Diagnóstico biofísico y socioecónómico de la microcuenca "Rosa de Castilla", municipio de Copándaro, Michoacán

J. Trinidad Sáenz-Reyes[1], Gerardo Barrera-Camacho[1], Jorge Jiménez-Ochoa[1], H. Jesús Muñoz-Flores[1], Dora Alicia García-García[2*]

[1]*Campo Experimental Uruapan. INIFAP. Av. Latinoamericana No.1110 Col. Revolución C.P. 60150 Uruapan, Michoacán.*
[2]*Campo Experimental Saltillo. INIFAP. Carretera Saltillo-Zacatecas km 8.5 No. 9515 Col. Hacienda de Buenavista Saltillo, C.P. 25315. Coahuila de Zaragoza, México.*

Artículo recibido el 11 de noviembre de 2022 y aceptado el 14 de noviembre de 2022

Biophysical and socioeconomic diagnosis of the "Rosa de Castilla" microwatershed, municipality of Copándaro, Michoacán.

Abstract

The integrated management of watersheds is an effective tool for the sustainable use of natural resources, being characterization the first stage for the management planning of watersheds. This study aimed to carry out the biophysical and socio-economic diagnosis of the "Rosa de Castilla" micro-basin, as the basis for the formulation of its management plan. The study included the assessment of the biophysical (physiographic, hydrographic, land use, land cover, erosion, and degradation), socioeconomic (social infrastructure and productive activities) aspects, and main environmental issues. The results show that the micro-watershed has an extent of 26.83 km^2, a temperate sub-humid climate, and pelic vertisol, lithosol, and feozem soils. The main land uses are irrigated and seasonal agriculture, oak forest, and subtropical shrubland. Birds are the most abundant wildlife. Soil erosion rates ranged from 0.20 ton^{-1} ha^{-1} in grasslands to 177.18 ton^{-1} ha^{-1} in the subtropical shrubland, whereas the gully erosion reached 247,229.2 m^3. Soil degradation is characterized by loss of surface soil and nutrients by hydric erosion, from low to heavy levels, due to deforestation, overuse of intensive crops, and overgrazing. Agriculture and livestock farming are the main economic activities with production from irrigated and seasonal agriculture. This characterization is the basis for elaborating the management plan, which can contribute to the recovery of the productive capacity of soils and increase the life quality of its inhabitants.

Key words: soil degradation, watershed, Cuitzeo basin, environmental characterization.

Resumen

El manejo integrado de cuencas hidrográficas es una forma eficiente para el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, siendo la fase de diagnóstico la primera etapa de la planificación del manejo integrado de cuencas. El objetivo del presente trabajo fue realizar el diagnóstico biofísico y socioeconómico de la microcuenca "Rosa de Castilla", como base de la formulación de su plan de manejo. El estudio consistió en la evaluación biofísica (fisiográfico, hidrográfico, uso actual del suelo, cobertura vegetal, erosión y degradación del suelo), socioeconómica (infraestructura social y actividades productivas) y de las principales problemáticas ambientales. Los resultados indican que la microcuenca tiene un área de 26.83 km^2, con clima templado subhúmedo, suelos vertisol pélico, litosol y feozem. Los principales usos del suelo son agricultura de riego y temporal, bosques de encino y matorral subtropical. Las aves son el grupo más abundante de fauna silvestre. Las tasas de erosión variaron desde 0.20 ton^{-1} ha^{-1} $año^{-1}$ en pastizal hasta 177.18 ton^{-1} ha^{-1} $año^{-1}$ en matorral subtropical, mientras que el volumen de suelo perdido en cárcavas alcanzó 247,229.2 m^3. La degradación se caracteriza por pérdida de suelo superficial y nutrientes por erosión hídrica en grado de ligero

*Autor de correspondência
Email: doragarcia101275@gmail.com
ISSN 2594-0384 (Electrónica)
DOI: https://doi.org.1033154/rlrn.2022.03.01

a fuerte, a consecuencia de la deforestación, sobreexplotación de cultivos intensivos y sobrepastoreo. La agricultura y la ganadería son las principales actividades económicas con producción agrícola bajo riego y temporal. Este diagnóstico es la base para la elaboración del plan de manejo que pueda contribuir en la recuperación de la capacidad productiva de la microcuenca y en el incremento de la calidad de vida de sus habitantes.

Palabras claves: degradación de suelos, cuenca hidrográfica, cuenca Cuitzeo, caracterización ambiental.

Introducción

Una de las formas efectivas del manejo integrado de los recursos naturales es mediante el manejo de cuencas, que como unidad geográfica constituye un ámbito biofísico ideal para la caracterización, diagnóstico, evaluación y planificación del uso de recursos, puesto que es un territorio definido naturalmente donde todos los procesos socioecológicos están íntimamente ligados entre sí. La complejidad del manejo de una cuenca hidrográfica obliga a orientar acciones integrales que a diversas escalas requieren del fomento de procesos colaborativos y de coordinación, que brinda beneficios a la sociedad, originados de una amplia gama de bienes y servicios ecosistémicos a partir del manejo participativo, adaptativo, sistemático y con visión a largo plazo del territorio (Faustino & Jiménez, 2000; SEMARNAT, 2013).

El manejo integrado de los recursos naturales con el enfoque de cuencas hidrográficas es una forma más eficiente para el aprovechamiento sustentable y disminución de la vulnerabilidad ante los efectos meteorológicos de los desastres naturales; es un enfoque complejo, pero es indudablemente efectivo para enfrentar en conjunto los problemas de la población y de los recursos naturales, por lo que es necesario tener un conocimiento básico de las cuencas hidrológicas, como unidad mínima de gestión y que sirva de base a los usuarios del recurso y planificadores, para la utilización óptima, el aprovechamiento, la conservación y el uso de los recursos naturales (Aguirre, 2007; Grajales *et al*., 2008; Ordoñez, 2011; Santillán, 2013).

El diagnóstico en manejo de cuencas hidrográficas constituye la primera etapa de la planificación y es un instrumento básico para lograr un conocimiento de una cuenca y a partir de éste se elabora el plan de manejo, es decir, es un proceso dirigido a determinar el estado actual de la cuenca o microcuenca, considerando su capacidad natural y las tendencias de las intervenciones humanas sobre los recursos naturales y el ambiente (Aguirre, 2007; Faustino & Chaves, 2015).

