

La degradación ambiental y sus efectos en la contaminación de las aguas superficiales en la cuenca del río Conchos (Chihuahua - México)

PEDRO PÉREZ CUTILLAS¹ | JESÚS PILAR AMADO ÁLVAREZ² | ELSA FABIOLA SEGOVIA ORTEGA³
CARMELO CONESA GARCÍA⁴ | JUAN JOSÉ ALARCÓN CABAÑERO⁵

Recibido: 04/12/2017 | Aceptado: 02/03/2018

Resumen

El desarrollo de las actividades humanas ha provocado un notable deterioro ambiental en la cuenca del río Conchos. La deforestación, los cambios de uso del suelo, el sobrepastoreo y la contaminación química de las aguas originada por las actividades agrícolas han contribuido a esta degradación, pero el principal factor de deterioro ambiental lo constituye la contaminación de las aguas superficiales provocada por los vertidos de aguas residuales urbanas y de desechos industriales. Los resultados más relevantes obtenidos en los análisis de agua ofrecen unos valores de oxígeno disuelto muy bajos, con niveles medios de 4.06 mg L⁻¹. También se han constatado elevadas tasas de turbidez, que en algunos casos han superado los 980 NTU. El estudio concluye poniendo de manifiesto la necesidad de adoptar cambios sustanciales en los usos y prácticas agrícolas, y de reformar los sistemas de gestión integral relacionados con el tratamiento de los efluentes urbanos e industriales, con el fin de mejorar la calidad de las aguas y evitar posibles riesgos para la salud pública.

Palabras clave: Calidad del Agua; erosión; deforestación; prácticas agrícolas.

Abstract

Environmental degradation and its effects on the pollution of surface water in Conchos river basin (Chihuahua - Mexico)

The development of human activities has led a perceptible environmental degradation in the Conchos river basin. Several factors, such as deforestation, changes of land uses, overgrazing and chemical water pollution from agricultural activities, have influenced this damage. However, the main source of degradation of the surface water of this basin is discharges of urban and industrial waste water. Results from the water analyses show very low values of dissolved oxygen, with average level of 4.06 mg L⁻¹, and high rates of turbidity, which in some cases reached the 980 NTU. In conclusion, the findings of this study show the need of a change in agricultural management

1. Grupo de Erosión y Conservación de Suelos. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CEBAS-CSIC), Murcia, España. perezcutillas@cebas.csic.es

2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Cuauhtemoc (Chihuahua), México. jesusaa@colpos.mx

3. Universidad Politécnica de Gómez Palacio, Durango, México. fabisegovia92@gmail.com

4. Universidad de Murcia, España. cconesa@um.es

5. Dpto. de Riegos. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CEBAS-CSIC), Murcia, España. jalarcon@cebas.csic.es

and the improvement of integrated management system in the treatment of urban and industrial wastewater, in order to reach more appropriate levels of water quality, which currently they pose a serious risk to public health.

Keywords: Water Quality; erosion; deforestation; agricultural practices.

Résumé

Dégradation de l'environnement et ses effets sur la pollution des eaux de surface dans le bassin de la rivière Conchos (Chihuahua - Mexique)

Le développement des activités humaines a provoqué une détérioration environnementale importante dans le bassin de la rivière Conchos. La déforestation, les changements dans l'utilisation des terres, le surpâturage et la pollution chimique de l'eau provenant des activités agricoles ont contribué à cette dégradation, mais le principal facteur de détérioration de l'environnement est la contamination des eaux de surface causée par rejets d'eaux usées urbaines et de déchets industriels. Les résultats les plus pertinents obtenus dans l'analyse de l'eau offrent de très faibles valeurs d'oxygène dissous, avec des niveaux moyens de 4,06 mg L⁻¹. Des taux élevés de turbidité ont également été observés, qui dans certains cas ont dépassé 980 NTU. L'étude conclut en soulignant la nécessité d'adopter des changements substantiels dans les pratiques et pratiques agricoles, et de réformer les systèmes de gestion intégrale liés au traitement des effluents urbains et industriels, afin d'améliorer la qualité de l'eau et d'éviter risques possibles pour la santé publique.

Mots-clés: Qualité de l'Eau; érosion; déforestation; pratiques agricoles.

1. Introducción

La inadecuada gestión del agua a nivel global ha provocado en las últimas décadas numerosos conflictos sociales relacionados con la escasez de este elemento (Hanjra y Qureshi, 2010). Una inadecuada, y a menudo ineficaz, gestión de los recursos hídricos disponibles en relación con la demanda impuesta por el desarrollo de diferentes actividades humanas suele ser la principal responsable de numerosos desequilibrios socio-económicos, políticos y ambientales (Brand et al., 2008, Srinivasan, 2012).

Los escenarios de cambio global muestran un aumento de la temperatura y un descenso de la precipitación a corto plazo (Bellard et al., 2012), que acentúan la vulnerabilidad de los frágiles ambientes semiáridos amenazados por unas perspectivas pésimas de desarrollo y sostenibilidad. A la falta de eficiencia en la utilización y aprovechamiento del agua, se añade la fuerte demanda de recursos hídricos producida por el crecimiento demográfico, sobre todo en los países en vías de desarrollo (Vörösmarty et al., 2000). Ello no hace sino acelerar los procesos de desigualdad, potenciados por una globalización regresiva con serias repercusiones en el medio ambiente y la población (Held y McGrew, 2007, Brauch et al., 2008).

La degradación de la calidad del agua también ha contribuido de manera importante a los problemas derivados de la utilización de los recursos hídricos a escala mundial, con más de mil millones de habitantes del planeta que no tienen acceso a agua potable, y unos dos mil seiscientos millones que no disponen de servicios de tratamiento de calidad hídrica. En consecuencia, la contaminación del agua se ha convertido a nivel global en la principal causa de muerte y de transmisión de numerosas enfermedades para las poblaciones más desfavorecidas (Jury y Vaux, 2007; Cotruvo, 2017).

La crisis del agua en México muestra cifras alarmantes, en la que más de 12 millones de personas carecen de agua potable, y gran parte las redes de suministro de agua se encuentran en mal estado de conservación, por lo que el volumen de pérdidas estimadas supera el 35% (Palacios y Escobar, 2010). La extensión y diversidad geográfica del país provocan una distribución restrictiva e irregular del agua, asociado en la mitad norte del territorio nacional a un déficit constante de precipitaciones. Los recursos hídricos se presentan insuficientes para los niveles de concentración demográfica y de desarrollo de los distintos sectores de actividad económica. Esta escasez ha propiciado una continua explotación creciente de los acuíferos (Becerra Pérez *et al.*, 2006), a menudo incontrolable, que ha puesto en riesgo la recuperación del equilibrio propio del ciclo natural del agua (CONAGUA, 2010).

El crecimiento urbano y la industrialización interactúan con los procesos naturales del ciclo hidrológico de manera cualitativa y cuantitativa, alterando no sólo las funciones de suministro hídrico, sino la calidad del agua disponible (McDonald *et al.*, 2011). Los desechos generados por estas actividades humanas degradan de manera notable los recursos hídricos, y en ambientes semiáridos, donde el agua es un bien escaso, la reutilización de las aguas residuales son un hecho habitual (Taylor *et al.*, 2006; Ganjegunte *et al.*, 2017). En las normas establecidas para la salud pública, la calidad del agua natural se establece de acuerdo con sus características físicas, químicas y biológicas, asociándose a cada parámetro un nivel que asegure que el agua reúne los requisitos necesarios para cada uno de los procesos de consumo (DOF, 2006). A pesar de que estas pautas aconsejan intensos tratamientos aplicados a los efluentes para uso humano, en su reutilización con fines agrícolas por lo general su tratamiento es más laxo.

De la misma forma, el desarrollo de las actividades agrícolas afecta también significativamente a la contaminación de los recursos hídricos. En este caso, la escasa percepción del ciclo integral del agua por parte de los productores agrícolas, en ocasiones materializada en una deficiente racionalización de su uso y en el empleo excesivo de fertilizantes y pesticidas, tiene especial influencia en los procesos de degradación de las aguas de riego y en la propia salud de los trabajadores agrícolas (Martínez-Valenzuela y Gómez-Arroyo, 2007; Carbajal-López *et al.*, 2016). Además, la intervención gubernamental a través de subsidios, que favorecen inadecuadas prácticas agrícolas, está provocando un mayor impacto ambiental en sus entornos de producción (Pérez-Espejo *et al.*, 2011).

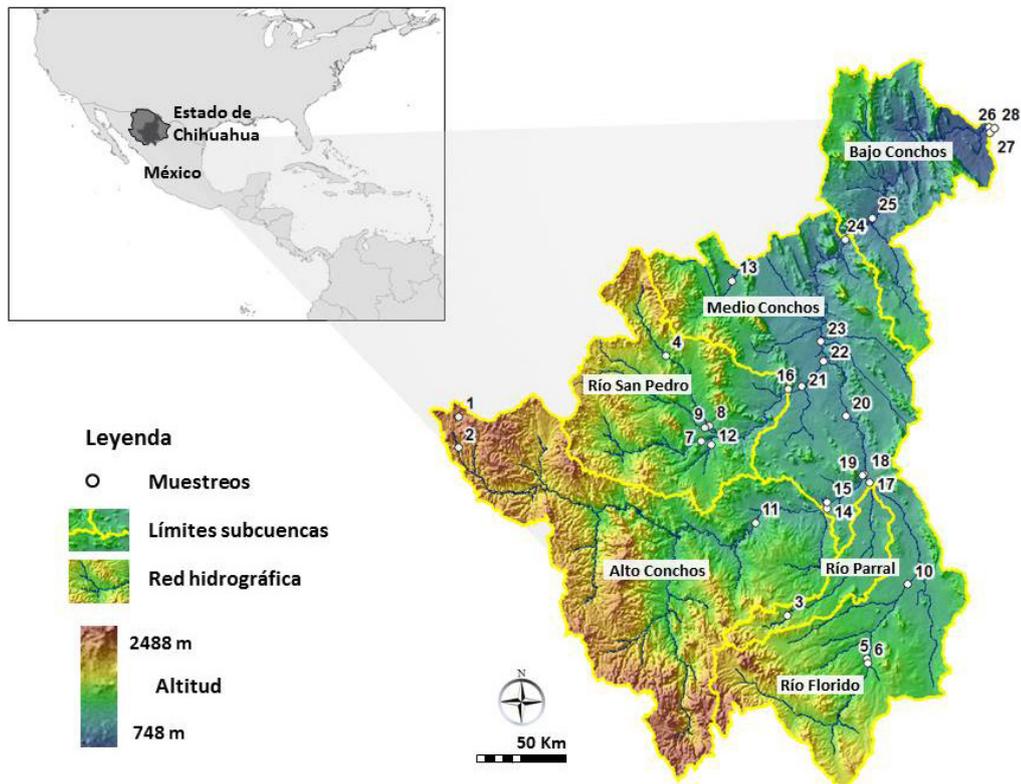
Con este trabajo se pretende analizar el origen de los principales procesos de contaminación de los recursos hídricos de la cuenca del río Conchos, y determinar sus causas mediante la caracterización y análisis espacial de posibles factores ambientales. El análisis del estado físico-químico de los suelos y físico-químico y microbiológico de las aguas superficiales en los cauces principales permitirá estimar la relación de los procesos de pérdida del suelo, acelerados por la acción del hombre a nivel de cuenca, con la contaminación hídrica de dichas aguas superficiales, y evaluar sus efectos sinérgicos sobre las actividades socioeconómicas.

