

CARBONO ORGÁNICO EN ECOSISTEMAS RIBEREÑOS Y MANEJO SUSTENTABLE EN LA RESERVA DE LA BIÓSFERA LOS VOLCANES

RIPARIAN ECOSYSTEMS ORGANIC CARBON AND SUSTAINABLE MANAGEMENT IN THE VOLCANOES BIOSPHERE RESERVE

Gerardo Cruz-Flores^{1†}, Eloísa A. Guerra-Hernández¹ e Inyasid Santiago-Aguilar¹.

¹Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal, L-8 Primer piso, UMIEZ. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. Batalla 5 de mayo esquina Fuerte de Loreto S/N. Col. Ejército de Oriente, Iztapalapa, CD MX, México. CP 09230.

[†]Autor para correspondencia edaynuve@unam.mx y edaynuve@gmail.com

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo estimar contenidos de carbono orgánico en suelos y vegetación de ecosistemas ribereños (EcRi) en la cuenca del alto Balsas y conocer la relación entre su abatimiento y algunos indicadores sustentabilidad. Los EcRi brindan, entre otros, el servicio ecosistémico de captura de carbono al retener altas concentraciones en sus componentes (arroyos, ríos, suelos de bancos ribereño, sedimentos y vegetación riparia), descargando hacia los océanos solo una pequeña cantidad de carbono. Se sabe que el cambio climático global ha disminuido la masa de glaciares en altas montañas y ha alterado el ciclo hidrológico global y, regionalmente en La Reserva de la Biósfera Los Volcanes (RBLV), ha influido negativamente en su dinámica disminuyendo cantidad y calidad de sus caudales. Junto a la problemática ambiental referida, la severa presión que ejercen las actividades antrópicas sobre los ecosistemas ribereños y recursos forestales, son otro factor adverso que particularmente atenta contra la estabilidad, dinámica y conservación de estos EcRi en las porciones alta y media de la Cuenca del Balsas y en otras del país. Se encontró que los contenidos de carbono en suelo, vegetación aérea y biomasa microbiana fue mayor en los EcRi conservados ubicados a mayor altitud (bosques y ecotonos de montaña alta en suelos con alta retención de humedad), lo mismo que en los adyacentes a bosques mixtos (en suelos con altas tasas de infiltración) cuyos altos contenidos de carbono, son acordes a altos valores de su índice de calidad de vegetación ribereña y aunque, con un valor de incertidumbre significativo, también poseen los mayores valores de NDVI. Se concluye que la sustentabilidad, como se define en la misma legislación ambiental, está lejos de alcanzarse dadas las prácticas extractivas y de explotación de los recursos bióticos y abióticos existentes en los ecosistemas ribereños de esta región.

Palabras Clave: indicadores de sustentabilidad; legislación ambiental; cuenca del Balsas; áreas naturales protegidas.

ABSTRACT

This research was carried to estimating soils and vegetation carbon content of riparian ecosystems (RiEc), of upper portion of Balsas basin and to know the relationship of its abatement with some sustainability indicators. The RiEc provide ecosystem service of carbon sequestration by retaining it, in high concentration, in its components (streams, rivers, riverbank soils, sediments and riparian vegetation) and discharging only a small amount of carbon into oceans. It is known that global climate change has decreased mass glaciers of high mountains and that it has altered the global hydrological cycle and, at a regional level, in The Volcanoes Biosphere Reserve (RBLV) has influenced dynamics of RiEc decreasing quantity and quality its flows. In addition to aforementioned environmental problems, severe pressure exerted by anthropic activities on RiEc and forest resources, are another adverse factor that particularly threatens the stability, dynamics and conservation of RiEc in upper and middle

portions of Balsas River Basin, as others in country. It was found that soil, aerial vegetation and microbial biomass carbon contents were higher in RiEc of conserved sites located at higher altitudes (forests and high mountain ecotones), as well as in those adjacent to mixed forests whose high carbon contents, they are consistent with high values of their riparian vegetation quality index and although, with a significant uncertainty value, they also possess the highest NDVI values. It is concluded that sustainability, as defined in the same environmental legislation, is far from being achieved given the extractive and exploitation practices of biotic and abiotic resources existing in riparian ecosystems.

Index words: *sustainability indicators; environmental legislation; Balsas basin; protected natural areas.*

INTRODUCCIÓN

Diversas actividades productivas y extractivas de las poblaciones humanas han tenido efectos negativos sobre el ambiente en el país y en el mundo. Destacan entre ellos el incremento en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI), con una repercusión innegable sobre el calentamiento climático global (Panel Internacional de Cambio climático, IPCC, 2014). Uno de los GEI que más ha incrementado su concentración en la atmósfera es el CO₂ desde, aproximadamente 280 ppm que tuvo en la era preindustrial (fines del siglo XVIII), a más de 400 ppm en la era actual (Le Quéré *et al.*, 2018). Se sabe que las poblaciones microbianas del suelo, principal reserva de carbono lábil en ecosistemas terrestres, son predominantemente aerobias y contribuyen al ciclo de carbono (C) mediante la emisión de entre 40 y 80 % del CO₂ atmosférico como producto de su respiración y utilización de materia orgánica carbonada (Levy-Varon *et al.*, 2014) la cual, en ecosistemas en equilibrio, se restituye mediante los residuos de hojarasca y necromasa producida por actividad biológica (Cruz-Flores *et al.*, 2015). Con esto se reconoce al carbono como el motor energético de todo ecosistema por su capacidad para generar biomoléculas grandes, complejas y diversas representando poco más de 50% del peso seco de la biomasa total. Como otros bosques de ecosistemas terrestres, los ecosistemas ribereños participan activamente en el ciclo global del carbono porque en los ríos, suelo, sedimento y vegetación riparia se queda buena parte del carbono que ingresa a ellos desde los ecosistemas terrestres funcionando como un servicio ecosistémico de captura de carbono y, al final una pequeña cantidad de carbono se descarga hasta los océanos (Aufdenkampe *et al.*, 2011). Los ambientes riparios brindan además, otros servicios

ambientales en forma más eficiente si las poblaciones vegetales mantienen la composición y estructura de la vegetación e incrementan su productividad primaria mediante la fijación de CO₂ en la fotosíntesis (Chapin *et al.*, 2011).

Algunos estudios realizados en el país presentados ante el Programa Mexicano del Carbono muestran la importancia de estimar los contenidos de carbono en los principales compartimentos de los ecosistemas ribereños y el conocimiento de las líneas base de contenidos de carbono en los principales compartimentos y sus flujos (Colli-Cortés *et al.*, 2015; Romero-López *et al.*, 2015; Sandoval-Aparicio *et al.*, 2016; Guerra-Hernández y Cruz-Flores, 2017; Cruz-Flores *et al.*, 2017). Estos estudios han mostrado que la calidad del suelo, su fertilidad y la infiltración de agua en el suelo entre otras de sus propiedades edáficas, se ven favorecidas generalmente cuando son mayores sus contenidos de carbono (Andrade *et al.*, 2016; Valderrábano y Cruz Flores G, 2018); sin embargo, cualquier ecosistema incrementa la liberación o emisiones de carbono si se encuentra bajo un mal manejo, cuando se degrada por cambios de uso de suelo o eliminación de herbáceas, erosión de suelo, tala o fragmentación (Houghton *et al.*, 2012).

Los ecosistemas ribereños tienen gran importancia como ecotonos y como áreas de amortiguamiento entre ambientes terrestres, semiacuáticos y acuáticos, a pesar de su reducida superficie en México (< 1 266 158 ha con 10 m de faja de amplitud buffer) en una red hidrográfica reportada en 633 mil kilómetros de longitud (CONAGUA, 2015). La superficie estimada que se señala para esa faja de amplitud, deriva del Artículo 3°, fracción XLVII de la Ley de Aguas Nacionales (LAN) que establece como Ribera o Zona Federal a las “Las fajas de diez metros de anchura contiguas al cauce de las corrientes o al vaso de los depósitos de

propiedad nacional, medidas horizontalmente a partir del nivel de aguas máximas ordinarias” además de que “La amplitud de la ribera o zona federal será de cinco metros en los cauces con una anchura no mayor de cinco metros”.

Como ecotonos con alta productividad vegetal, los ecosistemas ribereños presentan valioso aporte de servicios ambientales y ecosistémicos diversos que, para no verlos perdidos o disminuidos en sus capacidades, se requiere de un manejo sustentable y proteger su alto potencial para la captura de carbono en suelo y en vegetación y así conservar o incrementar los contenidos de carbono que influyen en otros muchos bienes ambientales y ecológicos como la mayor acumulación y disponibilidad de nutrientes, incremento en retención de humedad e incrementos del espacio poroso del suelo, de la biodiversidad, las tasas de infiltración de agua, el amortiguamiento del clima, la retención de sustancias tóxicas y de nutrientes en suelo y vegetación riparia, factores que contribuyen a la mejora de la calidad del agua y muchos beneficios más relacionados con los altos contenidos de carbono en suelo y en la vegetación riparia de los bosques de galería. Todas estas características citadas pueden, en conjunto, considerarse indicadores de sustentabilidad.

