

Adaptación a los impactos del cambio climático en la zona semiárida Mexicana

Jose L. Gonzalez Barrios*, Luc Descroix**

Resumo

Pesquisa hidrológica e pedológica no semiárido mexicano revelou um processo de erosão hídrica exacerbada pelas alterações climáticas e mudanças no uso da terra. Os resultados da investigação inspiraram um programa de adaptação exitoso, com uma visão ambiental, econômica e social. O Programa de Serviços Ambientais Hidrológicos (PSAH) consiste no pagamento de mão de obra local para construção de obras de conservação do solo e da água em áreas propensas a “prestar serviços ambientais hidrológicos.” Os benefícios econômicos do PSAH são distribuídos entre os habitantes das comunidades selecionadas e entre os legítimos proprietários da terra. O salário é bom e ajuda a manter as pessoas em suas comunidades e a reduzir a migração para as grandes cidades ou para o exterior em busca de trabalho. A avaliação dos efeitos de obras de conservação do solo e da água é o tema das atividades atuais, mas os resultados qualitati-

Resumen

La investigación hidrológica y edafológica en la zona semiárida mexicana ha puesto en evidencia un proceso de erosión hídrica exacerbado por el cambio climático y el cambio de uso del suelo. Los resultados de investigación han inspirado un programa de adaptación exitoso con una visión ambiental, económica y social. El Programa de Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) consiste en el pago de mano de obra local para la construcción de obras de conservación del suelo y del agua en áreas susceptibles de “proporcionar servicios ambientales hidrológicos”. Los beneficios económicos del PSAH se distribuyen entre los habitantes de las comunidades elegidas y entre los legítimos poseedores de terrenos. El salario es bueno lo cual contribuye a retener a los pobladores en sus comunidades y a disminuir la migración hacia grandes ciudades o el extranjero en busca de trabajo. La evaluación de los efectos de las obras de conservación del suelo y el agua es tema

* INIFAP Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta Atmósfera AP. 225-3 Parque Industrial Gómez Palacio Durango 35071, México.

** Institut de Recherche pour le Développement (IRD) Laboratoire d'Études des Transfers en Hydrologie et Environnement (LTHE) BP53, 38041 Grenoble Cedex 9, France.

vos são óbvios: a retenção do solo e retenção de água, manutenção da cobertura vegetal, retenção de pessoas em suas comunidades, bem-estar social. O PSAH como uma estratégia de adaptação aos impactos das alterações climáticas deve encontrar um eco em outras partes do México para replicar os seus benefícios no ambiente físico e humano da zona semiárida.

Palavras-chave: variabilidade climática, efeitos ambientais, desenvolvimento sustentável, políticas institucionais, lições de experiências no México.

de actividades actuales pero sus resultados cualitativos saltan a la vista: retención del suelo y retención del agua, mantenimiento de la cobertura vegetal, retención de pobladores en sus comunidades, bienestar social. El PSAH como estrategia de adaptación al impacto del cambio climático deberá encontrar eco en otros lugares de México con el fin de replicar sus beneficios en el medio físico y humano de la zona semiárida.

Palabras clave: *variabilidad climática, repercusiones ambientales, desarrollo sostenible, políticas institucionales, lecciones de experiencias en México.*

1. Introducción

Durante los últimos años la investigación del medio físico y biológico en la zona semiárida mexicana ha permitido poner en evidencia la exacerbación de los procesos de degradación del medio físico y humano por un cambio de uso del suelo desordenado y por los embates de un clima cambiante y cada vez más difícil de prever lo cual dificulta seriamente asegurar la disponibilidad de los recursos hídricos necesarios y las condiciones adecuadas para la producción agropecuaria.