2. Material y métodos

Como criterio de segmentación de la cuenca se ha adoptado en algunos casos la delimitación de áreas vertientes a las presas y embalses, generando así unidades de drenaje propias con funcionamiento independiente. Las presas de La Boquilla, de Luis L. León (también conocida como El Granero) y de Las Vírgenes, constituyen el cierre de las subcuencas del Alto Conchos, del Medio Conchos y del río San Pedro, respectivamente (Mapa 1). Hacia el noreste, el Bajo Conchos con-

centra los drenajes de la parte final de la gran cuenca del Conchos, como afluente del río Bravo en la frontera con EE.UU. Para la delimitación de las subcuencas de los ríos Parral y Florido, situadas en la parte más meridional, se han seleccionado, en cambio, los puntos de confluencia con el cauce principal del río Conchos. Estas dos zonas son de enorme interés, al tratarse de cauces con caudales intermitentes, y localizarse en áreas con una gran presión antrópica, en las que actividades agrícolas e industriales condicionan de manera directa la utilización de sus escasos recursos hídricos.

Mapa 1. Localización de la cuenca del río Conchos. Fuente: Elaboración propia.



El grado de degradación específica de la cuenca se ha estimado a partir de tasas de transporte fluvial y volúmenes de sedimentos retenidos por los embalses, mientras que la relación entre degradación ambiental y contaminación de los recursos hídricos ha sido abordada principalmente mediante el análisis de parámetros físico-químicos del suelo y físico-químicos y microbiológicos de las aguas superficiales.

La recogida de muestras se llevó a cabo desde Septiembre del 2010 hasta Agosto del 2011 en 28 localizaciones seleccionadas mediante un muestreo aleatorio estratificado de suelos en las zonas ribereñas, y de muestreos de agua en la corriente de régimen permanente del río Conchos y sus principales tributarios (Cuadro 1). De forma preconcebida, y con el fin de obtener valores de control referidos al curso completo, se realizaron muestreos en los extremos inicial y final del cauce principal. En todos los casos se practicó un muestreo volumétrico de suelo hasta 30 cm de profundidad, a partir del que se determinaron la densidad aparente (DA), el pH, la conductividad eléctrica (CE) y el contenido de materia orgánica. La densidad aparente se obtuvo por el método de parafina (Fernández y Frances, 1981), la submuestra resultante se utilizó para determinar el pH y la CE con el equipo HANNA HI 991301, mientras que el contenido de materia orgánica se estimó mediante el método de Walkley y Black (Etchevers et al., 2008).

Cuadro 1. Puntos de muestreo distribuidos en la cuenca de río Conchos. ID – código identificador de los muestreos. Las coordenadas X e Y expresadas en el sistema de referencia WGS84, coordenadas UTM – Huso 13.

ID	Localidad	X	Y	Altitud (m)	Muestras Agua	Muestras Suelo
1	Cabecera río Conchos, Bocoyna	245578	3100269	2239		*
2	Bocoyna	245341	3082028	2238	*	*
3	Río Parral, Parral	437616	2983141	1724	*	*
4	Río Sta. Isabel, Gral. Trías	366507	3136238	1609		*
5	Río Florido, Villa coronado	484258	2957534	1517	*	
6	Canal Presa Pico Águila	484354	2955241	1516	*	
7	Río San Pedro, Satevo	387093	3085537	1413		*
8	Río Sta. Isabel, Satevo	392155	3094808	1392		*
9	Satevo, Municipio de Satevo	389264	3093820	1391		*
10	Río Florido, Jiménez	507896	3001448	1373	*	*
11	Río San Javier	393242	3083756	1335		*
12	Río Conchos, Valle de Zaragoza	418777	3037610	1335	*	*
13	Río Chuviscar, Chihuahua	405401	3180044	1330	*	
14	Presa La Boquilla	460792	3045850	1311	*	*
15	Lago Colina	460608	3049992	1255	*	*
16	Presa Las Vírgenes	438309	3116475	1251		*
17	Río Florido	485841	3061495	1227	*	*
18	Río Florido, Camargo	482478	3066263	1220	*	*
19	Río Conchos, Camargo	481470	3065443	1218	*	*
20	Río Conchos, Saucillo	471792	3100303	1185	*	
21	San Pedro, Rosales	446068	3117786	1175		*
22	Río Conchos, Meoqui	458845	3132956	1124	*	*
23	Río Conchos, Julimes	457057	3144222	1106	*	*
24	Presa El Granero	471423	3204368	1032	*	*
25	Río Conchos, Maclovio Herrera	487021	3216990	970	*	*
26	Río Conchos, Ojinaga	555520	3270160	789	*	*
27	Río Bravo	556221	3267441	785	*	*
28	Río Bravo, Ojinaga	558719	3270048	782	*	*

Fuente: Elaboración propia

Para la evaluación de la calidad del agua se adoptó inicialmente el método de Smith (1990). Sin embargo, al existir la posibilidad de que sus resultados representaran condiciones momentáneas y puntuales, que pudieran enmascarar la calidad integral del estado del agua, se optó por aplicar un índice biológico que permitiera mostrar el grado de alteración de estos ecosistemas acuáticos en un rango temporal más amplio (Alba-Tercedor y Sánchez-Ortega, 1988). Para finalizar, se propone la aplicación de un índice que pueda servir para la comparación de estos datos en distintos

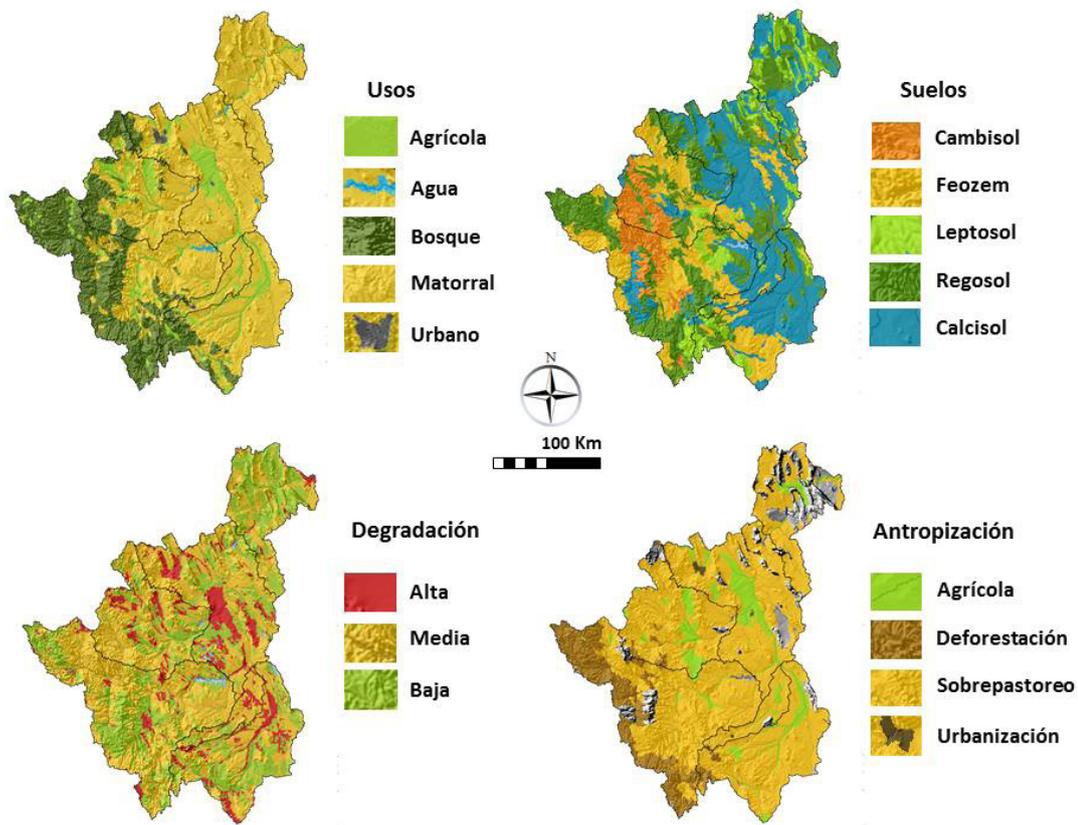
tramos o cauces del río. Por la sencillez de cálculo, se utilizó el índice de calidad del agua (NSF-WQI) (Amado et al., 2006; Noorbakhsh et al., 2014) de acuerdo a la metodología desarrollada por la Universidad de Wilkes (2006), a partir de la obtención *in situ* de los parámetros de temperatura, turbidez, pH, sólidos totales disueltos (STD), oxígeno disuelto (OD), nitratos, fósforo total, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y bacterias coliformes fecales (BCF). Los valores del NSF-WQI, obtenidos en los diferentes muestreos (del 23 al 30 de Septiembre del 2010; del 2 al 17 de Febrero del 2011; del 15 al 27 de Mayo del 2011 y del 2 al 25 de Agosto del 2011), fueron finalmente contrastados con los estándares de calidad integral del agua establecidos según criterios de optimización (Ramos et al., 2016).