En consecuencia y para mantener la funcionalidad de los ecosistemas surge la necesidad del manejo sustentable pero el término sustentabilidad, a pesar de que aparece hace ya más de tres décadas (Zarta, 2018), no es aún un concepto bien definido o de aceptación general porque indistintamente es mencionado en foros sobre medio ambiente o de salud humana o en ecología (Dourojeanni, 2000) y también porque, se ha utilizado, irresponsable y excesivamente, en muchos otros escenarios de la cultura y las políticas de estado. Como antecedente habrá de decir que, en 1984, la ONU conformó la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo que presentó en agosto de 1987 su informe subtítulo “Nuestro futuro común”, que ya planteaba, entre otros desafíos, el reto referente al *desarrollo duradero* como respuesta a los grandes problemas ambientales que presentaba el planeta (ONU, 1987). En este informe, al enlazarse el concepto de sustentabilidad a la economía y política de las naciones, también se ligaba a la cultura y educación. En el estudio “México, regiones que caminan hacia la sustentabilidad” Toledo y Ortiz-Espejel (2014) mencionan que la sustentabilidad es un proceso en el que se identifican doce campos de acción básicos y citan: economía social y solidaria; manejo sustentable de ecosistemas;

formas de gobierno descentralizado; revaloración de la cosmovisión; vivienda digna; seguridad ciudadana; programas de comunicación y diálogo intercultural; salud integral; energías renovables; impulso a sistemas financieros locales; impulso a formas alternativas de generación de conocimientos, saberes y tecnologías apropiadas y finalmente, programas de cultura y educación ambiental. Quiroz *et al.* (2011), mencionan tres tipos de sostenibilidad; la ecológica, la refieren al ecosistema que mantiene las características que le son esenciales para la sobrevivencia a largo plazo de las especies, poblaciones y comunidades; la sostenibilidad económica, la refieren al adecuado manejo y gestión de recursos naturales que permiten continuar con el sistema económico vigente y, la sostenibilidad social, que es referida al proceso donde los costos y beneficios se distribuyen de manera adecuada, tanto entre el total de la población actual (equidad intrageneracional) como con la población futura (equidad intergeneracional). Mesta (2017), en su estudio titulado “Bases para el desarrollo de la legislación marino-costera en México”, hace una descripción muy completa de elementos de sustentabilidad que están asentados en la legislación ambiental mexicana.

En el marco de la legislación ambiental mexicana, el Artículo 3º de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente (LGEEPA) establece en su fracción XI:

Desarrollo Sustentable: El proceso evaluable mediante criterios e indicadores del carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras.

En referencia a los recursos hídricos, la Ley General de Aguas Nacionales vigente (LGAN) en el Artículo 3º, fracción XXI, establece como Desarrollo sustentable que:

En materia de recursos hídricos, es el proceso evaluable mediante criterios e indicadores de carácter hídrico, económico, social y ambiental, que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se fundamenta

en las medidas necesarias para la preservación del equilibrio hidrológico, el aprovechamiento y protección de los recursos hídricos, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de agua de las generaciones futuras.

Mientras que en la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS), que junto a la LGEEPA y la LGAN, son reglamentarias del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, se establece como desarrollo forestal sustentable (a) y Manejo forestal sustentable (b) los siguientes enunciados:

- a). Proceso evaluable y medible mediante criterios e indicadores de carácter ambiental, silvícola, económico y social que tienda a alcanzar una productividad óptima y sostenida de los recursos forestales sin comprometer el rendimiento, equilibrio e integridad de los ecosistemas forestales, que mejore el ingreso y la calidad de vida de las personas que participan en la actividad forestal y promueva la generación de valor agregado en las regiones forestales, diversificando las alternativas productivas y creando fuentes de empleo en el sector.
- b). Proceso que comprende el conjunto de acciones y procedimientos que tienen por objeto la ordenación, el cultivo, la protección, la conservación, la restauración y el aprovechamiento de los recursos y servicios ambientales de un ecosistema forestal, considerando los principios ecológicos, respetando la integralidad funcional e interdependencia de recursos y sin que disminuya o ponga en riesgo la capacidad productiva de los ecosistemas y recursos existentes en la misma.

En referencia a las coincidencias sobre sustentabilidad, establecidas en los artículos de las diversas leyes mencionadas, hay que aceptar que llevarlas a la realidad y aplicarlas requiere de escenarios culturales, políticos y legales, etc., aún distantes de alcanzarse, pero legítimamente deseables para subsanar

la fuerte degradación ambiental y explotación de los recursos naturales que se hace prácticamente en todo ecosistema. Derivado de lo anterior, se deduce que en el país el marco jurídico existe, solo se requiere de una justa aplicación de esa legislación para que la toma de decisiones que la autoridad realice esté sustentada en ese marco legal y en el conocimiento científico de los ecosistemas.

Respecto a los recursos naturales y servicios ambientales que brindan los ecosistemas, es importante resaltar la provisión que se generan en los ecosistemas ribereños que, al ser ecotonos entre ecosistemas terrestres y acuáticos, su biodiversidad generalmente supera a los ambientes terrestres que los circundan gracias a las favorables pero sensibles relaciones climatológicas, edafo-geomorfológicas, hidrológicas y bióticas entre los subsistemas que los conforman (Cruz-Flores, 2017). Diversos estudios han mostrado la superior capacidad en almacenamiento de carbono que poseen la mayoría de los ecosistemas ribereños en sus diferentes compartimentos (Allan, 2004; Sutfin *et al.*, 2016). La suficiencia casi permanente de adecuados niveles de agua del suelo, humedad del ambiente y otros recursos edáficos coadyuvan, junto a una mayor diversidad y riqueza de especies biológicas, a una productividad primaria más alta en los ecosistemas ribereños al ser comparados con *ecosistemas no ribereños* que, alejados del suministro constante de agua, presentan marcadas fluctuaciones de humedad e incluso un temporal estrés hídrico por la estacionalidad de los periodos de lluvia (Nilsson y Jansson, 1995; Sutfin, 2017).

Los ecosistemas ribereños en todo el planeta han sido severamente degradados (Nessimian *et al.*, 2008) y en nuestro país, se encuentran entre los ambientes más degradados como consecuencia de sobreexplotación del recurso hídrico y saqueo de plantas tanto medicinales y alimenticias, como ornamentales, así como expansión de las actividades agrícolas hacia suelos de ribera siempre de óptima fertilidad (Gerritsen *et al.*, 2005; Cruz-Flores *et al.*, 2019). En lo referente a la explotación del recurso hídrico, entre mediados de los años 80 y finales del siglo pasado, más del 65% del agua dulce que fluía hacia los océanos en todo el planeta, alimentando en su recorrido a los ecosistemas ribereños, ha visto obstruido su camino por más de 40 000 represas grandes (mayores de 15 m de altura) y por poco más del doble de represas pequeñas, diques y diques artificiales con la finalidad de destinar esa agua retenida para el consumo humano, para producción

agropecuaria e industrial, para generar electricidad o como un medio de protección contra inundaciones (Nilsson y Berggren, 2000) lo cual puede interpretarse como acciones en apoyo al desarrollo económico y al bienestar y salud humana. Sin embargo, al hacerlo como se ha venido realizando, sin ningún control sustentado en el conocimiento científico del caudal ecológico mínimo o sin ninguna regulación ambiental legal, se atenta contra el pretendido uso sustentable.

En nuestro país, los ecosistemas ribereños sufren también fuerte presión antrópica principalmente por una errática gestión de sus recursos edáficos, hídricos y bióticos. Por ejemplo, la presión sobre sus recursos hídricos inicia prácticamente en la misma zona donde se generan pues una parte del caudal de aguas, clasificadas como de primer uso (fracción III del Artículo 3° de la LAN), se retienen en depósitos desviando parte de ellas hacia zonas de cultivo de trucha, o hacia lagos artificiales para centros ecoturísticos antes de ser usadas para consumo humano y son liberadas sin tratamiento alguno.