La microcuenca "Rosa de Castilla" está ubicada en la subcuenca del Lago de Cuitzeo de la Cuenca Lerma–Chapala y Región Hidrológica No. 12 Lerma-Santiago-Pacífico; es una zona de captación de agua en cuerpos de agua y recarga de acuíferos, base de la producción agropecuaria bajo riego y agua para consumo humano. Por lo anterior, se planteó como objetivo realizar el diagnóstico biofísico y socioeconómico de la microcuenca "Rosa de Castilla", como base de la formulación de su plan de manejo.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La microcuenca "Rosa de Castilla" tiene una superficie de 26.83 Km^2 y se ubica en las coordenadas 19º 51' 12" a 19º 54' 25" Latitud Norte y 101º 13' 55" a 101º 17' 49" Longitud Oeste y con altitud mínima de 1,856 m y máxima de 2,358 m, en el municipio de Copándaro y una pequeña porción en los municipios de Morelia, Chucándiro y Tarímbaro, en el estado de Michoacán. En ella se asientan siete localidades, tres en la zona norte (Santa Rita, Palma Alta y Congotzio), y cuatro en la zona sur (Rosa de Castilla, Palo Alto, Las Cruces y El Fresno), todas en el municipio de Copándaro, Mich.

Caracterización morfológica e hidrológica

La caracterización morfológica e hidrológica se realizó en base a índices o coeficientes de acuerdo a las metodologías propuestas por Aguirre (2007) y Becerra (2005), las cuales se describen a continuación:

Perímetro de la cuenca (P). Se determinó mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG) IDRISI v. 32, una vez que se trazaron los límites.

Área de la cuenca (A). Se obtuvo automáticamente a partir de la digitalización y poligonización de las cuencas en el SIG IDRISI v. 32.

Longitud de la cuenca (L). Se midió desde la parte más alta hasta la salida a partir del mapa digitalizado de la red de drenaje.

Intervalo de altitud. Se obtuvo con la diferencia de altitud entre el punto más alto de la cuenca y la

boquilla de la cuenca o el punto más bajo.
Pendiente del cauce. Se determinó entre la distancia vertical (H) y la horizontal (L), en un transecto del terreno o hasta el punto más bajo del cauce. Se calculó con la ecuación:

$$S = (H/L)$$

Donde:
S: Pendiente media del cauce
H: Desnivel entre los puntos más elevado y más alto
L: Longitud del cauce

Tipo de drenaje. En el mapa hidrológico se determinó el tipo de drenaje de la microcuenca individualmente.
Índice de forma. Es la relación entre el área de la cuenca y la longitud axial de la misma desde la salida hasta el límite extremo por medio de una línea recta.
Relación de elongación. Se calculó dividiendo el diámetro de un círculo que tenga la misma área de la cuenca en estudio y la máxima longitud de la cuenca, con la ecuación:
Re = (0.318) (Perímetro de la cuenca) / Longitud axial de la cuenca
Índice de alargamiento. Se le calculó de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$l_a = Lm/m$$

Donde:
l_a: Índice de alargamiento
L_m: Longitud máxima de la cuenca
m: Ancho máximo de la cuenca
Relación de circularidad. Es la relación que existe entre el área de la cuenca y el área de un círculo que tiene el mismo perímetro de la cuenca.
Densidad de drenaje. Se jerarquizan los afluentes para relacionarlos con otros parámetros físicos, los cuales se constituyen como indicadores de la eficiencia de sistemas de drenaje, se tiene:
a). Orden. Este índice se obtiene mediante la agregación de corrientes, considerando una corriente de primer orden a aquella que no tiene afluentes, una de segundo orden aquella donde se reúnen dos corrientes de primer orden, una de tercero donde confluyen dos de segundo orden y así sucesivamente.
b). Densidad de la corriente. Es la cantidad de afluentes naturales de la cuenca. Se contabiliza mediante SIG a través del número de segmentos marcados en el mapa digitalizado.
c). Densidad de drenaje. La densidad de drenaje se calculó dividiendo la longitud total de las corrientes de la cuenca por el área total que las contiene, con la ecuación:

$$Dd = L/A$$

Donde:
Dd: Densidad de drenaje
L: Longitud de las corrientes efímeras, intermitentes y perennes de la cuenca en (Km)
A: Área de la cuenca en (Km^2)

Relación de bifurcación. Se determina con la relación entre el número de corrientes de un orden determinado entre el número de corrientes de orden inmediato superior.

Índice compacidad. La ecuación que permite el cálculo de este coeficiente es:

$$K_c = (0.28)(P/\sqrt{A})$$

Donde:
K_c: Coeficiente de compacidad
P: Perímetro de la cuenca (longitud de la línea de parteaguas)
A: Área de la cuenca

Altura media de la cuenca. Se determinó dividiendo el área comprendida bajo la curva isométrica entre la longitud que representa la superficie de la cuenca.
Coeficiente de masividad. El coeficiente de masividad (Cm), es resultado de la división de la altura de la cuenca en km, entre su superficie proyectada en km^2. Se calculó con la ecuación:

$$Cm = \frac{\text{Altura media de la cuenca (m)}}{\text{Área de la cuenca (km²)}}$$

Coeficiente orográfico. Resultó de la multiplicación del coeficiente de masividad entre la altura media.
Escurrimientos superficiales. Se clasificaron en:
Escurrimiento medio. Se asigna un coeficiente de escurrimiento (C), tal que, multiplicando por el volumen llovido, se obtenga el volumen de escorrentía. El coeficiente de escurrimiento (C) es la relación que existe entre el volumen escurrido y el volumen llovido en una superficie dada (C=Ve/VII), su valor numérico fluctúa entre 0 y 1 y es adimensional.
Escurrimiento máximo. Para su estimación se utilizó el método racional; se expresa de manera general con la ecuación:

$$Qmax = CIA$$

Donde:
$Qmax =$ Gasto máximo instantáneo probable de escurrimiento
$I =$ Intensidad de la lluvia
$C =$ Coeficiente de escurrimiento adimensional
$A =$ Área de la cuenca

Para usar esta fórmula en su expresión general, se dimensiona para obtener el gasto en m^3/seg. Sin embargo, para ahorrar los cálculos de conversión de unidades, la ecuación es expresada como:

$$Q = 0.0028CIA$$

En la cual las unidades de intensidad de la lluvia y al área, deben ser, forzosamente mm/h y hectáreas, respectivamente. Aquí 0.0028 es el coeficiente de conversión de unidades, resultante de cambiar mm y ha a m^3 y horas a segundos.