Los habitantes de la zona árida y semiárida rural que ocupa el 53% del territorio mexicano se transforman así en migrantes potenciales que se dirigen hacia las principales ciudades del país o hacia el extranjero en busca de mejores condiciones de vida que garanticen la sobrevivencia familiar. Esta situación es origen de grandes problemas económicos, de sobrepoblación y de marginación social para los migrantes en las aglomeraciones que los reciben. La degradación de bosques, pastizales y suelos, es una amenaza para el medioambiente y una forma de desertificación de estas regiones semiáridas al modificar el balance hídrico de las laderas (menos retención de agua, más escurrimiento instantáneo y erosión) y de las cuencas (mayor escurrimiento de avenida, menor escurrimiento de base) se hace más difícil el aprovechamiento de las aguas tanto en la parte alta de las cuencas semiáridas, como aguas abajo, al acelerar el azolve de las presas. Por otra parte, se sabe que las aguas infiltradas en la Sierra son las que alimentan, años después, el manto freático de la zona árida de la Comarca Lagunera, en el sur del Desierto Chihuahuense (Brouste, 1996). La disminución de la infiltración aguas arriba podría disminuir la recarga de este manto y acelerar la desertificación de las zonas áridas.

La vulnerabilidad del medio físico y humano en la zona semiárida mexicana puede sin embargo ser mitigada y contrarrestada mediante la adopción de actividades organizadas en torno al cuidado del patrimonio natural y al impulso de condiciones que mejoren poco a poco las condiciones de vida de los habitantes de esta zona. Qué hacer? Estudiar las relaciones causa efecto del deterioro del patrimonio natural en esas regiones y proponer las estrategias más pertinentes para contrarrestar los efectos nocivos. Estudiar la forma en que se dan los procesos naturales y productivos para evitar las condiciones adversas al medio biofísico y humano mediante estrategias de adaptación que permitan una mayor protección de los recursos y una mayor estabilidad y seguridad a la población. Tal es el caso de la experiencia del programa de servicios ambientales hidrológicos que se lleva a cabo en el norte de México.

Después de una presentación de la zona de estudio, se abordaran los antecedentes que han puesto en evidencia la vulnerabilidad del medio físico y humano de esa zona semiárida mexicana y se presentaran los principales resultados del programa de servicios ambientales hidrológicos implementado.

2. La zona de estudio

La zona de estudio abarca una extensión de 17000 km² en la Sierra Madre Occidental del estado de Durango (norte centro de México) y se sitúa entre las coordenadas 24° y 26.5° de latitud norte y 106.5° y 105° de longitud oeste. La topografía de la zona es accidentada en su parte occidental y ondulada con colinas y valles en su parte oriental, con una altitud que va de los 1500 a los 2600 metros sobre el nivel del mar (Figura 1). El clima es de tipo continental semiárido con una estación de lluvias importante de junio a septiembre, una pequeña estación de lluvias de invierno de octubre a enero y una marcada estación seca de febrero a mayo. La pluviometría anual en la zona oscila entre 400 y 900 mm anuales. Los suelos predominantes en la zona de estudio son de tipo Cambisol, Feozem, y Leptosol desarrollados sobre rocas volcánico-eruptivas (Ignimbritas, Riolita y Toba). La vegetación natural es de Sabana de pastizal con acacias pero en las partes más altas de montaña (arriba de los 1700m) la vegetación predominante es un bosque de encino y pino también con pastizales.

La hidrografía de esta región está organizada por un sistema de drenaje en cauces de riachuelos, arroyos y ríos que bajan desde las partes más altas de Sierra y atraviesan la parte ondulada hacia las planicies endorreicas más bajas y áridas donde desembocaban naturalmente las aguas del río Nazas antes de la construcción de las presas regionales Lázaro Cárdenas y Francisco Zarco.

La zona de estudio tiene una actividad esencialmente agropecuaria con aprovechamiento de las grandes extensiones de pastizales y se tierras cultivadas con forrajes de temporal (maíz, avena)

3. Impactos de los sistemas productivos y del cambio climático

La vulnerabilidad del medio físico de la zona de estudio ha sido objeto de numerosos trabajos de investigación (Descroix & Nouvelot, 1997; Descroix *et al.*, 2000a; González Barrios *et al.*, 2004). Las investigaciones más recientes centran su atención en la superficie del suelo y su cobertura vegetal ya que tienen un papel determinante en la hidrodinámica del agua de lluvia y en los procesos de infiltración, escurrimiento y erosión (Descroix *et al.*, 2008; González Barrios *et al.*, 2008; González Barrios *et al.*, 2009b).