Para la medición de la turbidez se adoptó el método nefelométrico, basado en la comparación instrumental de la intensidad de luz dispersada por cada muestra analizada respecto a un patrón de referencia establecido bajo las mismas condiciones, empleando para ello cápsulas de 15 ml (Termo, AQ5000). El pH fue determinado por medición potenciométrica de la actividad de los iones hidrogeno (H^+) en solución, mediante un electrodo de vidrio, previa calibración del instrumento con soluciones estándar de pH (*Hanna Instrument pH/CE/TSD/T meter*). Con este potenciómetro también se obtuvieron los valores de STD ($mg L^{-1}$), la temperatura en $^{\circ}C$ y la conductividad eléctrica ($mScm^{-1}$) (CE). El OD, en % de saturación y mgL^{-1} , fue medido con un oxímetro portátil (Hanna Instrument - HI 9146). Los nitratos (NO_3) se tomaron con un medidor portátil (HORBA modelo B-343) utilizando el método de lectura con electrodo de ión. Por otro lado, los datos de fósforo total, DBO y las bacterias coliformes fecales (BCF) se obtuvieron en laboratorio de acuerdo con las normas NMX-AA-029, NMX-AA-028 y NMX-AA-042, respectivamente, incluidas en la NMX-AA-003 de Aguas Residuales (NOM-001-ECO-1996 y NOM-003-ECO-1997) (DOF, 1997a; DOF, 1997b).

La carga de sedimentos, en solución y disolución, fue medida para cada sección transversal del curso a partir de muestras recogidas a 6/10 la profundidad de la corriente, coincidiendo con el punto donde generalmente se registra la velocidad equivalente a la velocidad media del flujo. Para obtener un caudal representativo, se midió la velocidad con la utilización de un molinete hidráulico a partir de un promedio de medidas puntuales diarias a lo largo de la sección transversal del flujo, repetidas durante el periodo de muestreo. Datos por los cuales se pudo estimar el correspondiente caudal teniendo en cuenta el área de cada sección mojada.

El análisis espacial de estos datos, y el modelo hidrográfico de la cuenca se realizaron mediante el sistema de información geográfica ArcGIS v.10. A través del módulo 'Arc Hydro Tools' se delimitaron las subcuencas principales del área vertiente del río Conchos, con el fin de analizar de manera individualizada, para cada una de ellas, la información relativa a aprovechamiento del suelo, propiedades edáficas, procesos de antropización territorial y grado de degradación ambiental (Mapa 2), obtenidas de la base de datos geográfica de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad del Gobierno de México (CONABIO, 2016). Finalmente, los valores de las variables físico-químicas y microbiológicas, medidas a partir de los muestreos de suelo y de agua, fueron cotejados mediante un análisis de correlación paramétrica bilateral (coeficiente de correlación de Pearson - SPSS v.23-) para determinar la influencia de los procesos de degradación ambiental en la contaminación de las aguas superficiales.

Mapa 2. Distribución espacial de los usos del suelo, los tipos edáficos, del grado de degradación, y de los procesos de antropización territorial en la Cuenca del río Conchos. Fuente: Elaboración propia, a partir de información extraída de la base de datos del CONABIO (2016).

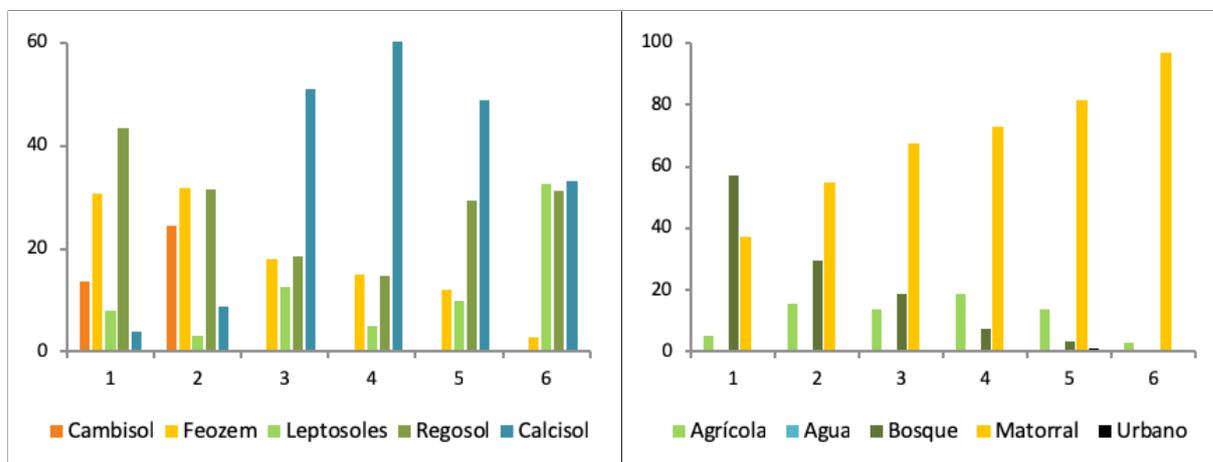


3. Resultados

3.1. Condiciones naturales y factores de degradación ambiental

Respecto a las características taxonómicas del suelo (Gráfico 1a), los tipos más abundantes son los Regosoles (30%), Calcisoles (26%), Feozems (19%) y Leptosoles (11%) (CONABIO, 2016). A pesar de presentar una distribución espacial heterogénea, estos tipos muestran ciertos patrones de localización comunes, asociados a las características del relieve y de la vegetación. Los Regosoles suelen tener un perfil poco desarrollado como consecuencia de un corto o lento proceso de formación bajo condiciones de escasa precipitación. Se localizan preferentemente en las partes altas que sirven de plataforma a las formaciones boscosas y en las zonas de menor altitud poco pluviosas, que incluyen amplias áreas de pastos extensivos. Los Feozems muestran un alto contenido en materia orgánica, y ocupan principalmente las áreas más lluviosas de las subcuencas del Alto Conchos y del río San Pedro. Se desarrollan sobre un relieve llano o suavemente ondulado con vegetación de matorral tipo estepa, o en algunos casos, de bosque. Su fertilidad permite albergar gran variedad de cultivos de secano y regadío, aunque su débil estructura los convierte en suelos altamente erosionables. Los Cambisoles también están bien representados en los relieves elevados, donde se desarrollan sobre materiales de alteración procedentes de rocas muy diferentes. Se caracteriza por una débil a moderada alteración del material original, que no impide su aprovechamiento agrícola. Sus principales limitaciones parecen hallarse asociadas a zonas de elevada pendiente y pedregosidad, donde sólo los usos forestal y pascícola tienen cierta importancia.

Gráfico 1. Representación porcentual de la superficie por subcuenca correspondiente a los tipos de suelo (a: izquierda) y a los usos del suelo (b: derecha). Códigos del eje horizontal: 1) Alto Conchos, 2) río San Pedro, 3) río Florido, 4) río Parral, 5) Medio Conchos, y 6) Bajo Conchos. Fuente: Elaboración propia, a partir de información extraída de la base de datos del CONABIO (2016).

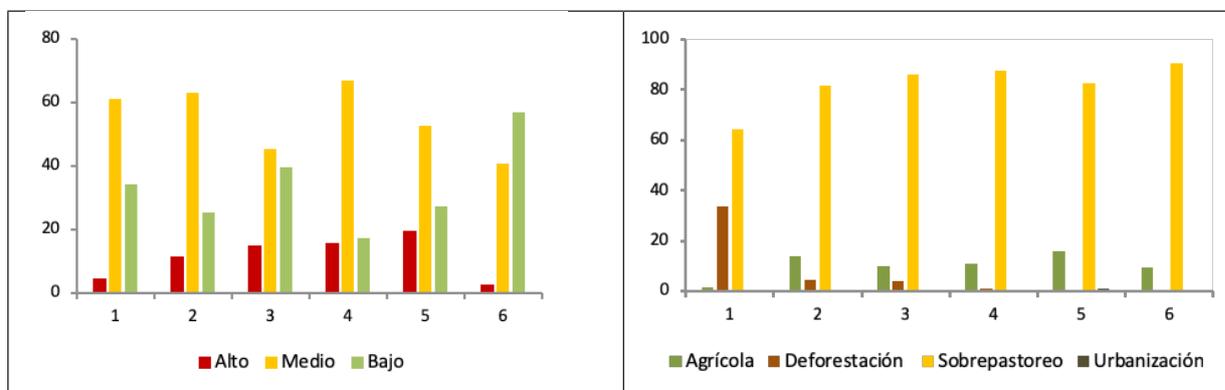


En las áreas más bajas de la cuenca del río Conchos, los suelos más abundantes son los Calcisoles, cuyo material original proviene principalmente de depósitos aluviales, coluviales, e incluso eólicos, ricos en carbonatos de calcio y magnesio. Esta zona, de clima más árido, sustenta una vegetación natural de matorral o arbustiva de carácter xerofítico. No obstante, el aporte de fertilizantes y las prácticas de regadío han proporcionado una alta productividad agrícola, sobre todo en los distritos de riego 05-Delicias (90,589 ha), 090-Bajo Río Bravo (10,773 ha) y 103-Río Florido (8,306 ha) (Rodríguez-Pineda y Barrios-Ordoñez 2014). Por último, cabe señalar la presencia de Leptosoles en la parte del Bajo Conchos, donde las formaciones geológicas de las Sierras de Oriente obligan al río a encajarse en angostos cañones. La escasa evolución de estos suelos, unido a valores muy bajos de precipitación y a la existencia de una vegetación exigua y rala, han originado un paisaje extremadamente árido en dicha zona.

Una adecuada gestión y planificación de las aguas superficiales a nivel de cuenca requiere conocer también la distribución espacial y temporal de los usos del suelo (Gao et al., 2014). Así mismo, la influencia espacio-temporal generada sobre la dinámica erosiva y la producción de sedimentos, nutrientes y/o sustancias contaminantes que pueden afectar a la calidad de las aguas fluviales, especialmente en estas áreas frágiles semiáridas altamente condicionadas por la acción del hombre (Govers et al., 2006; Martínez-Mena et al., 2012; Boix-Fayos et al., 2017).