La fórmula racional requiere de información pluviográfica detallada, la cual por lo general no está disponible en México. Por lo tanto, se propuso una modificación al mismo, la cual consiste en sustituir "I" por la lluvia máxima en 24 horas (L) asumiendo como si ésta hubiese caído en solo una hora.

De esta manera, la fórmula general queda expresada por:

$Q = CLA$ Dimensionando; o bien

$Q = 0.0028CLA$ Para las dimensiones mm/h, ha y m^3/seg

Tiempo de concentración. Es el tiempo transcurrido entre el final del histograma de excesos y el final del escurrimiento directo; es la definición que aparece reseñada en la literatura con mayor frecuencia. Sin embargo, se reporta el T_c como el tiempo comprendido entre el centroide del histograma de excesos y el punto de inflexión sobre la curva de recesión del hidrograma de escurrimiento directo. En este trabajo se utilizó la fórmula:

$$T_c = (13.548)(L^2/H)^{0.77}$$

Donde:

T_c: Tiempo de concentración (min)

L: Longitud del cauce principal en (Km)

H: Diferencia de alturas (m)

Caracterización biofísica

Clima. La definición del tipo de clima se realizó a partir de la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1988), y con la base de datos agroclimática del INIFAP. La precipitación y temperatura se determinó con la estación climatológica más cercana, El Colegio, municipio de Tarímbaro, Mich.

Suelos. Los tipos de suelos se determinaron con la base de datos edáfica del INIFAP y el SIG IDRISI v. 32. Con la finalidad de caracterizar los suelos se tomaron 12 muestras en los diferentes tipos de vegetación y uso del suelo, las cuales se enviaron para su análisis a un laboratorio.

Geología. La información geológica se especificó con la base de datos del INIFAP.

Fisiografía. La información fisiográfica se definió con la base de datos del INIFAP y el SIG IDRISI v. 32.

Altitud. La información fisiográfica se determinó con el SIG IDRISI v. 32.

Vegetación. Los tipos de vegetación se establecieron con la base de datos del INIFAP y el SIG IDRISI v. 32. En base al mapa de vegetación y uso del suelo y con la finalidad de obtener la información de la vegetación se realizaron 30 muestreos al azar, con sitios de 1000 m^2 en el bosque de encino y plantaciones de restauración con el género *Eucalyptus*; con la técnica de muestreo sin parcelas (en éste caso cuadrante del punto central), se evalúo el matorral subtropical y la asociación matorral subtropical-pastizal.

Fauna silvestre. La presencia y abundancia se determinó mediante transectos para el avistamiento de ejemplares, huellas y trampeo.

Determinación del proceso erosivo

Para la determinación de la erosión, se dividió la microcuenca en áreas homogéneas en cuanto a uso de suelo, pendiente y vegetación; en cada una de ellas se empleó la ecuación universal del pronóstico de la erosión (EUPS), la cual tiene la siguiente expresión (Becerra, 2005):

$$A = RKLSCP$$

Donde:

A = Pérdida de suelo en ton/ha

R = Factor de erosividad de la lluvia

K = Factor de erosionabilidad del suelo

LS = Factor de longitud y grado de pendiente

C = Factor de cultivo o cobertura vegetal

P = Factor de prácticas mecánicas

Los factores se determinan con las siguientes técnicas:

Erosividad de la lluvia (Factor R). Se define como el producto de dos características de la lluvia tempestuosa: la energía cinética total de la lluvia (EC) y la intensidad máxima en 30 minutos (EI_{30}).

$El_{30} = (Ec)(l_{30})$ (Wischmeier, 1978 citado por Becerra, 2005)

Donde:

$El_{30} =$ Índice de erosividad para un evento (MJ.mm/ha.h)

$Ec =$ Energía cinética total de la lluvia (MJ/ha)

$l_{30} =$ Intensidad máxima de la lluvia en 30 min (mm/h)

Erodabilidad el suelo (Factor K). Representa la tasa de pérdida de suelo por cada unidad adicional del EI30 cuando los factores L, S, C y P permanecen constantes. Se utilizó la metodología propuesta por (Becerra, 2005), con la técnica nomográfica y el nomograma de erosionabilidad, para ello requirió se conocer los cinco parámetros siguientes:

a) Porcentaje de limos (0.002-0.05 mm), y arenas muy finas (0.05-0.10 mm)
b) Porcentaje de arena (0.1-2.0 mm)
c) Contenido de materia orgánica en porcentaje
d) Estructura
e) Permeabilidad

De estos parámetros los tres primeros se obtienen a partir del análisis de muestras de suelo en los laboratorios, mientras que la estructura y la permeabilidad se determinan en campo, según la valoración que se da en el nomograma mismo. Cabe mencionar que, si solo se dispone de los tres primeros, puede determinarse una primera aproximación de K.

Los valores de K varían desde cerca de cero hasta casi 0.10, de acuerdo con la versión del nomograma modificado por Foster *et al.* (1981), que es la más utilizada actualmente por estar adaptada al Sistema Internacional de Medidas.

Longitud y porcentaje de la pendiente (Factor LS). Se determinó en cada una de las áreas en base al mapa topográfico generado con el SIG IDRISI v. 32. De esta manera, el factor L está definido por la relación siguiente:

$$L = (X/22.13)^m$$

Donde:
X = Longitud de la pendiente (m).
m = Exponente que depende del grado de pendiente.

La magnitud del exponente (m) varía en función de la pendiente del terreno, siendo sus valores entre 0.2 y 0.5, como se indica a continuación (Mitchell & Bubenzer, 1984):

m = 0.5 si la pendiente del terreno es mayor de 5%
m = 0.4 para pendientes entre 3 y 5%
m = 0.3 para pendientes entre 1 y 3%
m = 0.2 si la pendiente es menor a 1%

Se determina la relación del grado de la pendiente con la erosión, con la siguiente ecuación para calcular el valor del factor S:

$$S = 0.065 + 0.045s + 0.0065s^2$$

Donde:
S=Factor de gradiente de pendiente, para usar en la EUPS
s=Pendiente del terreno, en porcentaje.