Los estudios de cambio de uso de suelo ligados a la evolución de estado de la superficie han arrojado resultados contundentes en el sentido de que a menor cobertura vegetal mayor sensibilidad del suelo a los procesos de erosión y de escurrimiento desordenado (Descroix *et al.*, 2000b; Descroix *et al.*, 2001; Descroix *et al.*, 2004). Los resultados de estos trabajos en pequeñas superficies de observación (de 0.2 a 20 km²) revelan una erosión anual en manto de hasta 2.87 kg de suelo por metro cuadrado que corresponde a un espesor de 1.85 mm año⁻¹; y una erosión anual en cárcavas de hasta 1.27 toneladas de suelo por metro cuadrado que corresponde a un espesor de 910 mm año⁻¹ (Gonzalez Barrios, *et al.*, 2005). Estos valores presentan sin embargo grandes variaciones espacio-temporales en función de la pluviometría anual y del estado de la superficie del suelo (Descroix & Poulénard, 2005). El estudio de la erosión hídrica en manto y en cárcavas ha dado lugar a la propuesta de métodos de medición y seguimiento más adaptados al proceso erosivo (Descroix *et al.*, 1997b; González-Barrios *et al.*, 2007;) así como también a la recomendación de medidas paliativas y correctivas a corto y mediano plazo (Sánchez Cohen *et al.*, 2009a; Gonzalez Barrios, *et al.*, 2009a).

Las investigaciones se han interesado también en las formas e intensidades de producción ganadera y relacionan las zonas más degradadas con aquellas que poseen una carga animal hasta cuatro veces superior a la capacidad natural de las superficies forrajeras o de agostadero (Viramontes, *et al.*, 2004). La erosión es causada principalmente por el sobre-pastoreo y el pisoteo del ganado que provoca una fuerte compactación del suelo, modificando la estructura y facilitando el escurrimiento y la pérdida de elementos finos (Descroix *et al.*, 2005).

También se han estudiado las condiciones naturales del medio físico que son más susceptibles a la degradación física del medio. Esto es el tipo de suelo, el tamaño de la superficie drenada o área de contribución, la intensidad de la lluvia... Se pudo demostrar que en los suelos con mayor proporción de limos y en las grandes superficies de las sub-cuencas (de 4000 a 7000 km²), la erosión en manto puede llegar a ser dos ordenes de valor (cien veces) mayor que la erosión causada por las cárcavas (efecto de escala) (Descroix *et al.*, 2008).

Las investigaciones se han orientado también a estudiar las variables hidro-climáticas y sus relaciones con el uso y manejo de los recursos agua, suelo y vegetación. Los efectos del clima difíciles de prever como heladas, granizadas, inicio y duración del periodo de lluvias, uniformidad geográfica de la pluviometría y de su intensidad, temperaturas extremas, que han provocado una cascada de consecuencias en el medio físico y humano de esta zona (Descroix *et al.*, 1997a; Descroix *et al.*, 2002a; Sánchez Cohen *et al.*, 2008; Sánchez Cohen *et al.*, 2009b).

Los principales resultados de tales investigaciones ponen en evidencia los cambios hidrológicos de las cuencas vertientes más degradadas que se traducen en una alteración del régimen de escurrimiento e infiltración del agua de lluvia con respuestas hidrológicas más rápidas y violentas generando escurrimientos de avenida más importantes pero con menor duración; con una disminución correlativa de los escurrimientos de base que revelan una pérdida de capacidad de almacenamiento hídrico del suelo y una mayor vulnerabilidad a los incendios (Viramontes, 2000; Descroix *et al.*, 2002b). Los recorridos de campo en la zona de estudio aportan información que confirma la gran incidencia de incendios en áreas de bosque de pino-encino que han dejado sus huellas en los arboles sobrevivientes o muertos de pie.

Numerosos han sido los artículos publicados señalando las consecuencias hidrológicas de tales condiciones. Sin embargo los efectos de esta degradación del medio físico también se expresan en la población humana ya que al perderse gradualmente el patrimonio natural (suelo, vegetación, recursos hídricos almacenados en forma de humedad del suelo) los habitantes de la región quedan expuestos a condiciones ambientales cada vez más difíciles para llevar a cabo sus labores productivas y asegurar su sobrevivencia (Inard Lombard, 2004).