Caso de estudio

Al considerar que los arroyos, ríos y zonas de ribera contiguas a los cauces de esos recursos hídricos (al menos de 10 m de amplitud) son zonas federales reconocidas legalmente como “bienes nacionales” (artículo 113 de la LAN) y que sin embargo, en los hechos la legislación ambiental respectiva está lejos de cumplirse, (supóngase benignamente que es por desconocimiento casi total de la población y/o de las mismas autoridades locales), entonces habrá de aceptarse que no existen mecanismos de gobernanza ni políticas de control, regulación o manejo de los sistemas ribereños en la zona de cabecera de la cuenca del Balsas en la que reside parte de la Reserva de la Biósfera Los Volcanes. Estas circunstancias evidencian un vacío legal, administrativo y de poder pues, para en el caso de la zona de estudio de esta investigación, la misma Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) no tiene incluida a la Reserva de la Biósfera Los Volcanes en su registro de reservas de la biósfera y en consecuencia, tampoco aparecerá su registro en la Red de Comités y Reservas de Biósfera de Iberoamérica y el Caribe (IberoMAB) y, ahora mismo para el año 2020, el propio Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl, tan emblemático por su belleza paisajística, por su importancia ecológica como fuente de recursos forestales y de bienes y servicios

ambientales, por la cultura, tradiciones, leyendas y cosmovisión de sus pueblos originarios, ligadas a los volcanes y, aunque es uno de los primeros Parques Nacionales oficialmente decretados en nuestro país, este parque nacional increíblemente no está registrado en el (SINAP) Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Estas situaciones descritas son las principales razones de la problemática referida sobre falta de gobernanza y gestión de recursos hídricos de los ecosistemas ribereños y también es la razón más importante que no permite que, en la región de los volcanes, se pueda utilizar la principal característica que dentro del contexto del Programa *El Hombre y la Biósfera* (MAB) de la UNESCO, tienen las reservas de la biósfera y que está relacionada con el fomento de la capacidad de gestión de sistemas socio-ecológicos complejos y que se pueda establecer un mayor diálogo en la interfaz Ciencia-política y Educación ambiental (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura UNESCO, 2020). Además de lo anterior, en la región del Iztac-Popo en particular y en la Reserva de la Biósfera de Los Volcanes en general, no se puede lograr (valdría la pena intentarlo), lo que la UNESCO pretende con el programa (MAB) y que consiste en destinar áreas de ensayo, demostración y aprendizaje que contribuyan a armonizar, con el bienestar de las comunidades humanas y sus manifestaciones culturales y espirituales, la conservación de la diversidad biológica, el equilibrio ecológico y el manejo racional de los recursos naturales que garanticen que los mismos servicios de los ecosistemas que actualmente se tienen, se mantengan para las generaciones venideras, todo lo cual encaja en el concepto de manejo sustentable (IberoMAB, 2016).

Otro factor adverso que atenta contra la estabilidad, dinámica y conservación de los ecosistemas de ribera en las cuencas alta y media de la Reserva de la Biósfera Los Volcanes, actualmente muy grave, es la severa presión que ejercen las actividades antrópicas sobre estos sistemas ribereños y recursos forestales en general, cuyos efectos se potencian si se considera la falta de gobernanza y el vacío legal y administrativo ya señalado.

Consecuencia del sometimiento de los ecosistemas a la alta densidad de población son el consumo desigual de agua y otros recursos naturales de la región, que puede generar (ya genera) conflictos territoriales y agotamiento de los recursos naturales, degradación ambiental propiciada por alteraciones del ciclo de agua, aumento de la emisión de GEI por deforestación,

extinción de especies animales y vegetales endémicas, erosión de suelos, etc., lo cual, también es causa de pobreza, marginación, despoblamiento rural, desempleo y aumento del costo de la vida (United Nations Population Fund, UNP-Fund, 1994).

Con base en los principios y fundamentos descritos, se realizó esta investigación en ecosistemas ribereños de la Reserva de la Biósfera Los Volcanes a lo largo de un gradiente altitudinal con el objetivo de estimar y presentar sus contenidos de carbono orgánico en los principales compartimentos (Suelo y vegetación) y analizar algunas afectaciones que su abatimiento genera sobre algunos indicadores de manejo sustentable.

METODOLOGÍA

Para la descripción ecológica y el diagnóstico, el monitoreo y colecta de muestras destinadas para la evaluación y estimación de los contenidos de carbono orgánico, se hicieron recorridos en cuatro biotopos previamente delimitados cartográficamente y en ellos se eligieron cuatro ambientes ribereños sobre el río Apatlaco cuyos afluentes son de régimen permanente. Tales ambientes ribereños se identificaron, señalaron y utilizaron como ambientes de referencia por considerarlos con representatividad paisajística común, con semejanza geomorfológica y edáfica y en los que la estructura y composición de la vegetación es similar y equiparable con otros sitios de las subcuencas del declive oriental de la RBLV incluidos en esta investigación. Las cotas altitudinales máxima y mínima entre las que se distribuyen los ambientes ribereños, seleccionados como biotopos de referencia, presentan un intervalo poco mayor de 1500 m, con las implicaciones geomorfológicas, edáficas, hidrológicas y bioclimáticas particulares que por ser compartidas con sitios de biotopos afines en las cuencas de los ríos Apol, Cotzala, Cuatupilco-Alseseca y San Diego-Santa Clara, permiten hacer extrapolables sus resultados. El primero de los ambientes ribereños seleccionados fue

ubicado en la zona más baja (franjas de 2400 a 2650 msnm), éste representa regiones con tierras de uso agrícola y pecuario principalmente y, en un estado altamente fragmentado, uso forestal con bosque mixto; el segundo y tercer ambientes ribereños están dentro de los macizos forestales más densos con bosques de diferentes especies de los géneros *Pinus*, *Cupressus* y *Abies* distribuidos en pisos altitudinales ubicados entre 2650 y 3700 m y, el cuarto ambiente ribereño, se eligió en el biotopo caracterizado por ser ecotono de pradera de alta montaña con especies principalmente de los géneros *Muhlenbergia*, *Festuca* y *Agrostis* y pino de altura, *Pinus hartwegii* (Cuadro 1). Una vez establecidos los criterios de homogeneidad paisajística y fisiográfico-hidrológico-edáfico y de composición y estructura de la vegetación se evaluó, en cada sitio, el índice de calidad de vegetación de ribera (QBR) mediante el método de Munné *et al.* (1998), como también lo señalaron López-Delgado *et al.* (2015), delimitando, en torno a los ríos, parcelas de 600 m² de superficie (30 m largo por 20 m ancho, 10 m por lado del arroyo). Para estimar contenidos de carbono en biomasa vegetal, se registró diámetro normal y altura de todos los árboles en el cuadrante señalado, se tomaron muestras para determinación de densidad básica de madera y se utilizó, en laboratorio, el método del máximo contenido de humedad. Los contenidos de carbono en biomasa aérea fueron estimados utilizando la información y ecuaciones alométricas citadas en Alpizar (1997) y por Torres y Guevara (2002) y aplicando el factor de contenido de carbono de 50%. Este factor de conversión de biomasa a carbono, también fue utilizado para estimar contenidos de carbono en el zacatonal haciendo el muestreo y colecta de material vegetal en áreas de un metro cuadrado donde se cortaron, a ras del suelo, los macollos de los zacatonales para posteriormente evaluar biomasa en peso seco. En cada ambiente ribereño se realizó la colecta suelo en los cuadrantes señalados.

Cuadro 1. Sitios de estudio de referencia en la Reserva de la Biósfera los Volcanes.

Unidad de paisaje	Altitud aproximada	Coordenadas UTM		Vegetación arbórea dominante	Tipo de suelo Sandoval (2016)
		X	Y		
Cascada La Ranita	3750-4000	m		Zacatonal montano - <i>Pinus hartwegii</i>	Andosol vítrico Úmbrico
Sitio ecoturístico Buenavista	3100-3700	542037	2111204	Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> - <i>Abies religiosa</i>	Andosol vítrico Úmbrico
Santiago Xalitzintla	2650-3000	547792	2111726	<i>Pinus ayacahuite</i> , <i>Salix bonplandiana</i> y <i>Buddleja cordata</i> .	Fluvisol mólico
San Nicolás de los Ranchos	2400-2600	554726	2108585	<i>Alnus acuminata</i> , <i>Prunus pérsica</i> , <i>Prunus salicifolia</i> , <i>Crataegus mexicana</i> y <i>Sambucus nigra</i>	Fluvisol háplico

Al considerar el incipiente desarrollo edáfico y las funciones ecológico-ambientales que tienen estos suelos jóvenes en los ecosistemas ribereños, para su análisis, evaluación y estimación de sus contenidos de carbono orgánico, de su contenido gravimétrico de agua (agua capilar e higroscópica) y la velocidad de infiltración de agua, se utilizaron los métodos reportados en Standard Soil Methods for Long-Term Ecological Research (Robertson *et al.*, 1999). Los análisis se realizaron por triplicado en muestras compuestas de 0 a 20 cm formadas con seis submuestras (tres por lado del arroyo y no distantes más allá de 10 m respecto a la orilla del arroyo). Con el método de fumigación-incubación y medición estequiométrica de CO₂ (Powlson *et al.*, 1987; Shan-Min *et al.*, 1987), se determinaron, por cuadruplicado, los contenidos de carbono en biomasa microbiana (CBM) en muestras compuestas de suelo colectadas de 0 a 10 cm de espesor formadas por 12 submuestras en cada lado del arroyo las cuales se

trasladaron en condiciones frigoríficas, almacenándose así hasta su análisis.