Puesto que en la EUPS dichos factores son multiplicativos, se puede unir ambas ecuaciones y se obtiene el valor conjunto del factor por topografía (LS):

$$LS = (X/22.13)^m(0.065 + 0.045s + 0.0065s^2)$$

Cobertura vegetal (Factor C). Para calcular el valor de C, se determinó, por un lado, el porcentaje de erosividad anual correspondiente a cada uno de los periodos arriba indicados y por otro, la porción de C correspondiente a la cobertura presente en esos mismos periodos. Con el producto de ambos valores, expresados como fracción unitaria, se obtuvieron los valores de C para cada periodo de cultivo en cuestión y la suma de esos valores parciales será el valor anualizado del factor C (Becerra, 2005).

Prácticas mecánicas (Factor P). Para el factor de prácticas mecánicas (P), de acuerdo con Wischmeier (1978), los valores del factor P para las prácticas mecánicas mencionadas se localizan en tablas generadas.

Evaluación de cárcavas

Para la evaluación de las cárcavas, se midieron en campo diferentes parámetros morfológicos como: profundidad, ancho y longitud, de acuerdo a la metodología propuesta por Stocking & Murnaghan (2001), y Becerra (2005). Estas variables se midieron en puntos específicos donde el cauce mostró cambios abruptos en su sección transversal.

Evaluación de la degradación de suelos

Para evaluar la degradación de suelos se empleó la metodología de la Evaluación Global de la Degradación del Suelo (GLASOD) (Oldeman, 1988). Para ello se dividió la superficie en áreas llamadas Unidades Fisiográficas (Unidades ASOD), que presentan homogeneidad en cuanto a topografía, clima, vegetación, geología, suelo y uso del suelo. A través de recorridos de campo se determinó si la unidad fisiográfica delimitada presentaba algún tipo de degradación del suelo causado por el hombre, así como la tasa promedio de degradación del pasado reciente y la extensión de la unidad fisiográfica que está afectada.

Evaluación socio-económica

Se realizaron 15 talleres de evaluación rural participativa y 5 recorridos de campo donde se obtuvo como resultado parte del diagnóstico, problemática y alternativas de solución para incrementar la calidad de vida y el manejo sustentable de la microcuenca.

Problemática

Con base en los talleres de evaluación rural participativa se definió la problemática de la microcuenca y sus habitantes.

Resultados

Caracterización morfológica e hidrológica

La microcuenca "Rosa de Castilla" tiene un área de 26.83 km^2, se clasificó como muy pequeña y su caracterización morfológica e hidrológica se menciona en la tabla 1.

Caracterización biofísica

El clima es C (W_1) (W), en toda la superficie de la microcuenca y que corresponde al templado subhúmedo con lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal menor de 5. La precipitación pluvial anual de 786.2 mm, la temperatura media es de 18.4 con una máxima de 28.4 y una mínima de 8.4 ºC (García, 1988). La temperatura en los meses de establecimiento y crecimiento (junio a octubre), de los cultivos agropecuarios es de 14 a 18 °C, asimismo el período invernal (noviembre a abril), es de 10 a 13 °C. Las unidades calor (10-30), acumuladas en la superficie de la microcuenca son de 900 a 1800. El período libre de heladas es de 190 hasta 210 días durante el año.

Altitud. La altitud media de la microcuenca es 2,100 a 2,200 m con una mínima de 1,860 m y una máxima de 2,440 m.

Pendiente. La pendiente en la microcuenca es de menos del 4% (696 ha), hasta más del 25% (103 ha), predominando del 4 a 25% (1,884 ha).

Suelos. Los tipos de suelo presentes en la microcuenca son el vertisol pélico en el 90% de su superficie, en algunas áreas asociado a litosol, y el otro es feozem en el 10% del territorio; los análisis indican que el pH en suelos con agricultura de riego es neutro a moderadamente ácido, en agricultura de temporal es ácido a muy ácido, en matorral subtropical y bosque de encino es ácido a moderadamente ácido, en plantaciones de restauración con *Eucalyptus camandulensis* es muy ácido y en pastizal es ácido. En materia orgánica se registran niveles de bajo a medio, excepto en bosque de encino y matorral subtropical-pastizal que es de moderadamente alto a muy alto. En la textura se registra que en el total de las condiciones son suelos francos, excepto en el noroeste de la microcuenca en agricultura de riego es de textura arcillosa. En cuanto a elementos mayores (N, P, K, S, Ca y Mg) en el total de los sitios se reporta niveles de muy bajo a moderadamente bajo.

Geología. Las rocas predominantes son las de origen ígneo como la toba riolítica y basalto.

Fisiografía. Su superficie se distribuye en planicies, laderas y barrancas, algunas de las elevaciones más importantes son: "El Gallinero", "Ceja del Padre", "El Citún", "La Nona", "Cerro de la Higuera" y "Palo de las Gallinas".

Hidrografía. La constituye el "Lago de Cuitzeo" y las presas: "Del Padre", "Los Ucuares", "El Puerto" y "Los Caballos". Los escurrimientos se concentran en dos arroyos intermitentes principalmente, que van captando el agua a lo largo de la microcuenca hasta el "Lago de Cuitzeo" o a las presas mencionadas.

Uso de suelo y vegetación. El uso de suelo en la microcuenca "Rosa de Castilla" es agricultura de riego en 426 ha, agricultura de temporal en 400 ha, bosque de encino en 219 ha, matorral subtropical en

Tabla 1. Características morfo-hidrológicas de la microcuenca "Rosa de Castilla", Municipio Copándaro, Michoacán.

Característica	Valor	Clasificación
Perímetro	27.650 km	---
Área	26.83 km^2	Muy pequeña
Longitud del cauce principal	9.750 km	Corto
Intervalo de altitud	1,860-2,440 msnm	Corto
Coeficiente de forma	0.479	---
Factor de forma	0.394	Muy poco achatada
Relación de elongación	1.451	---
Índice de alargamiento	2.09	Moderadamente alargada
Relación de circularidad	0.44	---
Coeficiente de compacidad	1.49	De oval redonda a oval oblonga
Coeficiente de masividad	80.13	Moderadamente montañosa
Orden	3	Medio
Densidad de drenaje	1.15	Baja
Número de escurrimientos	48	Bajo
Relación de bifurcación	2.0	---
Coeficiente orográfico	172.28	---
Tiempo de concentración	2.602 min	Rápido
Escurrimiento máximo	288.89 m^3/seg	---

838 ha y pastizal inducido en 800 ha. La flora está constituida principalmente por tres tipos de vegetación: bosque de encino principalmente con *Quercus laeta*, *Q. obtusata*, *Q. deserticola* y *Arbutus xalapensis*, matorral subtropical con *Eysenhardtia polystachya*, *Ipomoca intrapilosa*, *Acacia farnesiana* y *A. pennatula;* matorral subtropical-pastizal con *Acacia tortuosa* y *Barkleyanthus salicifolius* y plantaciones de restauración con *Eucalyptus camandulensis*.