A partir de 1994 la nueva ley de tenencia de la tierra permitió la individualización de las tierras colectivas y la división parcelaria del patrimonio natural. Con ello, se hace más evidente un fraccionamiento territorial y la aparición de una variada gama de condiciones del suelo y de la vegetación que hacen más diversa la calidad de cada propiedad. A casi dos décadas de ese fraccionamiento en algunas comunidades se puede observar que la degradación de algunos sitios colectivos ha sido más intensa que los sitios considerados como privados por la individualización del territorio. Esto recuerda la tragedia de los comuneros (Hardin, 1968); sin embargo en los sitios de apropiación individual existen también algunos casos de productivismo a ultranza que coinciden con situaciones de renta de derechos a terceros. Esto conllevará a la degradación también de ese tipo de tenencia de la tierra en la zona.

La migración de los propietarios se aceleró ante la falta de poder económico y ante las pobres condiciones del patrimonio natural para seguir produciendo de manera individual o colectiva.

Esta situación y los resultados de los trabajos de investigación correspondientes, inspiraron la instrumentación de un programa de acción con un enfoque más integral para combatir el problema de la pérdida del patrimonio natural y humano de la región, la iniciativa fue llamada Programa de Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH).

4. Resultados del PSAH

En 2005 el gobierno federal mexicano junto con el gobierno estatal de Durango acordaron poner en marcha el programa de servicios ambientales hidrológicos (PSAH) para restaurar el medio biofísico a través de obras de conservación probadas con éxito para retener el suelo, la humedad y con ello facilitar la instalación de la vegetación; mantener la cantidad y calidad del agua de escurrimiento e inducir la recarga de mantos acuíferos.

En la estructura del programa participaron la Comisión nacional forestal (CONAFOR) la Secretaría de medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT), la Procuraduría de protección al ambiente (PROFEPA), la Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente del Gobierno de Durango (SRNYMA), gobiernos municipales con áreas beneficiadas y prestadores de servicios (Unidades de aprovechamiento forestal de las comunidades forestales como Tepehuanes) que integraron los expedientes y sometieron al fondo las candidaturas de las áreas propicias para realizar las obras propuestas en un manual de obras y prácticas de la institución rectora (CONAFOR, 2004) ejecutadas en etapas que son supervisadas en el terreno por un responsable de la oficina prestadora de servicios.

El programa empezó con la aprobación de una superficie modesta (una comunidad beneficiada con 4000 hectáreas en 2006) pero fue extendiéndose rápidamente (hasta ocho comunidades beneficiadas con 14500 hectáreas en 2009) ante el éxito de respuesta provocado en los habitantes de las comunidades beneficiadas. La mano de obra fue pagada por dicho programa, con un buen salario (equivalente a 30 dólares americanos diarios aproximadamente), lo cual atrajo la atención de casi toda la fuerza productiva de las comunidades. Prueba de ello son los registros de hombres y mujeres de 16 a 70 años que se reclutaron para trabajar en las obras diversas como:

Acordonamiento de material vegetal, resultante de las podas de árboles y arbustos, para reducir la velocidad del escurrimiento del agua, aumentar la humedad del suelo, disminuir la erosión y propiciar las condiciones favorables para la regeneración natural.

Construcción de presas o barreras con materiales diversos (piedra, material vegetal, llantas, costales de tierra) para disminuir la velocidad de escurrimiento del agua y la pérdida de suelo.

Implementación de obras de control de la erosión en manto y en cárcavas (acomodo de material vegetal muerto en terrazas y laderas, cabeceo de cárcavas y afine de taludes con piedra acomodada).

Promoción de la conservación de áreas con vegetación natural o reforestada para evitar la pérdida de vegetación y la máxima captación de agua en el suelo.

Instalación de letreros de advertencia hacia las buenas prácticas de convivencia con el medio forestal haciendo llamamientos a prestar ayuda para conservar y proteger el bosque evitando talas, desmontes, basura e incendios forestales.

Instalación de letreros de advertencia sobre la vigilancia permanente del medio forestal por la autoridad ambiental.

El programa de servicios ambientales inició con un fondo y duración determinados que ha servido para apoyar comunidades por un periodo de hasta cinco años (a partir de 2007 el periodo de apoyo se redujo a 3 años) y en superficies beneficiadas con una extensión máxima de 4000 hectáreas.