Una vez conocidos los resultados de los contenidos de carbono en biomasa aérea de la vegetación ribereña en cada uno de los biotopos, señalados como sitios de referencia y distribuidos a lo largo del río Apatlaco, se realizó, mediante una modelación por semejanza fisiográfica y bioclimática, la extrapolación de los resultados hacia aquellas unidades de paisaje homologas a los sitios de referencia de las subcuencas del declive oriental del Parque Nacional y su zona de influencia. La delimitación de estos sitios con paisajes fisiográficos y bioclimáticos homólogos consistió en asignar categorías a las unidades de paisaje de manera visual en una composición RGB utilizando una imagen de satélite Landsat 8 con path/row: 026/047 de diciembre de 2015 (temporada de sequía) para llevar posteriormente esos rangos a un índice de vegetación (NDVI). Mediante el software QGIS, se visualizaron

y cortaron de la red hidrológica de las subcuencas RH18DU; RH1826DP; RH18FC; RH18FB; RH18AE y RH18AD. Se aplicó un buffer de 10 m de amplitud y con este buffer se cortó el NDVI para visualizar qué categoría de este índice de vegetación se encontraba

en el buffer. Con el software ArcGIS, se obtuvo la estadística de determinación del área o superficie de la red fluvial cubierta por cada categoría (Figura 1). Estos datos se procesaron en una hoja de Excel para obtener el contenido de carbono por unidad de área

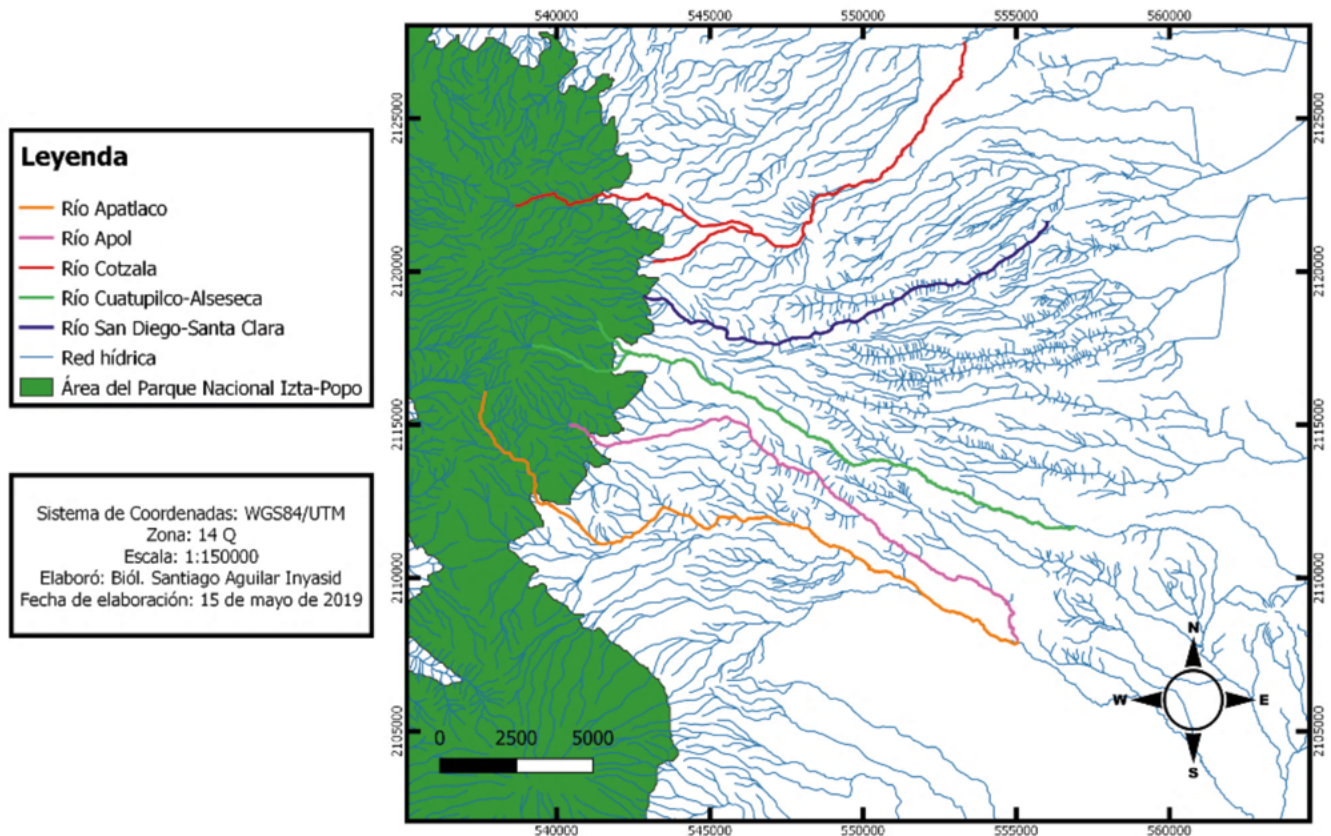


Figura 1. Ubicación geográfica de los sitios de referencia y sistemas fluviales de régimen permanente en la cuenca del Alto Balsas.

El efecto del componente social como factor de impactos, casi siempre negativos, hacia la estabilidad y el equilibrio de los ambientes ribereños, se evaluó con base en magnitud de densidades de población humana y de distancia de los asentamientos humanos respecto al Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl (PN-IP) y su zona de influencia (ZI-PN-IP). Considerando al PN-IP como zona núcleo de la RBLV y como zonas de amortiguamiento y de manejo de ésta a la ZI-PN-IP se manejaron tres niveles de proximidad e influencia sobre los recursos naturales de la región: a) zonas adyacentes, densidad poblacional baja a media y fuerte influencia (primer núcleo periférico), b) zonas a distancia media, de alta densidad poblacional y mediana a fuerte influencia (segundo núcleo periférico)

y c) zonas de poblados y ciudades de alta densidad de población distancia media y sensible a moderado efecto de influencia (tercer núcleo periférico). Habrá de considerar en una investigación subsecuente a ésta, las actividades económicas y extractivas que se realizan en la región. Así de las bases de datos del Censo de Población y Vivienda de 2010 (INEGI, 2010) y en las Cédulas de información municipal de SEDESOL (2015), se hizo una consulta del número de habitantes de los primeros tres núcleos periféricos poblacionales en pueblos, comunidades y urbes de los municipios de los estados de Morelos, México y Puebla que circundan a la Reserva de la Biósfera Los Volcanes, delimitados por la cercanía al Parque Nacional y su zona de influencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Carbono en vegetación ribereña

Un indicador de sustentabilidad en todo ecosistema es el mantenimiento de contenidos de carbono en intervalos favorables aproximadamente constantes en el tiempo. El contenido de carbono (mínimo de 4.77 Mg ha⁻¹, máximo 10.72 Mg ha⁻¹) en la vegetación ribereña dominante del sitio de referencia ubicado en la parte más alta del río Apatlaco que presenta el paisaje de pastizal montano (pradera de alta montaña) fue el mayor con casi 7.8 Mg C ha⁻¹. Figueroa *et al.*, (2005), en su investigación sobre los contenidos de carbono en hierbas de la pradera de la Sierra Norte de Oaxaca presentaron resultados similares a los de este trabajo y encontraron que este biotopo almacena casi 35 % de todo el carbono para los ecosistemas de esa región del país. El segundo lugar en contenido de carbono en parte aérea de vegetación riparia, se encontró en unidades de paisaje de bosques de pino (*Pinus hartwegii*) con un mínimo de 1.0 Mg ha⁻¹, máximo de 4.07 Mg ha⁻¹ y un promedio apenas superior a 2.5 Mg C ha⁻¹, desde luego, sin posibilidad real de alguna comparación con lo reportado por Rojas (2004) para bosques de *P. hartwegii* del Parque Nacional la Malinche, (promedio de 101 Mg C ha⁻¹) enfatizando que, los resultados de aquellos bosques en la región Tlaxcalteca-Poblana de la Matlacueye, corresponden a ambientes diferentes a los sitios ribereños del Parque Nacional Iztaccíhuatl de la RBLV donde las franjas de amortiguación se establecieron a 10 metros a ambos lados del cauce de los ríos o arroyos donde la densidad de ésta especie no es alta. Los sitios ribereños con bosques fragmentados por terrenos pecuarios y los que ya se encuentran en zonas mixtas de terrenos agrícolas y de uso urbano, han perdido prácticamente su vegetación ribereña original (2700-3000 m). En los sitios de zonas más bajas con paisaje agrícola-pastizal (mínimo 0.11 Mg C ha⁻¹ y máximo 0.51 Mg C ha⁻¹) se obtuvo un promedio de 0.71 Mg C ha⁻¹ y, el menor contenido de carbono, ya con paisaje agrícola-urbano (2400-2600 m) tuvo un promedio de 0.53 Mg C ha⁻¹.