Fauna silvestre. El grupo de vertebrados mejor representado son las aves, seguido de los mamíferos, reptiles y anfibios, con las especies más abundantes como *Egretta alba* (garza blanca), *Buteo jamaicensis* (Aguililla ratonera), *Columbina inca* (Tórtola colilarga), *Tachycineta thalassina* (Golondrina violeta), *Quiscalus mexicanus* (Zanate mayor), *Didelphis virginiana* (Tlacuache), *Desmodus rotundus* (Murciélago), *Spermophyllus variegatus* (Ardilla de tierra), y *Thomomys umbrinus* (Tuza). La mayoría de las especies se ubicaron en el bosque de encino y en el matorral subtropical y en cuerpos de agua o en lagunas, donde la mayoría son residentes y un buen porcentaje son migratorias; menor diversidad se observó en áreas dedicadas a la agricultura o en zonas sin vegetación.

Determinación del proceso erosivo

Los mayores volúmenes de erosión se tienen en matorral subtropical-agricultura, matorral subtropical y en las plantaciones de restauración de eucalipto (58.04, 50.39 y 43.27 ton^{-1} ha^{-1} $año^{-1}$, respectivamente), los menores en pastizal (5.60 ton^{-1} ha^{-1}), y en bosque de encino (6.20 ton^{-1} ha^{-1} $año^{-1}$). Por niveles se tiene de 0 a 20, 21 a 40, 41 a 60 y > 60 ton^{-1} ha^{-1} $año^{-1}$ se registraron en 1,349, 554, 241 y en 450 ha, respectivamente.

Evaluación de cárcavas

Se evaluaron 18 cárcavas y los resultados indican que la profundidad es de 1.8 en promedio con un mínimo de 1.0 m y máximo de 11.5, el ancho con dimensiones de 14.7, 30.3 y 2.7; las longitudes del cauce de las cárcavas son: 189.8, 573.5 y 33.7, respectivamente. El volumen promedio es de 14, 542.9 con valor máximo de 81,151.9 y mínimo de 2,037.5 m^3 y un volumen total de 247,229.2 m^3.

Evaluación de la degradación de suelos

Los resultados de la degradación de suelos indican que en 91% de las unidades ASOD se presenta pérdida de suelo superficial por erosión hídrica con 64% en grado ligero y 36% moderado, con las principales causas el sobrepastoreo (43%), mal manejo del suelo (19%), y deforestación (18%).

Evaluación socio-económica

Como resultado de 15 talleres de evaluación rural participativa, se tiene que cuentan con agua, luz, usan gas y leña para sus necesidades en los hogares, y con centros educativos de nivel preescolar, primaria y secundaria. La cantidad de hijos por familia es de 2 a 21, donde las parejas mayores de edad tienen en promedio de 6 a 10 hijos y las parejas jóvenes de 2 a 3 hijos. El 40% de las familias tienen menos de 5 hijos, el 30% de 5 a 7 y el 20% más de 7 hijos. La migración es alta ya que el trabajo es de autosuficiencia, no hay alternativas de trabajo y los migrantes envían recursos económicos generalmente para alimentación y un porcentaje bajo para infraestructura y actividades productivas.

Los habitantes cuentan con seguro popular o seguro social, las enfermedades más frecuentes son: diabetes en adultos mayores a 40 años y juvenil, hipertensión, colesterol, cáncer de próstata, mama, matriz y piel, enfermedades de los ojos como glaucoma, cataratas, carnosidades, enfermedades del riñón, cirrosis, enfermedades de pulmones y dentales.

La agricultura es su principal actividad económica y se basa en la producción agrícola bajo riego en las localidades del sur y agricultura de temporal y ganadería extensiva en las localidades ubicadas al norte de la microcuenca. Los cultivos agrícolas son maíz de temporal y riego, calabaza, chilacayote, frijol, avena, alfalfa, sorgo y hortalizas (cebolla, jitomate, garbanza, alfalfa, cilantro, pepino, lechuga); la asesoría en control de plagas es esporádica y faltan estudios de fertilidad de suelos. La fertilización es con sulfato de amonio por ser barato en comparación a otros fertilizantes y no aplican abonos orgánicos.

La segunda actividad económica es la ganadería, que representa un bien de capital o fuente de ahorro y el ganado es bovino, ovino, caprino, cerdos, equinos, asnos y aves de corral (gallinas, patos, guajolotes), los cuales alimentan con maíz y rastrojos o desperdicios de casa cuando corresponda. El ganado es de doble propósito, aunque algunos productores se dedican a la engorda de ganado con razas mejoradas.

Uno de los recursos importantes es el forestal, principalmente aprovechado como postes para cercado de terrenos y consumo de leña; en promedio una familia utiliza 16.9 m^3 $año^{-1}$ y el consumo de leña en la microcuenca es de 2,454 ton^{-1}

^{1} año^{-1} o 6,810 m^{3} año^{-1}. Las especies usadas principalmente como leña son: *Eysenhardtia polystachya*, *Acacia farnesiana*, *A. pennatula*, *Quercus laeta*, *Q. obtusata*, *Q. deserticola*, *Barkleyanthus salicifolius* y *Crataegus mexicana*, entre otras.

Problemática

La problemática detectada es la alta migración poblacional, baja calidad de vida de sus habitantes, deforestación, baja productividad agrícola y ganadera, contaminación ambiental, entre otros, y sus causas se mencionan en la tabla 2.

Discusión

La microcuenca "Rosa de Castilla" se definió por su tamaño como muy pequeña (26.83 km^2), pero tiene una superficie superior a las microcuencas Bilwi Tingni (16.01 km^2), y del Río Siquiares (17.25 km^2), en Costa Rica (Cordón *et al*., 2008; Álvarez, 2017), que son cuencas relativamente pequeñas y de forma ovalada, con poca capacidad para colectar agua y con un menor volumen; en comparación con la segunda, también es superior en factor de forma (0.394 *vs* 0.096), que indican que son microcuencas muy poco achatada y cuenca alargada, respectivamente, así como en radio de elongación (1.451 *vs* 0.4), pero es inferior en perímetro (27.65 *vs* 45.66 km), en la longitud del cauce principal (9.75 *vs* 12.68 km), en el coeficiente de compacidad (1.49 vs 3.01), en la densidad de drenaje 1.15 *vs* 1.70, aunque ambas son categorizadas como nivel alto (> 1.0), significa que habrá una respuesta rápida de la cuenca ante una tormenta.