La figura 2 muestra algunas de las obras que fueron realizadas en diferentes comunidades beneficiadas y la respuesta de los trabajadores organizados en cuadrillas de trabajo que ayudan a recuperar paulatinamente el patrimonio natural que se estaba perdiendo. La evaluación de los efectos de las obras de conservación del suelo y el agua es tema de actividades actuales pero sus resultados cualitativos han saltado a la vista desde la primer temporada de lluvias; retención del suelo y del agua, retención de pobladores...

Actualmente el PSAH llega a su fin en muchas comunidades piloto con resultados satisfactorios que saltan a la vista, retención de suelo, aumento de la vegetación, restauración paulatina del ecosistema y uniformización o restablecimiento de áreas fraccionadas, además del arraigo de la población a sus comunidades de origen.

Sin embargo el programa debe dar lugar a una fase diferente y autofinanciable de los trabajos de conservación para poder mantener las superficies restauradas y expandirlas a las áreas vecinas no beneficiadas por el programa para asegurar sus servicios ambientales hidrológicos.

Ello significa la necesidad de más mano de obra pero también significa la necesidad de recursos económicos para llevarlas a cabo.



Figura 2: Obras realizadas por el Programa de Servicios Ambientales Hidrológicos

Es por ello que los resultados del programa se orientan hacia los habitantes de la región árida situada aguas abajo que se beneficia de los servicios hidrológicos de la zona semiárida más alta

que al conservar en buen estado seguirá generando el agua de escurrimiento y de infiltración de buena calidad para mantener la sobrevivencia y los procesos productivos de esa importante región árida vecina.

En 2010 se lanzó el proyecto de pago voluntario por servicios ambientales hidrológicos que pretende sensibilizar a la población beneficiada aguas abajo y que podrá contribuir a la perennización de los trabajos de conservación aguas arriba, en la zona semiárida.

Actualmente ese pago voluntario de servicios se encuentra en fase de prueba con el beneficio fiscal de la deducción de impuestos para quien aporta, sin embargo la mayor recaudación no se espera que venga de las industrias o grandes grupos económicos individuales sino del grueso de la población que desde su modesta participación económica podrá sumar las mayores aportaciones económicas, como sucede en otra región del norte de México (Sierra de Zapalinamé y habitantes de la ciudad de Saltillo) para dar mayor viabilidad a este proyecto (Canales, 2009).

Es pues importante y necesario sensibilizar a los habitantes de la región árida aguas abajo para que sus aportaciones económicas voluntarias aseguren el pago de mano de obra suficiente y la ampliación gradual de superficies protegidas hasta llegar a cubrir el 100 % de lo requerido y restaurar con ello de manera completa el patrimonio natural de esta zona. Solo así podrá completarse el esquema planteado de manera inteligente desde el principio y realizar con él la conservación y restauración de esta zona semiárida mexicana como una exitosa adaptación a los impactos adversos del clima y de las actividades humanas.

5. Conclusión

A la luz de los resultados expuestos arriba, el programa de servicios ambientales hidrológicos se perfila como una primera etapa de la solución a mediano plazo con una visión más integral del problema y de sus soluciones; por un lado la vulnerabilidad natural del medio biofísico a ciertas actividades productivas que requieren de control para evitar que sean abusivas; y por otro lado la incertidumbre y la variabilidad del clima que es por el momento difícil de predecir pero que es cada vez mas estudiada y analizada por grupos de trabajo científico.

El programa de servicios ambientales hidrológicos es un programa piloto importante pero aún insuficiente para restaurar todas las áreas de interés hidrológico, ya que tiene una duración determinada al final del cual los gestores de los "fondos semilla" buscaran facilitar la organización de las comunidades beneficiadas para seguir conservando y ampliar las superficies protegidas pero con la ayuda de la sociedad local o de aguas abajo mediante la concientización de la importancia de la conservación y los beneficios que reditúa en términos de suministro de agua

de buena calidad para el consumo ganadero, agrícola y humano, así como para elevar la seguridad hidrológica en el área mediante la reducción de la pérdida del suelo y el mantenimiento de la calidad del agua, la conservación de manantiales y el mantenimiento de la capacidad de recarga de mantos acuíferos, el mantenimiento de escurrimiento de base en época seca, y la prevención de inundaciones o deslizamientos de suelo mediante la delimitación y conservación de áreas de amortiguamiento. El reto es evitar la degradación de esa zona semiárida de montaña ubicada en la Sierra Madre Occidental que representa el almacén natural del agua de las lluvias; y evitar la desertificación de las zonas áridas ubicadas aguas abajo que dependen completamente de las aguas foráneas tanto superficiales como subterráneas, para su sobrevivencia y para sus actividades económicas.