Con la delimitación de paisajes fisiográficos y bioclimáticos homólogos ya efectuada, se realizó la extrapolación de los contenidos de carbono de biomasa

vegetal aérea a las siguientes unidades de paisaje: a) sin vegetación, b) pastizal alpino y zona urbana, c) agricultura y pastizal, d) Bosque de pino y e) Bosque mixto. Es menester aclarar que el uso de un índice de vegetación puede presentar la limitante de no poder diferenciar las reflectancias de las zonas de agricultura, del pastizal y la zona urbana. Esto, como factor metodológico adverso, tiene influencia en los resultados pues se obtuvieron unidades de paisaje mezcladas lo que afecta la realización de los cálculos de carbono por superficie por lo que en las unidades de paisaje denominadas pastizal alpino o pradera de alta montaña y en la zona urbana no se diferenciaron bien estos dos componentes y aun así, en la escena en composición del modelo RGB (del inglés Red, Green, Blue; rojo, verde, azul), el pastizal abarcó mayor superficie que la urbana en el polígono delimitado. Con esta salvedad, los resultados indican que los sitios ribereños de la parte más alta y que no poseen cobertura vegetal, abarcan un área de 2985.03 ha, los sitios de zonas de Bosque de pino y Bosque mixto tienen superficies de 34 462.8 ha y 38 015.2 ha respectivamente; mientras que los sitios ribereños adyacentes a terrenos con actividad agropecuaria con 10 038.8 ha y los sitios ribereños inmersos en la zona de pastizal alpino-zona urbana tuvieron 6197.04 ha. Los ecosistemas ribereños de la unidad de paisaje Bosque de Pino y Bosque Mixto, presentaron mayores contenidos de carbono por unidad de superficie (bosque de pino, 67 783.7 Mg C en 34 000 ha y el bosque mixto con 74 770.90 Mg de carbono en 38 000 ha y ambos con una tasa ligeramente cercana a 2 Mg C ha⁻¹ de ecosistema ribereño. En los sistemas ribereños adyacentes a zonas agrícolas con 5078.40 Mg de carbono en 10 000 ha y los de áreas de pastizal montano y de pastizal en zona urbana con 4798.587 Mg de carbono en 6000 ha, presentan una tasa de escasamente 0.5 Mg C ha⁻¹ de superficie ribereña de donde se deriva que la pérdida de carbono en zonas de pastos (principalmente de la zona agropecuaria) equivale a 1.5 Mg de C ha⁻¹ de ecosistema ribereño. De la misma manera, el contenido de carbono en vegetación ribereña, para las diferentes unidades de paisaje descritas, se ve influenciado directamente por la superficie calculada del NDVI, por lo que en una mayor superficie con mayor contenido de carbono, se tiene el almacén de carbono más grande (Figura 2).

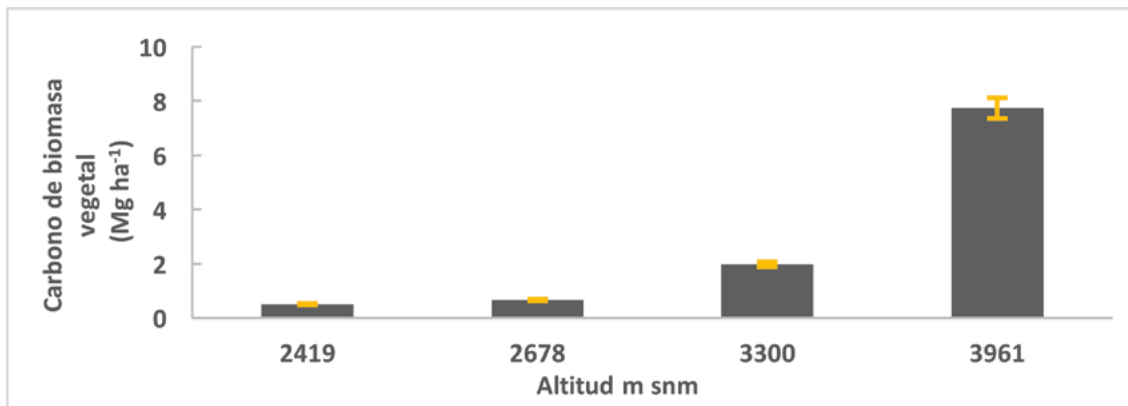


Figura 2. Contenido de carbono en biomasa aérea de vegetación riparia en la amplitud de 10 m respecto a la orilla de mayor altitud del agua del arroyo del ecosistema ribereño.

La calidad de la vegetación de ribera evaluada con el índice QBR, mostró relación directa con el NDVI, ya que, a valores altos de este índice, también los valores del índice de calidad de vegetación de ribera son los máximos de la escala (Cuadro 2).

Carbono en suelos ribereños

El principal almacén de carbono de cualquier ecosistema terrestre es el suelo. En los ecosistemas

ribereños estudiados se encontró que entre 3100 - 3700 msnm, donde el uso de suelo es forestal y la vegetación dominante es un bosque de *Pinus hartwegii-Abies religiosa* (Kunth Schltdl. et Cham.), el contenido de carbono fue mayor y, a pesar de que no se encontraron diferencias significativas, el carbono orgánico de suelos ribereños de estos bosques fue cerca de 60% mayor que en los sitios ribereños donde el uso de suelo es agrícola- urbano (Figura 3).

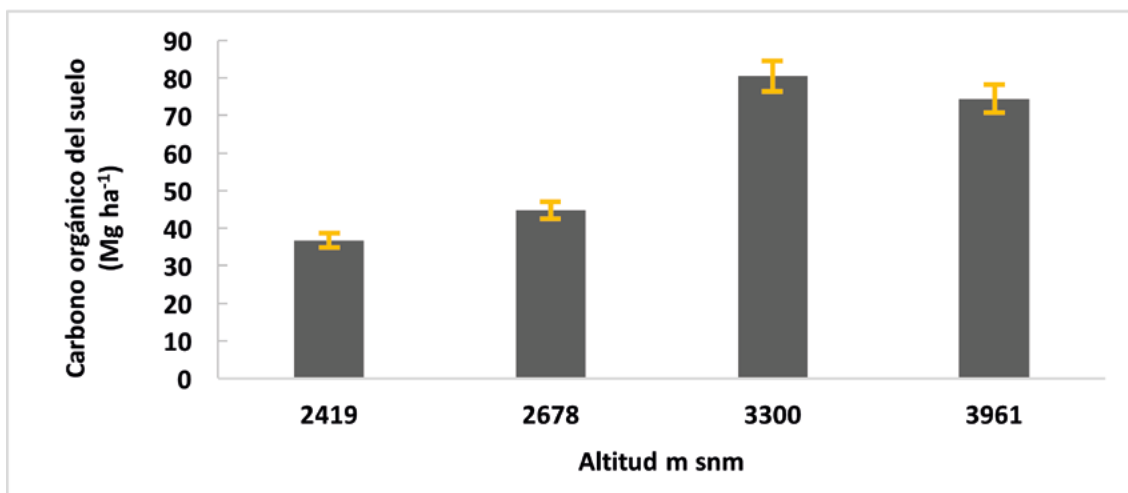


Figura 3. Contenido de carbono suelos de ecosistemas ribereños de la RBLV.

El carbono contenido en biomasa microbiana (CBM) aunque es una reducida fracción del total de carbono orgánico del suelo tiene gran importancia, por su labilidad, para el funcionamiento del ecosistema. El CBM se encontró en mayores contenidos en suelos ribereños adyacentes a los pastizales (praderas de alta montaña) donde no hay alteraciones evidentes del

suelo o de la vegetación riparia (3800 a 4000 msnm) y, aunque no se presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$), los contenidos de CBM de suelos ribereños fue hasta 44% mayor en los sitios de mayor altitud y mejor conservados, respecto a los suelos ribereños de zonas bajas (2400 - 2700 msnm) que son adyacentes a terrenos agrícolas y urbanos (Figura 4).

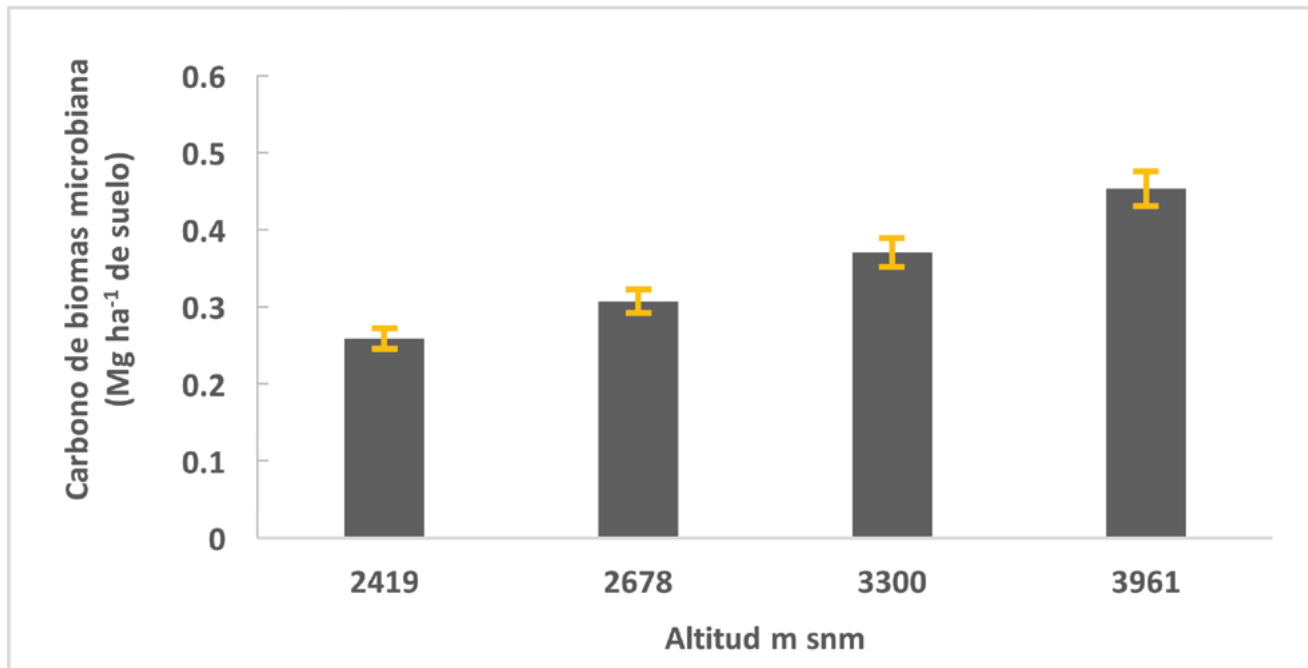


Figura 4. Contenido de carbono orgánico en biomasa microbiana en suelos ribereños en la RBLV.