Se determinó que el clima es C (W_1C_W), que

Tabla 2. Problemática y sus causas en la microcuenca "Rosa de Castilla", Municipio Copándaro, Michoacán.

Problema	Causas
Alta migración	Falta de empleo o alternativas productivas
	Salarios bajos
Baja calidad de vida	Servicios públicos inexistentes y/o deficientes (agua potable, drenaje, electricidad, e
	Desnutrición
	Falta o deficientes servicios de salud
	Instalaciones educativas inadecuadas
	Inexistentes espacios recreativos
	Vías de comunicación inaccesibles
Baja densidad de recursos forestales	Cambio de uso del suelo
(Deforestación) y fauna silvestre	Alta necesidad de leña y postes para cercas
	Carencia de programas eficientes de reforestación
	Ausencia de protección a la fauna silvestre
	Escaza cultura ecológica
Baja productividad de cultivos agropecuarios	Degradación de suelos
	Desconocimiento o baja fertilidad de los suelos
	Plagas y enfermedades
	Uso inadecuado de agroquímicos
	Uso de variedades con baja productividad y resistencia a enfermedades
	Labranza tradicional
	Descapitalización
Baja productividad ganadera	Baja producción de forrajes
	Escasez de forraje verde en la época de secas
	Dietas no adecuadas en la alimentación
	Baja calidad genética del ganado
	Deficiente manejo zoosanitario
	Poca infraestructura pecuaria
Contaminación ambiental	Basurero al aire libre con quema muy frecuente
	Falta o deficiente sistema de drenaje de aguas residuales
	Quema de basura
	Contaminación por uso de agroquímicos y desecho de envases
	Limitada cultura ambiental
Falta de agua para consumo humano y uso	Compactación del suelo
agropecuario	Alta tasa de escurrimientos superficiales y baja infiltración
	Contaminación por ganado
	Mantos freáticos profundos y alto consumo de agua para riego
	Falta de cultura ecológica.
Deficiente comercialización de productos	Precios bajos
agropecuarios	Desorganización de los productores
	Bajo poder de gestión

corresponde a templado húmedo con lluvias en verano, similar a la cuenca del Río Chapingo estudiada por Pedraza (2015), en Toluca, pero es diferente con el estudio en la cuenca del Río Grijalva por Zavala *et al*. (2011), quienes determinaron un clima Af(m), que corresponde al clima cálido húmedo con precipitaciones anuales de 2,000 a 4,000 mm.

Los tipos de suelo presentes en la microcuenca "Rosa de Castilla" son el vertisol pélico en el 90% de su superficie, en algunas áreas litosol y feozem en el 10%, a diferencia en la cuenca del Río Grijalva por Zavala *et al*. (2011), que presenta suelos muy variados como lo son el gleysol 29.6%, alisol-luvisol 25.7%, fluvisol 12.7%, alisol 11.5% y acrisol 8.3% de su superficie y con lo determinado por Castro (2012), en la microcuenca Presa Madín que son andosol, cambisol, durisol, luvisol y regosol.

Los diferentes usos de suelo contrastan con los resultados obtenidos por Zavala *et al*. (2011), en la cuenca del Río Grijalva, quienes reportan cultivos inducidos en 218,197 ha, matorrales en 20,446 ha y cultivos de temporal en 7,436 ha; esta diferencia se denota porque ésta cuenca es considerada como grande. También difieren con la cuenca Bilwi Tingni de Costa Rica (Cordón *et al*., 2008), donde en la zona alta la cobertura vegetal cubre solo el 4% del área total, con *Pinus caribaea* y bosques de galería; en la zona media se tienen bosques latifoliados de galería y en la zona baja se encuentran manglares, predominando las especies *Rhizophora mangle* (Mangle rojo), *Laguncularia racemosa* (Mangle blanco), y *Avicennia germinans* (Mangle negro). También con lo citado por Gómez (2020) en la microcuenca del Río Sila, en Tepetlaoxtoc, estado de México, donde el uso de suelo productivo corresponde principalmente al desarrollo de agricultura de riego, agricultura de temporal, ganadería extensiva en los ecosistemas forestales y ganadería estabulada, extracción de materiales pétreos (minas), y espacios construidos.

La fauna detectada es diferente y con mayor diversidad de especies en comparación a la reportada por Cordón *et al*. (2008), en la cuenca Bilwi Tingni, donde predominan aves, crustáceos y en menor cantidad reptiles; en la zona baja se concentra principalmente con especies como *Ardea alba* (Garza blanca), *Anas plathyrynchos* (Pato salvaje), *Quiscalus mexicanus* (Zanate), y algunos reptiles como la *Iguana* (Iguana verde).

Los volúmenes de erosión determinados en este estudio, son inferiores a los registrados por Grajales *et al*. (2008), en la subcuenca Cohatán, de la Sierra del Soconusco Chiapas con 250 ton^{-1} ha^{-1} $año^{-1}$ en la parte alta de la subcuenca como erosión extrema en el 41.8% (6,784.5 ha), de la superficie, y las erosiones hídricas severas ocupan el 35% (5,679.3 ha), y altas en 14.9% (2,413.3 ha), pero, están dentro del rango determinado por Melchor & Chagoya (2016), en la cuenca del río Tuxpan en Veracruz, con valores que 19.4 a 794.9 ton^{-1} ha^{-1} $año^{-1}$, clasificada como ligera en el 2.52 %, moderada en el 71.38 %, alta en el 9.42 % y muy alta en el 16.88 % de su área. También son mayores con lo citado por Castro (2013), en la microcuenca Presa Mandín del estado de México, donde la erosión hídrica se consideró incipiente o muy baja (7.58 ton^{-1} ha^{-1} $año^{-1}$). Gaspari & Bruno (2003), en la Cuenca del arroyo Napostá Grande en Argentina, definieron niveles de erosión desde < 10 ton^{-1} ha^{-1} $año^{-1}$ (ligera), hasta > 200 ton^{-1} ha^{-1} $año^{-1}$ (muy alta). Todos estos resultados se pueden atribuir a la gran diferencia de condiciones físicas, bióticas y climáticas de las diferentes cuencas, subcuencas o microcuencas.