Dentro de la cuenca del río Conchos existe un claro gradiente altitudinal de la vegetación natural: la extensa cubierta vegetal, con particular desarrollo de la masa forestal boscosa (Gráfico 1b), dominante en las subcuencas altas, es progresivamente reemplazada por formaciones de especies xerofíticas de menor porte y densidad hacia las partes más bajas y desérticas de la cuenca. El análisis espacial de los cambios de usos pone de manifiesto que los procesos de degradación ambiental son generalizados a lo largo de toda la cuenca, con más de un 65% de su superficie parcial o intensamente modificada por el hombre (CONABIO 2016) (Gráfico 2a). La mayor presión antrópica del suelo observada en la parte central de la cuenca (e.g. subcuencas de los ríos Florido, Parral y el Medio Conchos) la convierte en una zona de gran deterioro ambiental. A medida que nos adentramos en las tierras del Bajo Conchos, el grado de alteración es mucho menor, debido a las condiciones áridas reinantes, particularmente extremas en el Desierto Chihuahuense, donde el poblamiento es casi inexistente.

Gráfico 2. Superficie (%) por subcuenca correspondiente al grado de degradación ambiental (a: izquierda) y a las principales causas de degradación ambiental (b: derecha). Códigos del eje horizontal: 1) Alto Conchos, 2) río San Pedro, 3) río Florido, 4) río Parral, 5) Medio Conchos, y 6) Bajo Conchos. Fuente: Elaboración propia, a partir de información extraída de la base de datos del CONABIO (2016).



Las principales causas de degradación ambiental están relacionadas esencialmente con procesos de deforestación, sobrepastoreo, crecimiento urbano y actividades agropecuarias, que tienen desigual grado de presencia e impacto en las diferentes áreas (Gráfico 2b). Las tierras altas occidentales del Conchos han estado sometidas desde hace tiempo a una intensa deforestación, que abarca más del 35% de la superficie total de la cuenca, y ha supuesto una de las extracciones forestales más importantes de todo el país, representando el 24% de la producción nacional. El uso abusivo de estos recursos puede llegar a comprometer la viabilidad del sector y afectar de manera irreversible a este ecosistema, en el que más de 142,000 ha han perdido por completo su capa superficial de suelo fértil. A ello hay que añadir los efectos de los incendios de los últimos 25 años, que han devastado más de 382,000 ha (López, 2014). Por su parte, el sobrepastoreo se ha convertido en una práctica muy extendida a lo largo de toda la cuenca, con especial incidencia en la parte central. La excesiva carga ganadera del Estado de Chihuahua ha provocado una alteración de los ciclos biogeoquímicos y la pérdida de vegetación de hasta 80% en algunas zonas del Estado (Melgoza Castillo, 2014), que constituyen una fuerte amenaza para la biodiversidad.

Los cultivos agrícolas se localizan en los valles más fértiles, y a pesar de contar con un escaso 10% de la superficie total de la cuenca, generan procesos de degradación intensos relacionados con el déficit de tecnificación de las explotaciones agrarias y la sobreexplotación de los recursos hídricos subterráneos. Según datos de la Junta Central de Agua y Saneamiento del Estado de Chihuahua (JCAS, 2005), un 62% del agua que se utiliza en el Estado es extraída del subsuelo, siendo el 89% de ésta destinada a uso agrícola. Tal circunstancia y la cada vez mayor escasez de precipitaciones por los efectos del cambio climático (Austria y Gómez, 2007; Raynal y Rodríguez-Pineda, 2008; Sánchez-Cohen et al., 2008; Caballero et al., 2010) impide la recarga natural de dichos acuíferos, provocando efectos nocivos para el entorno. Estas acciones repercuten de manera directa sobre el sector agrícola, debido al descenso de los niveles piezométricos y el consecuente encarecimiento de los costes de extracción, y sobre todo, al deterioro de la calidad del agua y a la salinización de los suelos (Esteller y Diaz-Delgado, 2002, Salas-Plata Mendoza 2006), que terminan poniendo en riesgo la productividad de las explotaciones. Un estudio del comportamiento hidráulico del acuífero Meoqui-Delicias realizado por CONAGUA (2015) para el periodo 1996-2005 proporciona registros medios que oscilan entre los 20 y 60 m de profundidad, con descensos en los casos más extremos de 1.5 m al año.

Por último, cabe destacar la importancia que está teniendo el desarrollo urbano en las cuencas del río Parral y el Medio Conchos, asociado a un fuerte crecimiento demográfico (de 1960 a 2015 se ha triplicado la población), como factor de degradación ambiental en esta zona (INEGI, 2015). El mayor impacto se debe a las aglomeraciones urbanas de las áreas Hidalgo del Parral, Jiménez, Camargo, Delicias o Chihuahua, esta última con más de 800,000 habitantes, donde la gestión en el abastecimiento y distribución de los recursos hídricos urbanos afectan de forma directa a la salud pública. El incremento del suministro del agua y, por tanto, del empleo de aguas residuales (Pedrero et al., 2016) no queda reflejado en las mismas inversiones e infraestructuras. La utilización habitual de estas aguas residuales para el riego cierra el ciclo de contaminación con el retorno a la cadena alimentaria urbana de los productos agrícolas regados con ellas (Raschid-Sally y Jayakody, 2008; Van Rooijen et al., 2010). Dicho riesgo aumenta considerablemente cuando la contaminación química de las aguas es producida por aportes industriales que no han sido correctamente tratados (Amado et al., 2016).

El análisis físico-químico de los suelos ribereños muestra resultados con distinto grado de variación a lo largo del cauce (Cuadro 2). La densidad aparente no varía de manera significativa (DA entre 1.25 y 1.75 g cm⁻³) (Gráfico 3a), aunque registra cierto incremento en dirección aguas abajo. Respecto a los niveles de pH, la mayoría de los lugares de muestreo presentaron una naturaleza alcalina, con valores medios de pH próximos a 8. Estos valores tienden a aumentar también hacia las áreas de valle, siendo los suelos de cabecera, principalmente Cambisoles y Feozems, los que poseen los mayores contenidos en materia orgánica y niveles de acidificación por su procedencia de rocas graníticas ricas en sílice, tan predominantes en la Sierra Madre Occidental (Ferrari et al., 2005). El ejemplo más claro lo constituye el suelo del muestreo 4 (Río Sta. Isabel, a su paso por General Trías), donde su alta acidez (pH = 5.6) (Gráfico 3b) ha hecho necesaria la aplicación de enmiendas de cal para equilibrar el pH (Flores-Margéz et al., 2007). Dicha práctica resulta, de hecho, habitual en los suelos agrícolas más ácidos de la zona alta de la cuenca. En contraste, los valores más altos de pH se registraron en los suelos de los municipios de Aldama y Ojinaga, situados en las tierras más bajas.

La CE promedio en los suelos fue de 0.21 mScm⁻¹, presentando valores con porcentajes muy bajos en sales, solo en Jiménez y Ojinaga con 0.7 y 0.5 mScm⁻¹, respectivamente, mostraban registros ligeramente más elevados (Gráfico 4a). En relación al contenido de materia orgánica, se observó que la mayoría de los suelos analizados ofrecen valores bajos con un promedio de 1.44% (Gráfico 4b). Los suelos con menor concentración se localizaron en los muestreos correspondientes a los municipios de Aldama y Ojinaga, donde el agua alcanza una mayor CE, relacionándose las tierras más áridas a la menor existencia de materia orgánica.

La evaluación espacial de los usos del suelo es fundamental para el conocimiento del manejo del agua (Gao et al., 2014), así como las dinámicas erosivas del terreno en respuesta a los cambios del suelo inducidos por el hombre en estas áreas semiáridas (Govers et al., 2006; Martínez-Mena et al., 2012; Boix-Fayos et al., 2017). Los valores que ofrece nuestro análisis, muestra la presencia importante de coberturas de vegetación natural (Gráfico 1a), observándose una mayor existencia de masas forestales boscosas en las subcuencas altas del río Conchos, que de manera gradual van siendo reemplazadas por especies xerofíticas de menor espesor conforme se avanza hacia las partes más bajas y desérticas de la cuenca. Los usos antrópicos del suelo tienen mayor representación en la parte intermedia, en especial en las subcuencas de los ríos Parral y Florido, donde la agricultura y la expansión urbana alcanzan porcentualmente las tasas más importantes de ocupación. En general, estos suelos de ribera son poco salinos (CE media de 0.21 mScm⁻¹), y en la mayoría

de los casos también resulta bajo el contenido de materia orgánica (valor medio de MO = 1.44%), especialmente en los suelos de los municipios de Aldama y Ojinaga caracterizados por una mayor aridez y valores más altos de CE.

Cuadro 2. Parámetros físicos y químicos de las muestras de suelo en los puntos de muestreo distribuidos en la cuenca de río Conchos. ID – código identificador de la ubicación espacial del muestreo (Cuadro 1). Fuente: Elaboración propia.

ID	Altitud (m)	Densidad aparente (g cm ⁻³)	pH	Conductividad eléctrica (mScm ⁻¹)	Materia orgánica (%)	Sedimentos (K gs ⁻¹)	Caudal (m ³ s ⁻¹)
1	2239	1.2	6.3	0.19	2.7	0	-
2	2238	1.4	7.6	0.12	2.2	0	24
3	1724	1.6	7.8	0.21	0.6	0	55
4	1609	1.35	5.6	0.08	1.4	0	12
7	1413	1.4	8.5	0.12	1.6	0	32
8	1392	1.3	8.4	0.17	1.4	285	130
9	1391	1.6	7.5	0.09	2.1	140	140
10	1373	1.64	7.8	0.7	0.7	0	25
11	1335	1.4	8.5	0.12	1.6	0	12
12	1335	1.63	7.6	0.11	2.1	45	290
14	1311	1.44	8.5	0.15	1	0	-
15	1255	1.44	8.5	0.15	1	0	-
16	1251	1.52	8.1	0.2	2.3	0	-
17	1227	1.47	7.6	0.3	2.4	10	-
18	1220	1.58	8.1	0.26	1.1	0	65
19	1218	1.58	8.1	0.26	1.1	0	28
21	1175	1.72	8.5	0.12	1.3	5	50
22	1124	1.54	8.2	0.15	1.6	0	20
23	1106	1.42	8.4	0.21	1	6	160
24	1032	1.69	8.6	0.12	0.4	0	-
25	970	1.71	8.2	0.22	0.2	0	55
26	789	1.72	8.5	0.12	1.1	8	110
27	785	1.79	8.3	0.32	1	48	207
28	782	1.76	8.1	0.5	1.1	50	210

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3. Muestreos de los suelos en la cuenca del río Conchos. a) izquierda: Densidad aparente (g cm⁻³). b) derecha: Potencial Hidrógeno (pH). Códigos del eje horizontal: Puntos de muestreo distribuidos en la cuenca de río Conchos (Cuadro 1), ordenados por gradiente altitudinal (1: mayor altitud; 28: menor altitud). En trazo discontinuo, se muestra la línea de tendencia. Fuente: Elaboración propia.

