATENA* 61: 165-184. (online www.sciencedirect.com)
- Morgan, R. P. C. 1986. Soil Erosion and Conservation. Ed. Longman Scientific and Technical. Hong Kong
- Morris, M. W. *et al.*, 1985. Characterizing Strength of Soil Crusts Formed by Simulated Rainfall. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 427-431
- Nyseen, J. *et al.*, 2001. Removal of Rock Fragments and its Effect on Soil loss and Crop Yield, Trigray, Ethiopia. *Soil Use Management* 17: 179-187
- Paustian, K.; André n, O.; Clarholm, M.; Hansson, A.-C.; Johansson, G.; Lagerlo, J.; Lindberg, f, T.; Pettersson, R. y Sohlenius, B. 1990. Carbon and nitrogen budgets of four agro-ecosystems with annual and perennial crops, with and without N fertilization. *J. Appl. Ecol.* 27:60-84.
- Paustian, K.; Collins, H.P. y Paul, E.A. 1997. Management control on soil carbon. In: E.A. Paul, K. Paustian, E.T. Elliot & C.V. Cole, 2000. Eds. Soil organic matter in temperate agroecosystems. Long term experiments in north America, pp. 15 - 49.
- Paustin, K.; Six, J.; Elliont, E.T. y Hunt, H. W. 2000. Mangement options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. *Biogeochemistry*, 48: 147-163.
- Porta, J. *et al.*, 1999. Edafología para la Agricultura y el medioambiente. 2 ed. Ed. Mundi Prensa. Pp 601-650
- Pruski, F.F. y Nearing, M.A. 2002. Climate-induced Changes in Erosion during the 21st Century for eight U.S locations. *Water Resources Research*, vol 38 No. 1298
- Pruski, F.F. y Nearing, M.A. 2002. Climate-induced Changes in Erosion during the 21st Century for eight U.S locations. *Water Resources Research*, vol 38 No. 1298
- Rejman, J. *et al.*, 1998. Spatial and Temporal Variations in Erodibility of Loess Soil. *Soil and Tillage Research* 46: 61-68
- Scow, M. K. 1999. Chapter 11: Soil Microbial Communities and Carbon Flow in Agroecosystems . Ed. Academic Press, Editado por Jakson, L. E. Carolina University, USA. Pp 367-413
- Sene, M. *et al.*, 1985. Relationships of Soil Texture and Structure to Corn Yield Response to Subsoiling. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 422-427

- UACH-CONAZA-SEDESOL-SAGARPA 2004. Escenarios Climatológicos de la República Mexicana ante el Cambio Climático. Universidad Autónoma Chapingo; CONAZA, Dirección de Vinculación y Transferencia de Tecnología; SEDESOL; SAGARPA. México.
- UNFCCC 2003. Carpeta de Información sobre Cambio Climático. UN-PNUMA-PNUD-
- Wang, W. *et al.*, 2005. Contribution of Root Respiration to Soil Respiration in C3/C4 mixed Grassland. *Biosci. Sep 30 (4)* 507-14. (www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/)
- Yu B. 2003. A unified framework for water erosion and deposition equations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 251-257
- Zagal, E. *et al.*, 2001. Actividad Microbiana en un Suelo de Origen Volcánico Bajo Distinto Manejo Agronómico. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Dpto. de Suelos e Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigaciones Quilamapu, Chile. (www.bioline.org.br/request?at02029)
- Zhang, X. C. *et al.*, 2004. Downscaling Monthly Forecasts to Simulate Impacts of Climate Change on Soil Erosion and Wheat Production. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1376-1385.