El PSAH deberá ayudar entonces a la adopción del pago voluntario por servicios ambientales que permita perennizar a mediano plazo las labores de restauración del ecosistema y el empleo de mano de obra local que arraigue a la población a sus comunidades de origen y facilite con ello una rápida recuperación del patrimonio natural y productivo.

Estas medidas se lograran seguramente con el apoyo sostenido del grueso de la población de quien se esperan las aportaciones económicas más significativas.

La adaptación de la población a los impactos del cambio climático pasa irremediamente por la restauración del medio biofísico y por el arraigo de la población a sus lugares de origen lo cual da lugar a otras opciones de conservación igualmente viables y explorables que valdrían la pena de ser probadas para beneficiar un mayor número de hectáreas de esta zona semiárida. Así por ejemplo los programas de captura de carbono, de protección de la diversidad biológica y de conservación de sitios con belleza escénica son también opciones importantes a valorar en las comunidades sensibilizadas para garantizar el buen estado de la zona semiárida mexicana.

Medidas de control administrativo serán sin embargo obligatorias para impedir la politización de las estructuras de estos programas y para que los recursos recabados de la población beneficiaria sean manejados con absoluta transparencia y honestidad, mostrando en todo momento los costos de las obras de conservación realizadas y los beneficios ambientales y sociales producidos a la población que los realizó y a la población que los financió.

Las nuevas propuestas de perennización y de réplica de las obras de conservación deben ser acompañadas de una apertura hacia los mercados internacionales (bonos de carbono, pago de servicios ambientales hidrológicos, protección de áreas biodiversas...) que permitan restaurar los ecosistemas semiáridos de México y de otras regiones del mundo.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a todas las instituciones que hicieron posible este trabajo en particular al CONACYT al INIFAP al IRD y a los habitantes de las comunidades de Bolerías, Escobar y Anexas, Ciénega de Escobar, San Jose de la Boca, Tepehuanes, así como a las unidades de servicios forestales de Tepehuanes por su amabilidad y disponibilidad en el trabajo de campo de esta investigación.

Referencias

- BROUSTE, L. **Hydrochimie et géochimie isotopique de la nappe phréatique de la Comarca Lagunera Nord-Mexique**. Thèse (Doctorale) Université de Paris 11 Orsay, Paris, France. 1997.
- CANALES, E. Servicios ambientales, análisis de dos casos. In: ENCUENTRO SOBRE BIODIVERSIDAD Y DESARROLLO SOSTENIBLE EN LA LAGUNA, 7. ITESM Campus Laguna. Torreón Coahuila, México. 2009. **Memorias...** Torreón Coahuila, México. 2009.
- DESCROIX, L.; NOUVELOT, J.F. Ecurrimiento y erosión en la Sierra Madre Occidental. **Folleto científico**, n. 7 CENID-RASPA, Gómez Palacio, Durango, México. 1997.
- DESCROIX, L.; NOUVELOT, J.F.; ESTRADA J. Geografía de las lluvias en una cuenca del Norte de México: Regionalización de las precipitaciones en la Región hidrológica 36. **Folleto científico**, n. 8 CENID-RASPA, Gómez Palacio, Durango, México. 1997.
- DESCROIX, L.; GUÉDEZ, P.Y.; POULENAD, J. Méthodes de mesure de l'érosion actuelle: applications dans les Préalpes du Sud (France et la Sierra Madre Occidentale). **Mexique Bull. du Réseau Erosion**, n. 17, p. 239-254. 1997b.
- DESCROIX, L.; VIRAMONTES, D.; ANAYA, E.; POULENARD, J.; GONZÁLEZ-BARRIOS, J.L. L'impact du surpaturage et du déboisement sur l'érosion des sols dans la Sierra Madre Occidentale). **Bull. du Réseau Erosion**, n.20, 218-231. 2000.
- DESCROIX, L.; DIGONNET, S.; GONZÁLEZ-BARRIOS, J.L.; VIRAMONTES, D.; BOLLERY, A. Local factors controlling gully or areal erosion in the Sierra Madre Occidental (Northern Mexico). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GULLY EROSION UNDER GLOBAL CHANGE. European Soc. for Soil Conservation, Catholic Univ. of Louvain, April 2000. Brussels, Belgium, 2000. **Abstracts...** Brussels, Belgium, 2000.
- DESCROIX, L.; VIRAMONTES, D.; VAUCLIN, M.; GONZÁLEZ-BARRIOS, J.L.; ESTEVES, M. Influence of soil surface features and vegetation on runoff and erosion in the Western Sierra Madre (Durango, Northwest Mexico). **CATENA** v. 43, n. 2, p. 115-135, 2001.