Debe señalarse que los suelos ribereños estudiados, por la región en la que se desarrollan, comparten varias de las características de los grupos de suelos originados de ejetas volcánicas, como sus valores de pH que los clasifican de moderadamente ácidos a neutros (5 a 7.4), sus valores de conductividad eléctrica (CE) sumamente bajos (0.09 a 0.67 dS m⁻¹) con valores que clasifican a la densidad desde muy baja a muy alta de 0.7 a 1.7 g cm⁻³ (NOM-021-SEMARNAT-2000). Los parámetros edáficos ligados a las propiedades hidrológicas del suelo mostraron que el contenido gravimétrico de agua (CGA) fue mayor en suelos ribereños de las zonas de mayor altitud y, el contenido gravimétrico

de agua disminuye sustancialmente en más de 50% con las pérdidas de carbono que se dan en la capa u horizonte superior de los suelos. El agua capilar y el agua higroscópica, manifiestan un comportamiento similar al del CGA (Cuadro 2). Ligeramente distinto es el comportamiento de la infiltración de agua en el suelo que, aunque generalmente disminuye con la intensidad de uso en las zonas de mayores altitudes, donde dominan los zacatonales de montaña, dadas las altas densidades de raíces secundarias de los zacatonales que dan una estructura y agregación estable y muy compacta al suelo, no obstante, lo anterior, es la zona de mayor contenido de agua (Cuadro 2).

Cuadro 2. Propiedades físicas, propiedades hídricas e índice de vegetación de suelos ribereños en un gradiente de altitud.

Sitio Ribereño	pH 1:2	Conductividad Eléctrica	CAG	MOS	Agua capilar	Agua higroscópica	Velocidad de infiltración de agua	Índice de vegetación QBR
		dS m ⁻¹	g g ⁻¹	%			cm ³ h ⁻¹	
Cascada Ranita	5.1	0.09	0.52	5.78	4.6	43.3	164.2	100
Buenavista	5.9	0.11	0.40	7.03	1.43	42.78	1755.0	90
Xalitzintla	6.5	0.18	0.29	3.43	3.43	31.28	628.6	65
SN Ranchos	7.45	0.67	0.22	3.16	1.38	34.11	480.5	25

Densidad de población humana en comunidades y urbes que impactan a la RBLV

Según el Programa de la UNESCO sobre el Hombre y la Biósfera, las Reservas de Biósfera son lugares de aprendizaje del desarrollo sostenible en los que se concilia la conservación de la biodiversidad con el uso sostenible de los recursos naturales (UNESCO, 2017). Para conocer la magnitud de la influencia benéfica de los servicios ambientales brindados por sus ecosistemas y el capital natural alojado en la biodiversidad y, por otro lado, el impacto negativo generado hacia sus recursos naturales por la presión antrópica derivada de actividades productivas y extractivas, se presenta el número de habitantes según estadísticas del censo de población y vivienda de 2010. La presión de más de 800 000 habitantes (actualmente más de 1.04 millones de habitantes) en pueblos y comunidades muy cercanas

(primer núcleo periférico); más una cantidad cercana al millón y medio (1 466 848) de habitantes que se distribuye en poblaciones que circundan a la RBLV en el segundo núcleo periférico de población y ya, en el tercer núcleo periférico (que incluye algunos municipios del oriente del estado de México conurbados a la zona metropolitana de la CD MX, cuatro alcaldías de esta entidad y otras urbes de los estados de Morelos y Puebla), en un explosivo crecimiento urbano que agrega a la cifra anterior, casi siete millones (6 786 763) más de habitantes hasta alcanzar casi los 10 millones de habitantes quienes, como usuarios de su riqueza natural y los servicios ambientales, se benefician directa o indirectamente de la RBLV pero que a su vez, también ejercen fuerte presión antrópica e influencia negativa por ser la Reserva de la Biósfera del país y quizá del mundo en la que reside la mayor densidad poblacional (Cuadro 3).

Cuadro 3. Estimación de número de habitantes del primero, segundo y tercer núcleo periférico poblacionales que se benefician de los bienes y servicios ambientales de los ecosistemas de la Reserva de la Biósfera Los Volcanespero que ejercen en ella presión por actividades antrópicas.

Núcleo	Morelos		Puebla		México		CD MX		Totales y gran total
	P	H	P	H	P	H	P	H	
1o	Tetela del volcán	19 138	Tochimilco ¹	17 028	Atlautla	27 663	-	-	
	Hueyapan	6478	Huejotzingo ¹	63 457	Ecatzingo	9369	-	-	
	-	-	San Nicolás de los Ranchos.	11 734	Amecameca	48 421	-	-	
	-	-	Tlahuapan	36 518	Tlalmanalco	46 130	-	-	
	-	-	San Salvador el Verde	23 937	Ixtapaluca	322 271	-	-	
	-	-	Chiautzingo ¹	18 762	Texcoco ¹	235 151	-	-	
	<i>Subtotal</i>	<i>25 576</i>	<i>Subtotal</i>	<i>171 436</i>	<i>Subtotal</i>	<i>689 005</i>	-	-	<i>886 017</i>

Cuadro 3. Estimación de número de habitantes del primero, segundo y tercer núcleo periférico poblacionales que se benefician de los bienes y servicios ambientales de los ecosistemas de la Reserva de la Biósfera Los Volcanes pero que ejercen en ella presión por actividades antrópicas. (Continuación).

2o	Yecapixtla	16600	Calpan	85 000	Ozumba	27 207	-	-
	Oaxtepec	6939	Domingo Arenas	7421	Temamatla	11 206	-	-
	Cuatla	154 358	San Martín Texmelucan	141 112	Cocotitlán	12 142	-	-
	Yautepec	102 690	San Andrés Cholula	137 290	Valle de Chalco	357 645	-	-
-	-	-	San Pedro Cholula	113 436	Chalco	257 403	-	-
-	-	-	-	-	Tenango del aire	10 578	-	-
-	-	-	-	-	Juchitepec	23 497	-	-
-	-	-	-	-	Nepantla	2324	-	-
	<i>Subtotal</i>	<i>280 587</i>	<i>Subtotal</i>	<i>484 259</i>	<i>Subtotal</i>	<i>702 002</i>	-	- 1 466 848
3o	Cuernavaca	338 650	Atlixco	86 690	La Paz	238 800	Milpa alta	137927
-	-	-	Cd. Puebla	1576000	Chicoloapan	172 919	Iztapalapa	1827868
-	-	-	-	-	Chimalhuacán	525 383	Tlahuac	361593
-	-	-	-	-	Cd Neza	1 105 000	Xochimilco	415933
	<i>Subtotal</i>	<i>338650</i>	<i>Subtotal</i>	<i>1662690</i>	<i>Subtotal</i>	<i>2 042 102</i>	<i>Subtotal</i>	<i>2743321 6 786 763</i>
							Gran Total	9 335 637

P= Población. H= Habitantes. Elaboración propia con las siguientes fuentes: Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010), SEDESOL¹ Cédula de información municipal.

La mayor productividad vegetal y consecuente mayor almacenamiento de carbono es en el suelo de sitios ribereños no alterados sustancialmente por actividades antrópicas extractivas o recreativas, los cuales evidentemente poseen mayor biodiversidad y captura de carbono, mejores escenarios paisajísticos, mayor cantidad de recursos bióticos y mayores tasas de infiltración de agua en sus suelos en comparación a las zonas alteradas cuyos suelos ya están erosionados,

compactados o endurecidos y donde la infiltración ya no se presenta, la vegetación es escasa y se presentan fuertes pérdidas de especies en el ecosistema ribereño que pierde su conectividad y su función de corredor biológico y reserva genética.

Los resultados de densidades poblacionales muestran que en la medida que la presión poblacional se incrementa sobre los ecosistemas ribereños y, cuando más que aprovechamientos sustentables, se hacen

saqueos de recursos maderables y no maderables en los ecosistemas; y, cuando más que dar un uso racional del agua, se desvían y azolvan cauces, se entuban arroyos y se secan los ríos; y también, cuando más que utilizar los suelos y la vegetación de manera sustentable, se extrae suelo y sustratos (capas de musgo) para su venta, se elimina vegetación mediante tala-rasa y se saquea, para venta de tierra y saqueo de suelo destinado a su venta en invernaderos, los ecosistemas ribereños perderán al carbono en sus diferentes compartimentos y dado que es el principal elemento en la constitución de las moléculas fundamentales para la vida, se atenta día a día contra la salud del ecosistema, la del ambiente ribereño y la de la salud humana.