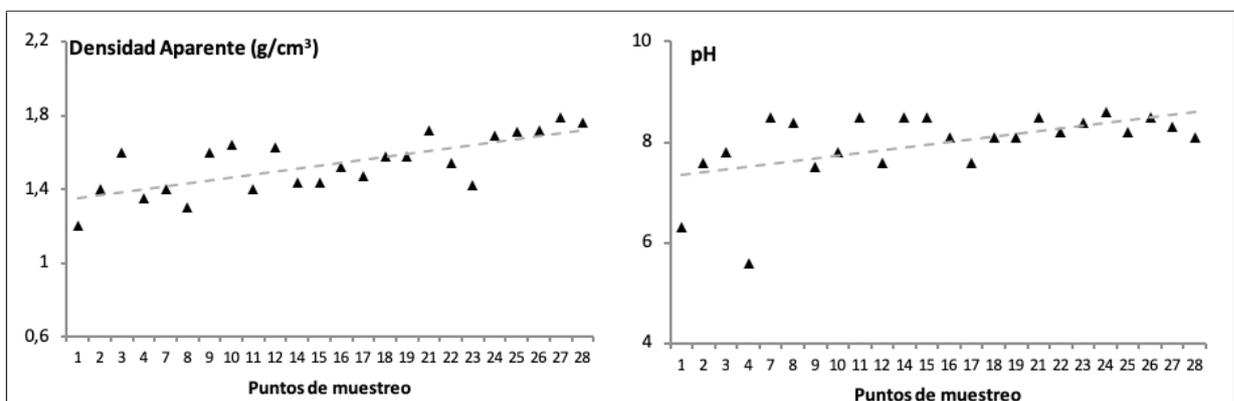
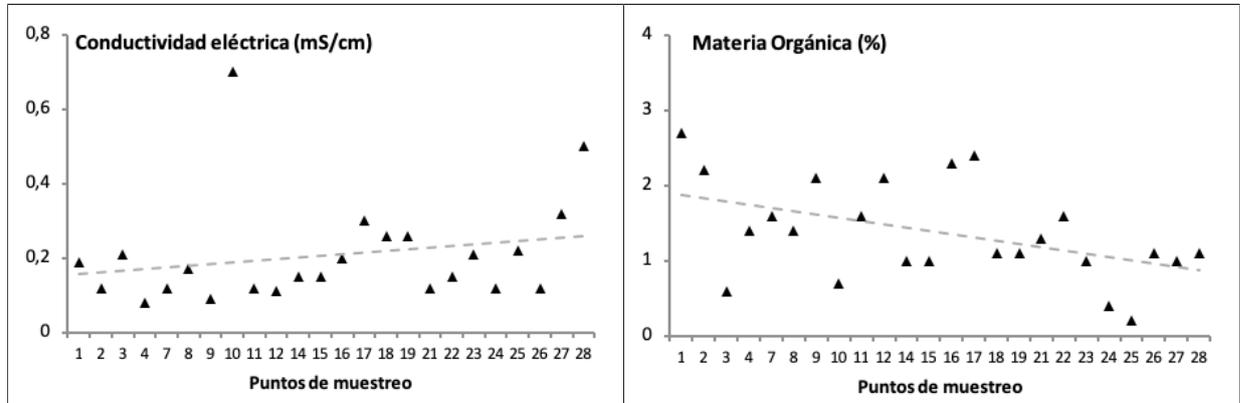


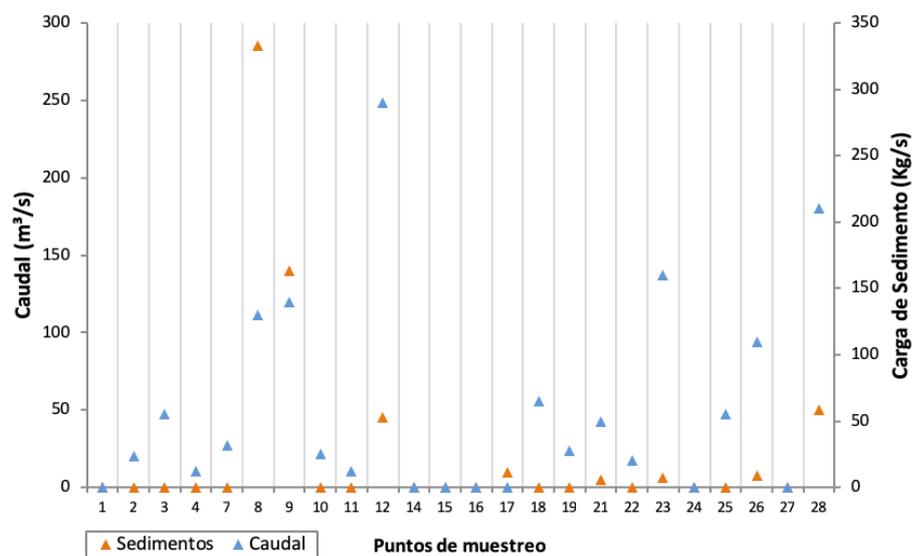
Gráfico 4. Muestréos de los suelos en la cuenca del río Conchos. a) izquierda: Conductividad eléctrica (mScm^{-1}). b) derecha: Contenido de materia orgánica (%). Códigos del eje horizontal: Puntos de muestreo distribuidos en la cuenca de río Conchos (Cuadro 1), ordenados por gradiente altitudinal (1: mayor altitud; 28: menor altitud). En trazo discontinuo, se muestra la línea de tendencia. Fuente: Elaboración propia.



3.2. Pérdida de suelo y transporte de sedimentos

El transporte de sedimentos se halla estrechamente relacionado con el caudal y con los procesos erosivos a nivel de cauce y de cuenca. La concentración media de sedimentos es de 0.56 Kg m^{-3} , pero ésta puede fluctuar considerablemente dependiendo de la fuente de alimentación y del volumen de flujo. El Gráfico 5 muestra, de hecho, la alta correlación existente entre carga de sedimentos y caudal, pudiéndose apreciar que a los puntos de muestreo localizados en las secciones más caudalosas (muestréos nº 8, 9, 12, 27 y 28) les corresponden las tasas de transporte más elevadas. El caudal medio estimado para el período de análisis en las estaciones de aforo utilizadas fue de $71.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, y la carga media de sedimentos en suspensión de 59.2 Kg s^{-1} , lo que representa una pérdida de 5,115 ton diarias de suelo en toda la cuenca durante la temporada de lluvias, que principalmente se concentran en los meses de julio, agosto y septiembre.

Gráfico 5. Valores de caudal ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) y carga de sedimentos (Kg s^{-1}) en los puntos de muestreo. Códigos del eje horizontal: Puntos de muestreo distribuidos en la cuenca de río Conchos (Cuadro 1), ordenados por gradiente altitudinal (1: mayor altitud; 28: menor altitud). Fuente: Elaboración propia.



El grado de pérdida de suelo no es similar en toda el área de estudio. La cabecera del río Conchos presenta valores de degradación específica relativamente bajos, que se materializan en tasas de transporte muy poco significativas ($0.58 \text{ Kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$), sin duda relacionadas con el control que ejercen las masas forestales sobre los procesos de erosión y de infiltración. Por el contrario, existen tributarios o tramos fluviales, como el río Santa Isabel, a su paso por el municipio de Satevo, donde se han obtenido valores de 285 Kg s^{-1} . Tales registros demuestran que la erosión en estos ambientes semiáridos, en muchos casos acelerada por inapropiados manejos antrópicos, es capaz de provocar graves problemas socioeconómicos como la colmatación de sedimentos de presas y embalses. En estudios recientes se han estimado tasas medias de acumulación de $260 \text{ m}^3 \text{ Km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ en la Presa de la Boquilla y de $47 \text{ m}^3 \text{ Km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ en la Presa Luis L. León, que han supuesto una pérdida de su capacidad útil de almacenamiento de 9.88% y 12.08% respectivamente (Estrada Gutiérrez *et al.*, 2015).

3.3. Evaluación de la calidad del agua

La cuenca del río Conchos abarca una extensa superficie agrícola que demanda grandes cantidades de agua para su puesta en producción, por lo que el nivel de calidad de agua es uno de los problemas más importantes en el desarrollo agroalimentario de esta comarca. Los resultados más relevantes extraídos de los análisis realizados (Cuadro 3) determinan unos valores de oxígeno disuelto (OD) muy bajos, con niveles medios de 4.06 mg L^{-1} . En el caso del río Parral se registraron los valores de mayor contaminación de toda la cuenca (1 mg L^{-1}), con concentraciones de OD muy por debajo del mínimo permisible de 10 mg L^{-1} (NMX-AA-028) de la NMX-AA-003 de Aguas Residuales (DOF, 1997a). Cabe tener en cuenta que el oxígeno disuelto en agua dulce de río no debería bajar del 80% de saturación para poder mantener un cierto nivel de diversidad biótica, con concentraciones de OD que deben permanecer por encima de 5 mg L^{-1} (Ramos *et al.*, 2003).

Otro problema importante detectado en estas aguas, y que ha sido advertido en los cauces a su paso por las ciudades principales como Camargo, Jiménez, Julimes, Delicias y Ojinaga, es el alto grado de concentración de sales, con niveles que llegan a alcanzar los 8 mScm^{-1} (según criterios agronómicos, un agua aceptable no debería exceder de 1 mScm^{-1}). Un claro ejemplo lo constituyen algunos tramos del Bajo Conchos, donde la corriente presenta habitualmente una alta conductividad eléctrica. La salinidad es un factor complejo que está sujeto a numerosas variables, entre ellas la precipitación y la disolución de los materiales geológicos del entorno. En zonas áridas, el aumento del caudal durante una lluvia copiosa o torrencial puede implicar un incremento considerable de la concentración salina en el agua debido a la rápida incorporación de sales precipitadas en las márgenes y en el lecho durante largos periodos de sequía (Miyamoto *et al.*, 1995). Las fuentes potenciales de salinidad en el bajo río Conchos indican que gran parte es de origen natural, y ésta parece variar de una manera cíclica con una ligera tendencia de aumento (Gutiérrez y Carreón-Hernández, 2004).