- DESCROIX, L.; NOUVELOT, J.F.; VAUCLIN, M. Evaluation of an antecedent precipitation index to model runoff yield in the Western Sierra Madre (North-west Mexico). **J. of Hydrology** v.263, p. 114-130, 2002.
- DESCROIX, L., GONZÁLEZ BARRIOS, J.L.; VANDERVAERE, J.P.; VIRAMONTES, D.; BOLLERY, A. An experimental analysis of hydrodynamic behavior on soils and hillslopes in a subtropical mountainous environment (Western Sierra Madre, Mexico). **J. of Hydrology** v. 266, p.1-14, 2002b.
- DESCROIX, L.; GONZALEZ BARRIOS, J.L.; VIRAMONTES, D.; ESTEVES, M. Gully erosion and land use changes on the hillslopes of the western sierra madre. In: **GULLY erosion under global change** (ed. Y. Li, J. Poesen, & C. Valentin Chapter 12, p. 163-174. 1.ed. Sichuan Science and Technology Press, Chengdu, China. 2004.
- DESCROIX, L.; POULENAD, J. Les formes d'érosion dans la Sierra Madre Occidentale (Nord Ouest du Meique. **Bull. Labo.Rhod. Géomorph.** Lyon, France. n. 33-34, p. 1-19, 2005.
- DESCROIX, L.; BESNIER, A.-L.; GAUTHIER, E.; AMOGU, O.; VIRAMONTES, D.; GONZALEZ BARRIOS, J.L. Sediment budget as evidence of land-use changes in montaineous areas: two stages of evolution In: **SEDIMENT BUDGETS 2** (Ed. Horowitz, A.J.; Des E. Walling) p. 262-270. **IAHS Publ.** 292, IAHS Press. Wallingford, UK. 2005.
- DESCROIX, L.; GONZÁLEZ BARRIOS, J.L.; VIRAMONTES, D.; POULENARD, J.; ANAYA, E.; ESTEVES, M.; ESTRADA, J. Gully and sheet erosion on subtropical mountain slopes: Their respective roles and the scale effect. **CATENA** v. 72, n. 2008, p. 325-339, 2008.
- GONZÁLEZ BARRIOS, J.L.; DESCROIX, L.; VIRAMONTES, D.; POULENARD, J.; PLENECASSAGNE, A.; MACIAS, L.; BOYER, CH.; BOLLERY, A.; JASSO IBARRA, R. Condiciones que favorecen la erosión y el escurrimiento en manto. In: **LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL, una fuente de agua amenazada** (Ed. Descroix, L.; González Barrios, J.L.; Estrada, J.) Cap. 7, p. 161-178. Ediciones INIFAP-IRD, Gómez Palacio, Durango, México. 2004.
- GONZÁLEZ BARRIOS, J.L.; ESTRADA AVALOS, J.; GONZÁLEZ CERVANTES, G.; JASSO, R.; SÁNCHEZ COHEN, I.; DESCROIX, L. Erosión en cárcavas en la cuenca alta del río Nazas, impacto del cambio de uso del suelo. In: **CONGRESO NACIONAL DE IRRIGACIÓN, 13.**, Mesa I. Hidrología y Manejo integrado de cuencas. Acapulco, México, 2005. **Memorias...** Acapulco, México, 2005.
- GONZÁLEZ BARRIOS, J.L.; ESTRADA AVALOS, J.; JASSO IBARRA, R.; GONZÁLEZ, M.R.; GONZÁLEZ CERVANTES, G. Metodología de observación de cárcavas de erosión en una cuenca hidrológica experimental. **Agrofaz** v. 7, n. 3, p. 115-123, 2007.
- GONZÁLEZ BARRIOS, J.L.; MUÑOZ VILLALOBOS, J.A.; VALENZUELA NÚÑEZ, L.M.; RIVERA GONZÁLEZ, M.; ESTRADA AVALOS, J.; TRUCÍOS CACIANO, R. Erosión hídrica de suelo y carbono orgánico en la cuenca alta del Nazas. In: **SEMANA INTERNACIONAL DE AGRONOMÍA, 20.**, FAZ-UJED. Nov 2008, p. 458-464. Gómez Palacio Durango, México, 2008. **Memorias...** Gómez Palacio Durango, México, 2008.