Siempre deberá estar presente en la mente de las personas de las generaciones actuales y venideras que, con la terrible pandemia provocada por el virus SARS-CoV-2, declarada como Emergencia de Salud Pública de Interés Internacional (Organización Mundial de la Salud OMS, 2020), ha quedado demostrada la gran interdependencia y fragilidad del equilibrio naturaleza-sociedad.

Aceptación distópica de la irreversibilidad del deterioro ambiental o educación para la sustentabilidad ecológico-económica

La situación expuesta parece no tener salida clara hacia la sustentabilidad pues los actuales manejos de los recursos no son alentadores en el sentido de alcanzar la sustentabilidad, sin embargo, la educación ambiental formal y no formal, y el rescate y aplicación de elementos de la legislación ambiental mexicana alinean la idea de aspirar a la sustentabilidad. A manera de ejemplo, para el ejercicio fiscal del año 2015, ya se planteaban lineamientos operativos para impulsar el Programa de Manejo de Tierras para la Sustentabilidad Productiva que quedó definido como:

“Sistema de prácticas de gestión de los recursos naturales terrestres para aprovechar, conservar, restaurar y mejorar su estructura, función y productividad ecosistémica y económica, sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras. Comprende la implementación de técnicas y las condiciones que hacen posible su aplicación y tiene lugar en territorios donde confluyen determinaciones sociales, culturales y económicas” (SEMARNAT, 2016).

Si está la teoría y la legislación, que se ponga en práctica. Por otro lado, considérense los elementos del marco ambiental normativo nacional e internacional en el que participa la nación mexicana en el que destacan:

a) Convenio Sobre la Diversidad Biológica, b) la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, c) Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, d) Ley General de Vida Silvestre y su Reglamento, e) Ley de Desarrollo Rural Sustentable, f) Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados, g) Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad hacendaria y su Reglamento, h) Ley Federal de Responsabilidades Administrativas de los Servidores Públicos y su Reglamento, i) Ley de Adquisiciones, Arrendamientos y Servicios del Sector Público y su Reglamento, j) Reglamento Interior de la SEMARNAT, k) NOM-059-SEMARNAT-2010 Protección ambiental -Especies nativas de México de flora y fauna silvestres -Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio -Lista de especies en riesgo, l) el Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2013-2018 cuyo Objetivo 4 fue Recuperar la funcionalidad de cuencas y paisajes a través de la conservación, restauración y aprovechamiento sustentablemente del patrimonio natural con la Estrategia 4.5 de Promover la integración de diferentes esquemas de conservación, fomento a buenas prácticas productivas y uso sustentable del patrimonio natural y la Línea de Acción 4.5.2 que fue Instrumentar el Programa de Manejo de Tierras para la Sustentabilidad Productiva.

Con todas estas leyes y reglamentos, aplicados debidamente y mediante la eliminación de mecanismos burocráticos excesivos, procesos negativos y tácticas de corrupción, puede impulsarse, aunque sea en forma gradual en un esquema participativo.

CONCLUSIONES

Los sitios ribereños de zonas con mayores contenidos de carbono almacenado en el suelo y en la vegetación aérea, son aquellos que prevalecen mejor conservados, pues los resultados mostraron

que el contenido de carbono en los compartimentos de vegetación aérea, suelo y biomasa microbiana fue mayor en sitios ribereños conservados adyacentes a las zonas forestales ubicadas a mayor altitud y en los zacatonales de las praderas de alta montaña.

Los bosques mixtos (Compuestos por dos o más especies arbóreas coexistentes), almacenan la mayor cantidad de carbono (>74 000 Mg) debido a que esa categoría abarcó mayor superficie, mayores valores del NDVI y también mayores valores de los índices de vegetación ribereña.

Esto puede asumirse como parcial y tomarse con reserva pues existe un valor de incertidumbre establecido por el mismo NDVI que no permite una delimitación más precisa de sitios con escasa vegetación.

Al carecerse de estudios incluyentes de todos los subsistemas de los ecosistemas ribereños y de aquellos que consideren los contenidos y flujos de carbono entre ellos, la sustentabilidad como fue definida, en la misma legislación ambiental está lejos de alcanzarse dadas las prácticas extractivas y de explotación de los recursos bióticos y abióticos que proporcionan los ecosistemas de ribera.

RECOMENDACIONES

Los sistemas ribereños no son iguales en cada uno de los pisos altitudinales en cualquier cuenca de todos los climas del planeta, sin embargo, sus funciones ecológicas y ambientales, sí lo son y debido a ello, se propone:

I. Definir legalmente tanto el ancho de la faja de amortiguación que debe tener el sistema ribereño, como establecer épocas de veda sobre caza furtiva y de extracción de recursos forestales sustentándose en el conocimiento de:

- a). Su dinámica y su equilibrio ecológico
- b). Las necesidades reales de uso de agua y de uso racional de otros recursos como suelo, flora y fauna
- c). Los requerimientos socio-económicos
- d). Los valores histórico-culturales y socio-económicos de las poblaciones que se sirven de ellos

II. Impulsar programas oficiales e intersectoriales de pago por servicios ambientales (hidrológicos, bonos de carbono, bonos de biodiversidad) que empiecen por favorecer a los usuarios directos y propietarios de

los bosques y ecosistemas riparios para que, viéndose beneficiados contribuyan verdaderamente y con compromiso a conservar y preservar las múltiples funciones de regulación y provisión en el marco de un manejo sustentable.

III. Crear, fomentar e impulsar programas de educación ambiental para conservar e incrementar los contenidos de carbono en cada compartimento de los ecosistemas ribereños que sean complementarios de otros programas de aprovechamiento racional de los recursos hídricos, edáficos y de organismos de la fauna y flora riparia.

IV. Promover las acciones necesarias (legales y administrativas) de gestoría, consultoría y ejecución para lograr el registro del Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl en el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas y el reconocimiento por parte de la CONANP, de la Reserva de la Biósfera Los Volcanes e incorporar ambas figuras de Áreas Naturales Protegidas en Programas nacionales e internacionales en Programas de conservación y de pagos por bonos de carbono y biodiversidad y servicios hidrológicos.

RECONOCIMIENTOS

A los estudiantes participantes de los programas de servicio social y de las asignaturas de los Laboratorios Integrales de Biología y Laboratorios de Investigación Formativa del Ciclo Terminal de la Carrera de Biología y la División de Estudios de Investigación y Posgrado de la FES Zaragoza de la Universidad Nacional Autónoma de México por los apoyos materiales y de recursos proporcionados. A la DGAPA-UNAM: PAPIIME PE 215016 y PAPIIT-IN22840 por el soporte económico de gastos de campo, becas de alumnos y materiales de laboratorio y campo. Al Programa Mexicano del Carbono por su apertura a proporcionar las fuentes de información referidas.

LITERATURA CITADA

- Allan, J. 2004. Landscapes and Riverscapes: The influence of Land use on Stream Ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 35:257-284.
- Alpizar, W. 1997. Proceso metodológico para la cuantificación de carbono de la biomasa en pie de bosque natural y sus estimaciones de no emisiones y fijación. Costa Rica: Oficina Costarricense de Implementación Conjunta.
- Andrade H. J., M. A. Segura-Madriral y A. Rojas-Patiño. 2016. Carbono orgánico del suelo en bosques riparios, arrozales y