También son elevados los valores de nitratos (concentraciones máximas de 15.35 mg L^{-1}), que generalmente provienen de los fertilizantes químicos utilizados para la producción agrícola, y fósforo total (concentraciones máximas de 75 mg L^{-1}), derivado de las aguas residuales vertidas al río, aunque éstas hayan pasado por las plantas de tratamiento y depuración. Las tasas de turbidez superan en varios casos los niveles permisibles de 10 unidades nefelométricas de turbidez (NTU) como resultado del arrastre de sedimentos. En concreto, en el tramo muestreado del río Parral,

se añaden a los efectos de la carga sedimentaria los problemas de contaminación por efluentes urbanos, llegando a rebasar las 980 NTU en época de lluvias.

Cuadro 3. Parámetros físicos y químicos de las muestras de agua en los puntos de muestreo distribuidos en la cuenca de río Conchos. ID – código identificador de la ubicación espacial del muestreo (Cuadro 1).

ID	Altitud (m)	Temperatura (°C)	Sólidos Inorgánicos (mg L ⁻¹)	Conductividad eléctrica (mScm ⁻¹)	pH	Nitratos (µg L ⁻¹)	Fosforo total (mg L ⁻¹)	Turbidez (NTU)	Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)	Coliformes (NMP/100ml)
2	2238	10	750	0.30	8.1	4800	5	200	7.2	17.52
3	1724	23	920	2.65	7.9	9460	25	980	1	24.00
5	1517	24	750	1.25	7.5	2970	8	230	7.3	12.91
6	1516	23	660	0.38	7.4	2130	2	80	7.8	7.36
10	1373	24	830	3.23	7.6	6950	10	250	7.2	15.35
12	1335	18	610	0.50	8	8120	1	10	8.1	10.25
13	1330	25	1259	2.80	7.3	15350	32	125	6.3	12.35
14	1311	23	795	0.98	8	5100	1	12	6.9	9.93
15	1255	24	780	1.00	7.8	7000	1	13	9.1	11.56
17	1227	23	750	3.45	7.7	4350	5	16	7.1	8.59
18	1220	25	778	1.50	7.7	7080	8	18	10.2	16.99
19	1218	22	770	1.00	7.9	3100	2	25	9.2	9.98
20	1185	24	760	4.36	7.3	8730	12	25	6.9	8.75
22	1124	24	890	1.80	7.3	9285	8	16	6.8	15.92
23	1106	29	790	3.10	7.5	3970	8	17	8.2	9.99
24	1032	24	1200	3.60	6.8	12228	49	300	6.7	12.02
25	970	25	490	3.99	6.9	10050	30	280	8	24.93
26	789	28	580	8.00	7	19995	33	285	6.3	20.02
27	785	26	120	4.00	7	19995	73	285	6.3	20.02
28	782	30	700	8.10	7.1	10020	75	300	5.2	22.01

Respecto a los análisis bacteriológicos, se han encontrado restos de bacterias coliformes en todas las muestras, incumpliendo la norma establecida NOM-127-SSAI-1994 (DOF, 1997^a), y a pesar de ello, estas aguas se siguen utilizando de forma habitual para el regadío de terrenos agrícolas. En este caso, los valores más elevados (> 24g L⁻¹) corresponden a los muestreos realizados en el río Parral y en la zona Baja del Conchos, sobretudo en la confluencia con el río Bravo en Ojinaga.

3.4. Efectos de la degradación ambiental en la pérdida de calidad de los recursos hídricos

Para determinar el efecto y el grado de incidencia provocada por la degradación ambiental en la calidad de los recursos hídricos de la cuenca del río Conchos, se ha llevado a cabo un estudio de correlación paramétrica bilateral entre las variables empleadas en los diferentes análisis físico-químicos de los muestreos de suelo y agua (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de correlación paramétrica bilateral de las variables físico-químicas de los muestreos de suelo y agua.

	Alt	Tem	SI	CE	pH	Nit	Fos	Turb	OD	Coli	DA-S	pH-S	CE-S	MO-S
Altitud	1	-0.82**	.35	-0.63**	.74**	-0.55*	-0.54*	.19	-.15	-.07	-0.64**	-0.56*	-.15	.33
Temperatura del agua	-0.82**	1	-.11	.68**	-0.62**	.37	.47	.06	-.08	.18	.44	.59*	.33	-0.54*
Sólidos Inorgánicos	.35	-.11	1	-.23	.19	-.48	-.34	.07	-.10	-.34	-.39	.05	-.11	-.09
Conductividad Eléctrica	-0.63**	.68**	-.23	1	-0.73**	.62*	.73**	.33	-.36	.50*	.66**	.27	.34	-.29
pH	.74**	-0.62**	.19	-0.73**	1	-0.71**	-0.76**	-.17	.11	-.44	-0.72**	-0.53*	-.12	.50*
Nitratos	-0.55*	.37	-.48	.62*	-0.71**	1	.72**	.37	-.33	.54*	.76**	.38	-.06	-.29
Fosforo Total	-0.54*	.47	-.34	.73**	-0.76**	.72**	1	.45	-.43	.58*	.80**	.29	.27	-.39
Turbidez	.19	.06	.07	.33	-.17	.37	.45	1	-0.87**	.70**	.40	-.13	.12	-.44
Oxígeno Disuelto	-.15	-.08	-.10	-.36	.11	-.33	-.43	-0.87**	1	-0.51*	-.27	.16	-.08	.17
Coliformes	-.07	.18	-.34	.50*	-.44	.54*	.58*	.70**	-0.51*	1	.59*	-.03	.18	-.41
Densidad Aparente (suelo)	-0.64**	.44	-.39	.66**	-0.72**	.76**	.80**	.40	-.27	.59*	1	.14	.33	-.44
pH (suelo)	-0.56*	.59*	.05	.27	-.53*	.38	.29	-.13	.16	-.03	.14	1	-.27	-0.61*
Conductividad Eléctrica (suelo)	-.15	.33	-.11	.34	-.12	-.06	.27	.12	-.08	.18	.33	-.27	1	-.19
Materia Orgánica (suelo)	.33	-0.54*	-.09	-.29	.50*	-.29	-.39	-.44	.17	-.41	-.44	-0.61*	-.19	1

** . La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral). * . La correlación es significativa en el nivel 0.05 (bilateral).

De estos resultados se infiere, en primer lugar, que existe una estrecha relación de la altitud con la mayoría de las variables, motivada por la configuración geomorfológica de la cuenca y la influencia altitudinal en el resto de condiciones ambientales (régimen de precipitaciones, distribución espacial de la vegetación, tipos de rocas y suelos, localización de zonas de regadío y núcleos urbanos, ...). Un claro ejemplo de ello es la relación que mantiene la CE del agua con la altitud (-0.63^{**}), hecho que se explica por la mayor concentración de sales registrada aguas abajo como consecuencia de los terrenos áridos y erosionables que atraviesa el río en su tramo inferior. También existe una cierta relación entre los valores de pH y la altitud. (-0.56^*). De hecho, los suelos más ácidos se localizan en los terrenos graníticos de cabecera y los más alcalinos en los valles agrícolas de las zonas medias y bajas de la cuenca. No obstante, no deja de ser llamativo, e incluso contraproducente, que, a pesar de sus altas concentraciones de carbonatos y bicarbonatos de potasio, calcio, magnesio y sodio, los suelos de estos valles sigan teniendo un uso agrícola tradicional (Valdez-Aguilar et al., 2009, Cicchelli et al., 2016).

Las mayores tasas de fósforos y de nitratos disueltos en el agua se dan en los tramos fluviales de los valles agrícolas más importantes, asociadas a la utilización de fertilizantes y pesticidas, y a los efluentes de los grandes núcleos urbanos ubicados junto a estas zonas agrícolas. La relación estadística de los valores de fósforo total y nitratos con la densidad aparente del suelo (0.80^{**} y 0.76^{**} , respectivamente) se debe a la instalación de buena parte de las tierras de labor sobre Calcisoles, suelos con estructura compacta y escasa porosidad. Las mayores concentraciones de fósforo to-

tal, con niveles que exceden los 5 mg L⁻¹ permitidos, se registran en el río Bravo a su paso por la ciudad de Ojinaga (Chihuahua), donde llega a alcanzar valores de 73 mg L⁻¹. El control del contenido de estas sustancias en el agua es muy importante, puesto que el exceso de fósforo y otros elementos químicos como el nitrógeno, sodio y potasio, desencadenan procesos de eutrofización (Lewis et al., 2011) y salinización, pudiendo provocar efectos nocivos para la salud humana si se infiltra y alcanza las reservas de agua subterránea (Jones, 2006).

La turbidez, como elemento básico en la calidad del agua, muestra una relación significativa con el contenido de OD (-0.87**) y la presencia de bacterias coliformes (0.70**). En muchos casos, se han observado altas concentraciones de coliformes totales y cantidades de OD por debajo del límite mínimo permitido, que favorecen la descomposición de la materia orgánica por la falta de procesos de oxidación. Las actividades ganaderas y el deficiente tratamiento de las aguas residuales urbanas ocasionan graves problemas en ciudades como Chihuahua, Parral, Satevo, Meoqui y Delicias. El caso más preocupante se produce en el río Parral a su paso por la ciudad de Hidalgo del Parral, donde se registraron *in situ* (durante la época de sequía), caudales de aguas residuales no tratadas en torno a 350 L s⁻¹ y concentraciones de oxígeno disuelto del 1.40 % de saturación.

La aplicación del NSF-WQI (Wilkes University, 2006) también ofrece resultados similares (Cuadro 5). Los altos niveles de contaminación ya descritos para las aguas de los ríos Parral y Florido, en la parte meridional de la cuenca, son corroborados por valores medios del NSF-WQI de 36 y 47 % respectivamente. Dicha contaminación se halla, en este caso, más relacionada con el vertido de aguas residuales de origen urbano que con los procedentes del uso de fertilizantes en zonas agrícolas, cuya superficie es muy reducida (apenas el 4% de la superficie total) (INEGI, 2010). El resto de muestreos proporcionan valores de NSF-WQI más elevados, pero tampoco son esperanzadores, ya que en ningún caso superan el 70%, considerado umbral mínimo indicativo de una buena calidad del agua.