Los resultados obtenidos de la evaluación en las 18 cárcavas, son similares con los encontrados por Baltazar (2015), en la subcuenca del afluente la fábrica Zinacantepec, estado de México, las cuales clasificó como chicas (0-3 m), medianas (3 a 6 m), grandes (7-13 m), y gigantes (>13 m), pero con un volumen mayor de suelo arrastrado (247,000 m^3), que el determinado por éste autor que fue de 80 a 100 ton.; también con lo reportado por Melchor & Chagoya (2016), en la cuenca del Río Tuxpan, Veracruz con erosión hídrica estimada de 7,948.5 ton. Son mayores en comparación con los estudios realizados por Ávila (2013), en la cuenca del Lago de Chapala (6,300 ton), y con lo reportado por Bravo *et al*. (2010), en la evaluación de 16 cárcavas en la subcuenca Cointzio en Michoacán.

Las actividades detectadas a través de las encuestas en este estudio, difieren con lo citado por Grajales *et al*. (2008), en la subcuenca Cohatán en las estribaciones de la Sierra del Soconusco, Chiapas, donde la principal actividad económica es la explotación del cultivo de café (85% del sistema agrícola), y el uso intensivo de los recursos naturales, asimismo, con lo reportado por Gómez (2020), en la microcuenca del río Sila, en Tepetlaoxtoc, estado de México, donde la actividad agrícola se clasifica como baja, debido a la escasez de recursos, presencia de tierras de mala calidad con serias limitantes hídricas y la producción de bovinos es baja con dos propósitos: producción de carne y producción de leche.

Al igual que en la microcuenca "Rosa de Castilla",

Grajales *et al*. (2008), reportan que gran parte de la población está emigrando hacia el norte del país, provocado por los bajos salarios que no alcanzan para pagar las necesidades de las familias rurales. La migración de los habitantes a otros lugares, son de jóvenes y adultos entre 15 y 35 años. Esto provoca que los adultos mayores de 50 años, niños y mujeres se hagan cargo de todas las labores del campo.

La problemática detectada en la microcuenca "Rosa de Castilla" coincide con lo determinado por Villasusu & Florido (2008), en cuencas hidrográficas en Matanzas, Cuba, con Flores *et al*. (2019), en la cuenca San Juan en Baja California Sur, Cordón *et al*. (2008), en la cuenca Bilwi Tingni de Costa Rica y a Yinet (2011), en la cuenca Guaso de Cuba, en cuanto a la contaminación del agua, degradación de los suelos (erosión, drenaje, manejo inadecuado), pastoreo de ganado sin control, falta de mantenimiento a las vías de comunicación, sobrepastoreo, desmontes para la agricultura (deforestación), compactación y erosión del suelo, pérdida de la fertilidad y de la capacidad productiva de los suelos, uso intensivo de los recursos naturales, nivel socioeconómico bajo, educación, salud, vivienda y servicios deficientes.

Conclusiones

En la microcuenca "Rosa de Castilla", el uso del suelo es agricultura de riego en 426 ha, agricultura de temporal 400 ha, bosques de encino 219 ha y matorral subtropical 838 ha. En fauna silvestre, el grupo de las aves es el más abundante, que al igual que toda la fauna y flora se ve cada día más amenazada por la disminución de los hábitats, dado el cambio de uso del suelo.

En las 139 áreas o unidades de manejo homogéneas, se determinó la erosión desde 0. 20 ton^{-1} ha^{-1} en pastizal hasta 177.18 ton^{-1} ha^{-1} en matorral subtropical y en las 18 cárcavas se registró un volumen total de 247,229.2 m^3 de suelo perdido.

Los principales problemas de degradación son la pérdida de suelo superficial por erosión hídrica y sus causas el sobrepastoreo, sobreexplotación de cultivos intensivos y la deforestación.

La problemática detectada es alta migración, falta calidad de vida de los habitantes, baja densidad de recursos forestales (deforestación) y productividad de cultivos agropecuarios y ganadera, contaminación ambiental, falta de agua para consumo humano y uso agropecuario, y deficiente comercialización de productos agropecuarios.

El diagnóstico de la microcuenca es base para la elaboración del Plan de manejo, que contribuya en la recuperación de su capacidad productiva y se incremente la calidad de vida de sus habitantes.

Referencias

Aguirre, M. N., 2007. Manual para el manejo sustentable de cuencas hidrográficas. Carrera de Ingeniería Forestal. Universidad Nacional de Loja Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables. 116 p. http://arcgeek.com/descargas/MCuencas.pdf [Consultado: Febrero 20, 2021].

Álvarez, J. M., 2017. Caracterización y diagnóstico preliminar en la microcuenca del Río Siquiares, Alajuela, para promover su manejo apropiado. Tesis Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza División de Educación Programa de Posgrado. Turrialba, Costa Rica. 95 p. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8693/Caracterizacion_y_diagnostico_preliminar.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ávila, V. C. M., 2013. Pérdida de la fertilidad del suelo por erosión hídrica en la cuenca propia del lago de Chapala, Michoacán. Tesis Maestría. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional, Unidad Michoacán. 67 p. https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12781/AVILA%20VICTOR%20CONSUELO%20MARGARITA%20-%20B110618.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Consultado: Febrero 20, 2021].

Baltazar, A. R., 2015. Procesos erosivos en la subcuenca del afluente La Fábrica, Zinacantepec, Estado de México. Tesis Licenciatura. Facultad de Geografía. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. 200 p. http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/31004/BALTAZAR-ROGELIO-LGE-2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Consultado: Febrero 20, 2021].

Becerra, M. A., 2005. Escorrentía, erosión y conservación de suelos. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 375 p.

Bravo, E. M.; Medina, O. L.; Serrato, B. B.; Mendoza, M. E. & Sáenz, R. J. T., 2010. Erosión en cárcavas en la subcuenca de Cointzio, Michoacán: Características, impacto y control. In: Bravo, M.; G. Barrera, C.; Mendoza, M. E.; Sáenz, R. T.; Sánchez M. R. & Bahena J. F. (Eds.). Contribuciones para el desarrollo sostenible de la cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán. Campo Experimental Uruapan-INIFAP y Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental-UNAM. pp. 187-197, file:///C:/Users/3%20puentes/Downloads/23_LAEROSINENCRCAVASENLASUBCUENCA.pdf [Consultado: Febrero 20, 2021].