- GONZÁLEZ BARRIOS, J.L.; TRUCÍOS CACIANO, R.; MOJICA GUERRERO, A.S.; VALENZUELA NÚÑEZ, L.M. Servicios ambientales hidrológicos en la Sierra de la Candela Durango, México. **Revista Chapingo Serie Zonas Áridas**, v. 8, n.1, p. 43-48, 2009.
- GONZÁLEZ BARRIOS, J.L.; VANDERVAERE, J.P.; DESCROIX, L.; SÁNCHEZ COHEN, I. Impacto del cambio de uso de suelo en la hidrodinámica superficial de una cuenca receptora de agua. In: REUNIÓN TEMÁTICA DEL AGUA CONACYT. Cocoyoc Morelos, Mexico, 2009. **Memorias...** Cocoyoc Morelos, Mexico. 2009b
- HARDIN, G. The tragedy of the commons. **Science** n.1621968, p. 1243-1248, 1968.
- INARD LOMBARD, B. Una Montaña en vías del abandono? En: **LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL, una fuente de agua amenazada** (Ed. Descroix, L.; González Barrios, J.L.; Estrada, J.) Cap. 2, p. 65-83. Ediciones INIFAP-IRD, Gómez Palacio, Durango, México. 2004.
- SÁNCHEZ COHEN, I.; DÍAZ PADILLA, G.; OJEDA, W.; CHEBHOUNI, G.; ORONA, I.; VILLANUEVA, J.; GONZÁLEZ BARRIOS, J.L.; GONZALEZ CERVANTES, J.L. Variabilidad climática en México: algunos impactos hidrológicos, sociales y económicos. **Ingeniería hidráulica en México**. v. 23, n.4, p. 5-24, 2008.
- SÁNCHEZ COHEN, I.; CERANO PAREDES J.; VILLANUEVA, J.; ESTRADA, J.; GONZÁLEZ BARRIOS, J.L.; CORNEJO, E. Evaluación de alternativas para la conservación de la cubierta vegetal en la parte alta de la cuenca Nazas-Aguanaval mediante el sistema de ayuda para la toma de decisiones DSS. **Agrofaz** v.9, n. 5, p. 55-62, 2009.
- SANCHEZ COHEN, L.; GONZÁLEZ BARRIOS, J.L.; DIAZ PADILLA, G.; VELASQUEZ VALLE, M. Cambio climático y vulnerabilidad ecológica: Impacto en las variables hidrológicas de las cuencas. In: **MANEJO COMPARADO DE CUENCAS HIDROLOGICAS; Incertidumbre Climática, Vulnerabilidad Ecológica y Conflicto Social** (Comp. GONZÁLEZ BARRIOS, J.L.; SANCHEZ COHEN, L. p. 23-45, Ediciones SMCS CONACYT RETAC INIFAP RNIAS, Tlaxiaco Coahuila, Mexico, 2009.
- VIRAMONTES, D. **Comportement hydrodynamique des milieux dans la Sierra Madre Occidentale: causes et conséquences de leur évolution**. Thèse doctorale Université Joseph Fourier de Grenoble. Institut de Géographie Alpine, Grenoble, France, 2000.
- VIRAMONTES, D., ANAYA, E.; GARCÍA, C.; POULENARD, J.; BARRAL, H.; MACÍAS, L.; RODRÍGUEZ CAMARILLO, M.G. Demasiado ganado y demasiados leñadores: una economía minera. in: **LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL, una fuente de agua amenazada** (Ed. Descroix, L.; González Barrios, J.L.; Estrada, J.) Cap. 8, p. 183-193. Ediciones INIFAP-IRD, Gómez Palacio, Durango, México, 2004.