Cuadro 5. Índice de calidad del agua (NSF-WQI) para los muestreos en la cuenca del río Conchos. Niveles inferiores a 50 %: Mala calidad; Niveles entre 50 y 70 %: Calidad media; Niveles superiores a 70 %: Calidad buena.

ID	Localidad	NSF-WQI (%)	Calidad	ID	Localidad	NSF-WQI (%)	Calidad
2	Bocoyna	61	Media	18	Río Florido, Camargo	51	Media
3	Río Parral, Parral	36	Mala	19	Río Conchos, Camargo	55	Media
5	Río Florido, Villa Coronado	65	Media	20	Río Conchos, Saucillo	52	Media
6	Canal Presa Pico Águila	61	Media	22	Río Conchos, Meoqui	55	Media
10	Río Florido, Jiménez	47	Mala	23	Río Conchos, Julimes	56	Media
12	Río Conchos, Valle de Z.	54	Media	24	Presa El Granero	58	Media
13	Río Chuisicar, Chihuahua	53	Media	25	Río Conchos, Maclovio H.	61	Media
14	Presa La Boquilla	65	Media	26	Río Conchos, Ojinaga	58	Media
15	Lago Colina	54	Media	27	Río Bravo	50	Media
17	Río Florido	64	Media	28	Río Bravo, Ojinaga	53	Media

4. Conclusiones

Los medios semiáridos son espacios muy sensibles y vulnerables a las variaciones provocadas por los cambios ambientales. La escasa disponibilidad de agua en estos medios la convierten en un bien muypreciado, de modo que su contaminación, en caso de producirse, puede hacer aún más restrictivo su aprovechamiento, especialmente para consumo humano. El uso de herramientas de diagnóstico eficientes como el NSF-WQI garantiza una evaluación integral de la calidad del agua, que resulta de gran utilidad en la toma de decisiones para la gestión y control del riesgo sanitario.

Los resultados muestran un deterioro físico y químico de los suelos de la cuenca del río Conchos, caracterizados en muchos casos por elevados valores de pH y densidad aparente, y contenidos muy bajos en materia orgánica. Las causas principales de la degradación del suelo son diferentes, dependiendo de las condiciones ambientales de cada zona de la cuenca. Según datos del CONABIO, los procesos de deforestación han tenido una mayor influencia en la parte de cabecera, con un 33.9% de su superficie afectada por la pérdida de cobertura forestal. En la cuenca media, la degradación ambiental se debe principalmente al efecto de las actividades agrícolas y ganaderas, que ocupan más del 13 % de su superficie. En cambio, en la parte baja de la cuenca se constata una clara aceleración de los procesos de desertificación, sobre todo como consecuencia de las prácticas ganaderas y el sobrepastoreo, que, en mayor o menor medida, afectan a un 90% de la superficie del Bajo Conchos.

El análisis físico-químico del agua realizado a lo largo del curso muestra altas tasas de turbidez en los tramos superior e inferior. Dichas tasas están relacionadas con una elevada carga de sedimentos en suspensión provocada por efecto de la deforestación en la cuenca alta y por la presencia de suelos erosionables desnudos de vegetación en la zona media y baja. La producción de sedimentos en ambas zonas genera altas tasas de degradación específica y de erosión, que implican importantes aportes de sedimentos al curso de agua. El río recibe el mayor volumen de sedimentos en la región semiárida del Estado, registrando aquí las tasas más elevadas de transporte de sólidos disueltos y en suspensión (arenas, limos y arcillas). Conocer, por tanto, las causas de los procesos responsables de dicho incremento de la erosión del suelo en estos medios, resulta necesario para una mejor planificación territorial y la adopción de medidas de restauración y conservación de suelos a nivel de cuenca.

Por su parte, el deterioro de las aguas superficiales tiene como principal factor responsable el crecimiento de la superficie urbana, la densidad poblacional y la gestión del uso urbano e industrial del agua. Las principales fuentes de contaminación, en este caso, proceden de los vertidos de aguas residuales municipales y desechos industriales. La información manejada en el presente estudio evidencia la necesidad de mejorar los sistemas de saneamiento hídrico, y de establecer un suministro adecuado, ya que los principales recursos hídricos disponibles muestran niveles de contaminación, a veces bastantes significativos, asociados a las actividades agrícola e industrial, y al desarrollo urbano experimentado por las ciudades más importantes. Se hace por tanto necesaria la elaboración de un plan integral de gestión para la sostenibilidad de estos recursos naturales, de lo contrario el impacto de los procesos de degradación del agua y suelo aumentará de forma considerable, provocando altos costes económicos y ambientales.

5. Referencias bibliográficas

- Aboites-Aguilar, L. (2002). *Hacia una historia del río Conchos*. CIESAS, Cd. Juárez, Chihuahua.
- Alba-Tercedor, J. y Sánchez-Ortega, A. (1988). «Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellowell 1978». *Limnética*, 4, 51-56.
- Amado, J.P., Panta, E.R., Reyes, F.G., Cabañero, J.J., Acosta, E.H., Ayala, C.R., Sáenz, E.M., Salcedo, F.P., Nicolás, E.N., Sosa, E.S. (2006). «Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo Estado de México. Diagnóstico y predicción». *Pyton*, 75, 71-83.
- Amado, J.P., Pérez Cutillas, P. Ramírez Valle, O y Alarcón Cabañero, J.J. (2016). «Degradación de los recursos hídricos en un ambiente semiárido. Las lagunas de Bustillos y de los Mexicanos (Chihuahua, México)». *Papeles de Geografía*, 62, 107-118.
- Austria, P.F. M. y Gómez, C.P. (2007). *Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México*. IMTA.
- Brand, U., Görg, C., Hirsch, J. y Wissen, M. (2008). *Conflicts in environmental regulation and the internationalisation of the state: contested terrains*. Routledge. Science.
- Brauch, H.G., Oswald, S., Grin, C., Mesjasz, P., Dunay, N., Behera Ch., B., Chourou, P., Liotta, P. y Kameri M. (2008). «Globalisation and Environmental Challenges: Reconceptualising Security in the 21st Century», Hexagon Series on *Human and Environmental Security and Peace*, Vol. 3, Springer-Verlag, Berlin, Alemania.
- Becerra Pérez, M., Sainz Santamaría, J. y Muñoz Piña, C. (2006). «Los conflictos por agua en México. Diagnóstico y análisis». *Gestión y Política Pública*, 16, 111-143.
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W. y Courchamp, F. (2012). «Impacts of climate change on the future of biodiversity». *Ecology Letters*, 15, 365-377.
- Boix-Fayos, C., Martínez-Mena, M., Pérez-Cutillas, P. de Vente, J., Barberá, G.G., Mosch, W., Navarro Cano, J.A., Gaspar, L. y Navas, A. (2017). «Carbon redistribution by erosion processes in an intensively disturbed catchment». *Catena* 149, 799-809.
- Caballero, M., Lozano-García, S., Vázquez-Selem, L. y Ortega, B. (2010). «Evidencias de cambio climático y ambiental en registros glaciales y en cuencas lacustres del centro de México durante el último máximo glacial». *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 62, 359-377.
- Cabrero Mendoza, E., Orihuela Jurado, I. (2012). «Índice de competitividad de las Ciudades de México versión 2011». En *Retos de la competitividad Urbana*. Ed. Enrique Cabrero Mendoza. CIDE, México. 372 pp.
- Carreón H.E., Pinedo, A. y Lafón, T. (2001). «Aplicación de tecnología geoespacial en el estudio de cuencas: caso río Conchos». *XI Congreso Nacional de Irrigación*. Simposio 5. Manejo Integral de Cuencas. Guanajuato, Gto, México. Pp. 10-15.
- Carbajal-López, Y., Gómez-Arroyo, S., Villalobos-Pietrini, R., Calderón-Segura, M.E. y Martínez-Arroyo, A. (2016). «Biomonitoring of agricultural workers exposed to pesticide mixtures in Guerrero state, Mexico, with comet assay and micronucleus test». *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 2513-2520.
- Cicchelli, F.D.F., Wehr, J.B., Dalzell, S.A., Li, C., Menzies, N.W. y Kopittke, P.M. (2016). «Overhead-irrigation with saline and alkaline water: Deleterious effects on foliage of Rhodes grass and leucaena». *Agricultural Water Management*, 169, 173-182.
- CILA. (1944). Tratado entre el gobierno de los Estados Unidos Mexicanos y el gobierno de los Estados Unidos de América de la distribución de las aguas internacionales de los ríos Colorado, Tijuana y Bravo, desde Fort Quitman, Texas, hasta el Golfo de México. Comisión Internacional de Límites y Aguas Entre México y los Estados Unidos Sección Mexicana, 28 p. Disponible en <http://www.sre.gov.mx/cila/>. [consulta: abril de 2017].
- CONABIO. (2016). Web visitada: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>. Comisión intersecretarial del Gobierno de México. [consulta: mayo de 2017].
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2009). Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento. Edición México, SEMARNAT, 167p.
- Comisión Nacional Del Agua (CONAGUA). (2010). Subregiones Hidrológicas Escala 1:250,000 República Mexicana México, D.F. Web: <http://siga.cna.gob.mx/metadatos/Metadatos/Proyecto%20de%20huracanes/Subregiones%20Hidrológicas.htm> [consulta: Marzo de 2016].
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2014). Estadísticas del Agua en México. En web: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2014.pdf>. [consulta: Marzo de 2016].

- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2015). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Meoqui-Delicias (0831). Estado de Chihuahua. DOF, 20 de abril de 2015.
- Cotruvo, J.A. (2017). «Who guidelines for drinking water quality: first addendum to the fourth edition». *Journal - American Water Works Association*, 109(7), 44-51
- DOF. Diario Oficial de la Federación 1997a. NOM-001-ECO-1997. México. 6 de enero de 1997.
- DOF. Diario Oficial de la Federación 1997b. NOM-003-ECO-1997. México. 6 de enero de 1997.
- DOF. Diario Oficial de la Federación 2006. NOM-001-SEMARNAT-2006. México 2006.
- Esteller, M.V. y Díaz-Delgado, C. (2002). «Environmental effects of aquifer overexploitation: A case study in the highlands of Mexico». *Environmental Management*, 29, 266-278.
- Estrada Gutiérrez, G., Silva Hidalgo, H., Villalba, M.L., Astorga Bustillos, F. y Franco Estrada, B. (2015). «Tasa de acumulación de sedimentos en embalses del río Conchos, Chihuahua, México». *1er Congreso Iberoamericano sobre sedimentos y ecología*, Querétaro, Querétaro México.
- Etchevers, B. J., Gómez, J. D., Monterroso A. I. y Tinoco J. A. (2008). *Formulación de indicadores para evaluar y monitorear la desertificación en México*. SEMARNAT-INE-COLPOS-UACH. 151 pp.
- Fernández, B. y Frances, S. (1981). «Un nuevo método para la determinación de densidades aparentes y del coeficiente de extensibilidad lineal (COLE), por medio de la parafina [en suelos]». *Anales de Edafología y Agrobiología*, 40, 721-725.
- Ferrari, L., Valencia-Moreno, M. y Scott. B. (2005). «Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución de la margen occidental de Norteamérica». *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 3, 343-378.
- Flores-Márquez, J. P., Corral-Díaz, B. y Sapien-Mediano, G. (2007). «Mineralización de nitrógeno de biosólidos estabilizados con cal en suelos agrícolas». *Terra latinoamericana*, 25, 409-417.
- Ganjegunte, G., Ulery, A., Niu, G., Wu, Y. (2017). «Effects of treated municipal wastewater irrigation on soil properties, switchgrass biomass production and quality under arid climate». *Industrial Crops and Products* 99, 60-69.
- Gao, X., Wu, P., Zhao, X., Wang, J. y Shi, Y. (2014). «Effects of land use on soil moisture variations in a semi-arid catchment: Implications for land and agricultural water management». *Land Degradation and Development*, 25, 163-172.
- Govers, G., Van Oost, K. y Poesen, J. (2006). «Responses of a semi-arid landscape to human disturbance: A simulation study of the interaction between rock fragment cover, soil erosion and land use change». *Geoderma*, 133, 19-31.
- Gutiérrez, M. y Carreón-Hernández, E. (2004). «Salinidad en el bajo Río Conchos: aportes y tendencias». *Terra Latinoamericana*, 22, 499-506.
- Hanjra, M.A. y Qureshi, M.E. (2010). «Global water crisis and future food security in an era of climate change». *Food Policy*, 35, 365-377.
- Held, D. y McGrew, A. (2007). *Globalization Theory: approaches and controversies*, Polity Press, Cambridge.
- INEGI, X.I.I. (2015). Censo General de población y Vivienda. Página Web: <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/estructura/>. [consulta: Mayo de 2017].
- JCAS (2005). Anuario meteorológico, Chihuahua, Junta Central de Agua y Saneamiento del Estado de Chihuahua.
- Jiménez González, G. (2002). *Uso agrícola del agua en la Cuenca del Río Conchos. Redescubriendo la Cuenca del Río Conchos*. Texas Center for Policy Studies,
- Jones P.D. (2006). «Water quality and fisheries in the Mersey estuary, England: A historical perspective». *Marine Pollution Bulletin*, 53, 144-154.
- Jury, W.A. y Vaux Jr., H.J. (2007). «The Emerging Global Water Crisis: Managing Scarcity and Conflict Between Water Users». *Advances in Agronomy*, 95, 1-76.
- López, J.Z. (2014). «Programa de manejo integral de la cuenca del río conchos». Primera edición, DR© *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. Liga Periférico-Insurgentes Sur 4903 Parques del Pedregal, 211 pp.
- Lewis, W.M., Wurtsbaugh, W.A. y Paerl, H.W. (2011). «Rationale for control of anthropogenic nitrogen and phosphorus to reduce eutrophication of inland waters». *Environmental Science and Technology*, 45, 10300-10305.

- Martínez-Mena, M., López, J., Almagro, M., Albaladejo, J., Castillo, V., Ortiz, R. y Boix-Fayos, C. (2012). «Organic carbon enrichment in sediments: Effects of rainfall characteristics under different land uses in a Mediterranean area». *Catena*, 94, 36-42.
- Martínez-Valenzuela, C. y Gómez-Arroyo, S. (2007). «Genotoxic risk in agricultural workers exposed to pesticides». *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 23, 185-200.
- McDonald, R.I., Douglas, I., Revenga, C., Hale, R., Grimm, N., Grönwall, J. Y Fekete, B. (2011). «Global urban growth and the geography of water availability, quality, and delivery». *Ambio*, 40, 437-446.
- Melgoza Castillo, A., Royo, M. y Ortega Ochoa, C. (2014). «Sobrepastoreo», en: *La biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado*. CONABIO. México, 228-230.
- Miyamoto, S., Fenn, L.B. y Swetlik, D. (1995). *Flow of salts and trace elements in the Rio Grande System*. Texas Agriculture Experimental Station-Texas Water Resources Institute. College Station, TX.
- Nicolás, E., Alarcón, J.J., Mounzer, O., Pedrero, F., Nortés, P.A., Alcobendas, R., Romero-Trigueros, C., Bayona, J.M. y Maestre-Valero, J.F. (2016). «Long-term physiological and agronomic responses of mandarin trees to irrigation with saline reclaimed water». *Agricultural Water Management*, 166, 1-8.
- Noorbakhsh, J., Seyedmahalleh, E.S., Darvishi, G., Kootenaee, F.G., Mehrdadi, N. (2014). «An Evaluation of Water Quality From Siahrod River, Haraz River and Babolrood River by NSFQI Index». *Curr World Environ*, 9(1): 1-8.
- Palacios V., E. y Escobar Villagrán, B.S. (2010). *El problema del agua en el municipio de Texcoco*. 1ª ed., Edit. Comité de Acción para el Saneamiento del Ambiente A. C. C. P. Montecillo, Estado de México. 177 pp.
- Pedrero, F., Alarcón, J.J., Abellán, M. y Pérez-Cutillas, P. (2016). «Optimization of the use of reclaimed water through groundwater recharge, using a Geographic Information System». *Desalination and Water Treatment*, 57, 4864-4877.
- Pérez-Espejo, R., Aguilar Ibarra, A. y Escobedo-Sagaz, J.L. (2011). «Agriculture and Water Pollution: Farmers Perceptions in Central Mexico». *Water Resources Development*, 27, 263-273.
- Ramos, O.R., Sepúlveda, M.R. y Villalobos, M.F. (2003). *Agua en el medio ambiente. Muestreo y análisis*. Universidad Autónoma de Baja California. Ed. Plaza y Valdés, México.
- Ramos, M.A.G., Bueno de Oliveira, E.S., Pião, A.C.S., Nalin de Oliveira Leite, D.A. y de Franceschi de Angelis, D. (2016). «Water Quality Index (WQI) of Jaguari and Atibaia Rivers in the region of Paulínia, São Paulo, Brazil». *Environmental Monitoring and Assessment*, 188, 1-14.
- Raschid-Sally, L. y Jayakody, P. (2008). «Drivers and characteristics of wastewater agriculture in developing countries. Results from a global assessment». Colombo, *Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. International Water Management Institute.
- Raynal, J.A. y Rodríguez-Pineda, J.A. (2008). «Posibles escenarios del impacto del cambio climático en la cuenca del río Conchos, México». *XX Congreso Nacional de Hidráulica*, Toluca, Estado de México, México.
- Rodríguez-Pineda, J.A. y Barrios Ordoñez, E. (2014). «Determinación de caudales ecológicos en el río Conchos», en: *La biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado*. CONABIO. México, 213-215.
- Salas-Plata Mendoza, J.A. (2006). «Problemática del Agua y Crecimiento Urbano en Ciudad Juárez, Chihuahua». *CULCyT*, 14 y 15, 5-18.
- Sánchez-Cohen, I., Díaz-Padilla, G., Ojeda-Bustamante, W., Chebhouni, G., Orona-Castillo, I., Villanueva-Díaz, J., González-Barrios, J.L. y González-Cervantes, G. (2008). «Climate variability in Mexico: Some hydrological, social, and economic impacts». *Ingeniería Hidráulica en México*, 23, 5-24.
- Secretaría de Economía. (1996). Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residuales en aguas y bienes nacionales. NOM-001-SEMARNAT-1996. Diario Oficial de la federación. 6 de enero de 1997. México. 15 pp.
- Smith, D.G. (1990). «A better water quality indexing system for streams and rivers». *Water Research*, 24, 1237-1244.
- Smith, G.S. y Sánchez, E. (1992). «Toxicología de hierba loca». *Memorias del X Simposium Internacional sobre ganadería: Las plantas tóxicas de los agostaderos*. Conocimiento manejo y control. CIRNOC-INIFAP-SARH. Publicación especial No 10.p B1-B8.
- Srinivasan, V., Lambin, E.F., Gorelick, S.M., Thompson, B.H. y Rozelle, S. (2012). «The nature and causes of the global water crisis: Syndromes from a meta-analysis of coupled human-water studies». *Water Resources Research*, 48, 1-16.

- Taylor, K.S., Anda, M., Sturman, J., Marthew, K. y Ho, G. (2006). «Subsurface driplinetubing-an experimental design for assessing the effectiveness of using dripline to apply treated wastewater for truf irrigation in Western Australia». *Desalination*, 187,375-385.
- Valdez-Aguilar, L.A., Grieve, C.M. y Poss, J. (2009). «Salinity and alkaline pH in irrigation water affect marigold plants: I. Growth and shoot dry weight partitioning». *HortScience*, 44, 1719-1725.
- Van Rooijen, D. J., Biggs, T. W., Smout, I. y Drechsel, P. (2010). «Urban growth, wastewater production and use in irrigated agriculture: a comparative study of Accra, Addis Ababa and Hyderabad». *Irrigation and Drainage Systems*, 24, 53-64.
- Vorobjeva, N. V., Vorobjeva, L. I., y Khodjaev, E. Y. (2004). T»he bactericidal effects of electrolyzed oxidizing water on bacterial strains involved in hospital infections». *Artificial Organs*, 28, 590-592.
- Vörösmarty, C.J., Green, P., Salisbury, J. y Lammers, R.B. (2000). «Global water resources: Vulnerability from climate change and population growth». *Science*, 289, 284-288.
- Wilkes University. (2006). Calculating NSF Water Quality Index. Center for Environmental Quality. Environmental Engineering and Engineering Department. <http://www.waterresearch.net/waterqualindex/Index.htm>. [consulta: Enero de 2016].