Castro, M. I., 2013. Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín, México. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XXXIV(2): 3-16, ISSN 1815–591X, http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v34n2/riha01213.pdf

Cordón, S. U.; Johnson, W. & Cordón, S. E., 2008. Diagnóstico biofísico y socioeconómico de la cuenca Bilwi Tingni, Puerto Cabezas, RAAN6. Recursos Naturales y Medio Ambiente-Ciencia e Interculturalidad. Edición No. 2: 28-43. https://camjol.info/index.php/RCI/article/view/571/396 [Consultado: Agosto 14, 2022].

Faustino, J. & Chaves, G., 2015. Unidad III: Análisis de contexto, caracterización y diagnóstico. Costa Rica. CATIE, Turrialba. 27 p.

Faustino, J. & Jiménez, F., 2000. Manejo de cuencas hidrográficas. Área de Cuencas y Sistemas Agroforestales-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 35 p. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8431/Manejo_de_cuencas_hidrograficas.pdf?sequence=1 [Consultado: Agosto 14, 2022].

Flores, L. M. Z.; Pérez, V. J. A. & Madrid, A. S., 2019. Diagnóstico hidrológico y ordenación de la cuenca San Juan en Baja California Sur, México. *Revista Facultad de Agronomía UBA*, 39 (2): 131-150, ISSN: 2344-9039

Foster, G. R.; McCool, D. K.; Renard, K. G. & Moldenhauer, W. C., 1981. Conversion of the Universal Soil Loss Equation (USLE) to SI metric units. Journal Soil and Water Conservation, 36(6):355-359. https://www.jswconline.org/content/36/6/355.short [Consultado: Agosto 14, 2022].

García, E., 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ta. Ed. Offset Larios. México, D.F. 155 p.

Gaspari, F. J. & Bruno, J. E., 2003. Diagnóstico de degradación ambiental por erosión hídrica en la cuenca del arroyo Napostá Grande. *Ecología Austral*, 13(1):109-120, ISSN: 1667-782X.

Gómez, S. F., 2020. Diagnóstico y plan de manejo de la microcuenca Río Sila, Tepetlaoxtoc, estado de México. Tesis Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza División de Educación-Escuela de Posgrado. Turrialba, Costa Rica. 132 p. file:///C:/Users/3%20puentes/Downloads/Diagnostico_y_plan_de_manejo_de_la_microcuenca_Rio_Sila,_Tepetlaoxtoc,_Estado_de_Mexico.pdf [Consultado: Agosto 14, 2022].

Grajales, M.; De la Piedra, R. & López, J., 2008. Diagnóstico biofísico y socioeconómico de la parte media y alta de la subcuenca Cohatán, Chiapas. Avances en Investigación Agropecuaria, 12(1): 28-44. https://www.redalyc.org/pdf/837/83712103.pdf [Consultado: Febrero 20, 2021].

Melchor, M. J. I. & Chagoya, F. J. L., 2016. Diagnóstico de la erosión hídrica en la cuenca del Río Tuxpan, Veracruz, México. *Aqua-LAC.*, 8(2): 25–35, ISSN: 1688-2873. https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2016-v8-2.

Mitchell, J. K. & Bubenzer, G. D., 1984. Estimación de pérdida de suelo. En: Kirkby, M. J. & Morgan R. P. C. (compiladores). 1984. Erosión de suelos. Capítulo 2. Editorial Limusa. México, D. F.

Oldeman, L. R. (ed.)., 1988. Guidelines for General Assessment of the Status of Human – Induced Soil Degradation. ISRIC Working Paper and Preprint 88/4.

Ordoñez, G. J. J., 2011. ¿Qué es cuenca hidrológica? Cartilla Técnica: Aguas Subterráneas-Acuíferos. Sociedad Geográfica de Lima-Foro Peruano para el Agua. LIMA, PERÚ. 43 p. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf [Consultado: Abril 10, 2020].

Pedraza, V. A. L., 2015. Estimación de la erosión hídrica mediante dos métodos de la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS) en la cuenca del río Chapingo, Texcoco. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. 114 p. http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/49410/TESIS_AM%c3%89RICA%20PROTEGIDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Consultado: Febrero 20, 2021].

Santillán, M. L., 2013. Manejo integral de cuencas hidrográficas para evitar problemas de agua. Dirección General de Divulgación de la Ciencia. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. http://ciencia.unam.mx/leer/267/Manejo_integral_de_cuencas_hidrograficas_para_evitar_problemas_de_agua [Consultado: Abril 10, 2020].

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH)., 1991. Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. Colegio de Postgraduados/CREZAS. 116 pp.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)., 2013. Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable-Red Mexicana de Cuencas Hidrográficas. 33 p. https://www.produccion-animal.com.ar/agua_cono_sur_de_america/80-Cuencas_hidrograficas.pdf [Consultado: Abril 10, 2020].

Stocking, M. A. & Murnaghan, N., 2001. A handbook for the field assessment of land degradation. Earthscan Publications LTD. USA.

Villasuso, S. I. M. & Florido, T. A. T., 2008. Propuesta para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: Experiencias de su implementación en Matanzas, Cuba. In: Seminario Internacional "Cogestión de cuencas hidrográficas: experiencias y desafíos". Serie técnica. Reuniones técnicas No. 13. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE División de Investigación y Desarrollo Turrialba, Costa Rica. P. 105-114. file:///C:/Users/3%20puentes/Downloads/Cogestion_de_cuencas_hidrograficas.pdf [Consultado: Agosto 14, 2022].

Wischmeier, W. H. & Smith, D. D., 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537. Departament of Agriculture. 58 p.

Yinet, M. M., 2011. Diagnóstico ambiental de la cuenca hidrográfica Guaso. *Revista Vinculando*. 11 p. https://vinculando.org/wp-content/uploads/kalins-pdf/singles/diagnostico_ambiental_de_la_cuenca_hidrografica_guaso.pdf [Consultado: Agosto 14, 2022].

Zavala, C. J.; Palma, L. D. J.; Fernández, C. C. R.; López, C. A. & Shirma T. E., 2011. Degradación y conservación de suelos en la Cuenca del Río Grijalva, Tabasco. Colegio de Postgraduados, Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental y PEMEX. Villahermosa, Tabasco, México. 90 p., ISBN: 978-607-95764-3-1. file:///C:/Users/3%20puentes/Downloads/DEGRADACONSERSUEL2011libro.pdf [Consultado: Febrero 20, 2021].