- pasturas en Piedras, Tolima, Colombia. *Agronomía Mesoamericana* 27(2):233-241.
- Aufdenkampe, A. K., E. Mayorga, P. A. Raymond, J. M. Melack, S. C. Doney, S. R. Alin, R. E. Aalto and K. Yoo. 2011. Riverine coupling of biogeochemical cycles between land, oceans, and atmosphere. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9: 53-60.
- Chapin, S., P. Manson and H. Mooney. 2011. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. Springer Science and Business Media Inc. New York, NY, USA.
- Colli-Cortés, P. M., X. De Lucas-Vázquez, R. R. Gen Laguna, G. Cruz-Flores y E. A. Guerra-Hernández. 2015. Carbono del complejo suelo-mantillo bajo bosques de especies perennifolias y caducifolias en sistemas ribereños de montaña. pp. 212-216. En: Paz-Pellat, F., J. Wong y R. Torres (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015*. Serie Síntesis Nacionales. Texcoco, Estado de México: Programa Mexicano del Carbono-Centro de Cambio Climático Global y la Sustentabilidad en el Sureste, A. C. C.I.V.E. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. ISBN 978-607-96490-3-6. 702 p.
- CONAGUA. 2015. *Atlas del Agua en México*. Comisión Nacional del Agua. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- Cruz-Flores, G., E. A. Guerra-Hernández, L. Castillo Granada, M. Arteaga-Méjía y J. Campo. 2015. Variaciones de Carbono de Biomasa Microbiana y de ácidos húmicos y fúlvicos en suelos forestales de bosques de coníferas. pp. 133-142. En: Cruz-Flores, G. y A. B. López-López (eds.), *Re-descubriendo el suelo: Su importancia Ecológica y Agrícola*. México, D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. ISBN: 978-607-02-7468-8.
- Cruz-Flores, G. 2017. Introducción a los sistemas ribereños de montaña. pp. 1-8. En: Cruz-Flores, G. y E. A. Guerra-Hernández (eds.). *Ecosistemas Ribereños de Montaña. Descripción y estudio*. México ISBN: 978-607-02-9875-2: UNAM-FES Zaragoza.
- Cruz-Flores, G., I. Santiago-Aguilar, E. A. Guerra-Hernández y Y. Pérez-Reyes. 2017. Compartimentación del almacenamiento de carbono orgánico en ecosistemas ribereños de alta montaña. pp. 534-539. En: Paz-Pellat, F., R. Torres y A. Velázquez (eds.), *Estado actual del conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México. Síntesis a 2017*. Serie Síntesis Nacionales ISBN 978-607-96490-5-0. Texcoco, Estado de México: Programa Mexicano del Carbono, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada y Universidad Autónoma de Baja California. 656 p.
- Cruz-Flores, G., E. A. Guerra-Hernández, J. M. Valderrábano-Gómez, A. B. López-López, I. Santiago-Aguilar, C. Castillejos-Cruz, L. S. Campos-Lince, J. D. Etchevers-Barra, C. Hidalgo-Moreno, J. Sandoval-Aparicio y M. Mendoza-Cariño. 2019. Capítulo 17. Ecosistemas Ribereños. pp. 328-349. En: Paz-Pellat, F., J. M. Hernández-Ayón, R. Sosa-Ávalos y A. S. Velázquez-Rodríguez. (eds.). 2019. *Estado del Ciclo del Carbono: Agenda Azul y Verde*. Programa Mexicano del Carbono. Texcoco, Estado de México, México. ISBN: 978-607-96490-7-4. 716 p.
- Dourojeanni, A. 2000. *Procedimientos de gestión para el desarrollo sustentable*. Santiago de Chile: Cepal, Eclac.
- Figueroa, N., B. Etchevers, M. Velásquez y M. Acosta. 2005. Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. *Terra Latino Americana* 23:57-64.
- Friedlingstein, P., G. Peters, R. Andres and T. Boden. 2015. *Global Carbon Budget 2015*. *Earth System Science Data* 7:349-396.
- Guerra-Hernández, E. A. y G. Cruz-Flores. 2017. Carbono y uso del suelo en ambientes riparios de montaña. pp. 579-582. En: Paz-Pellat, F., R. Torres-Alamilla y A. Velázquez (eds.). *Estado actual del conocimiento del ciclo de carbono y sus interacciones en México: Síntesis a 2017*. Serie Síntesis Nacionales. ISBN 978-607-96490-5-0. Texcoco, Estado de México: Programa Mexicano del Carbono- Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada- Universidad Autónoma de Baja California. 656 p.
- Gerritsen, P., A. Lomelí y C. Ortíz. 2005. Urbanización y problemática socioambiental en la costa sur de Jalisco, México. Una aproximación. *Sociedad y Territorio* 17:107-137.
- Houghton, R. A., J. I. House, J. Pongratz, G. R. van der Werf, R. S. DeFries, M. C. Hansen, C. Le Quér and N. Ramankutty. 2012. Carbon emissions from land use and land-cover change. *Biogeosciences*. 9:5125-5242.
- IberoMAB. 2016. *Reservas de la Biósfera Iberoamericanas. Información Básica*. Secretaría de la Red IberoMAB. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España. Edición electrónica 2016.
- INEGI. Censo de Población y Vivienda 2010. Principales resultados por localidad (ITER). <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/?ps=microdato>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014. *CLIMATE CHANGE. Synthesis Report*. https://archive.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml. (Consulta: julio 20, 2020).
- Le Quéré, C., R. M. Andrew, P. Friedlingstein, S. Sitch, J. Hauck, J. Pongratz, P. A. Pickers, J. Korsbakken, P. Glen, J. G. Canadell, A. Arneeth, K. A. Vivek, L. Barbero, A. Bastos, B. Laurent, F. Chevallier, L. P. Chini, P. Ciais, S. C. Doney, T. Gkritzalis, D. S. Goll, I. Harris, V. Haverd, F. M. Hoffman, M. Hoppema, R. A. Houghton, G. Hurtt, T. Ilyina, A. K. Jain, T. Johannessen, C. D. Jones, E. Kato, R. F. Keeling, K. K. Goldewijk, P. Landschützer, N. Lefèvre, S. Lienert, Z. Liu, D. Lombardozzi, N.

- Metzl, D. R. Munro, J. Nabel, S. Nakaoka, C. Neill, A. Olsen, T. Ono, P. Patra, A. Peregon, W. Peters, P. Peylin, B. Pfeil, D. Pierrot, B. Poulter, G. Rehder, L. Resplandy, E. Robertson, M. Rocher, C. Rödenbeck, U. Schuster, J. Schwinger, R. Séférian, I. Skjelvan, T. Steinhoff, A. Sutton, P. P. Tans, H. Tian, B. Tilbrook, F. N. Tubiello, T. van der Laan-Luijkx, R. van der Werf, N. Viovy, A. P. Walker, A. J. Wiltshire, R. Wright, S. Zaehle, and B. Zheng. 2018. Global Carbon Budget 2018. *Earth Syst. Sci. Data* 10:2141–2194.
- Levy-Varon, J., W. S. Schuster and L. K. Griffin. 2014. Rapid rebound of soil respiration following partial stand disturbance by tree girdling in a temperate deciduous forest. *Oecologia* 174(4):1415-1424.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988 Texto vigente, Última reforma publicada DOF 05-06-2018.
- Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable LGDFS. 2018. Última Reforma DOF 13-04-2020.
- Ley de Aguas Nacionales (LAN) 2020. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1º de diciembre de 1992. Texto vigente. Última reforma publicada DOF 06-01-2020. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Secretaría General, Secretaría de Servicios Parlamentarios.
- López-Delgado, E., J. Vásquez-Ramos, F. Villa-Navarro y G. Reinoso-Flores. 2015. Evaluación de la calidad del bosque de ribera, utilizando un método simple y rápido en dos ríos de bosque seco tropical (Tolima, Colombia). *Revista Tumbaga* 1(10):6-29. ISSN 1909-4841.
- Mesta, F. M. E. 2017. Bases para el desarrollo de la legislación marino-costera en México. *Elementos Para Políticas Públicas* 1(1):63-76.
- Munné, A., C. Sola y N. Prat. 1998. QBR: un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. *Tecnología del agua* 175:20-39.
- Nessimian, J. L., E. M. Venticinqué, J. Zuanon, P. de Marco Jr., M. Gordo, L. Fidelis, J. D'arc Batista and L. Juen. 2008. Land use, habitat integrity, and aquatic insect assemblages in Central Amazonian streams. *Hydrobiologia* 614:117.
- Nilsson, C. and K. Berggren. 2000. Alterations of Riparian Ecosystems Caused by River Regulation. *BioScience* 50(9):783.
- Nilsson, C. and R. Jansson. 1995. Floristic differences between Riparian corridors of regulated and free-flowing boreal rivers. *Regulate rivers. Research & Management* 11:55-66.
- NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. <http://dof.gob.mx/nota-detalle.php?codigo=717582&>.
- NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf. (Consulta: agosto 17, 2020).
- Organización Mundial de la Salud. OMS. 2020. https://covid19responsefund.org/es/?gclid=EA1aIQobChMI7Jr-N5ImS6wIV9P3jBx07KQOeEAAYAiAAEgLIXPD_Bw. (Consulta: julio 16, 2020).
- ONU. Organización de las Naciones Unidas. 1987. Desarrollo y Cooperación Económica Internacional: Medio Ambiente. Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. "Nuestro futuro común" Cuadragésimo segundo período de sesiones.
- Powelson, D. S., P. C. Brookes and B. T. Christensen. 1987. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to Straw incorporation. *Soil Biology and Biochemistry* 19:159-164.
- Quiroz, B. I., R. S. Del Amo y P. J. M. Ramos. 2011. Desarrollo sustentable, ¿Discurso político o necesidad urgente? *Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad Veracruzana* 24(3).
- Robertson, G. P., D. C. Coleman, C. S. Bledsoe and P. Sollins. 1999. *Standard Soil Methods for Long-Term Ecological Research*. New York, USA. Oxford University Press. pp.106-114.
- Romero-López, C. A., G. Cruz-Flores y E. A. Guerra-Hernández. 2015. Evolución de CO₂ y captura de carbono de biomasa microbiana (CBM) de suelos ribereños en ecosistemas de montaña. pp. 224-231. En: Paz-Pellat, F., J. Wong y R. Torres (eds.). Estado actual del conocimiento del ciclo de carbono y sus interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales ISBN 978-607-96490-4-3. Texcoco, Estado de México, México: Programa Mexicano del Carbono-Centro del Cambio Climático y la Sustentabilidad en el sureste, A. C.-C.I.V.E. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 732 p.
- Rojas, F. 2004. Contenido y captura potencial de carbono en el bosque de *Pinus hartwegii* del Parque Nacional la Malinche: Tlaxcala-Puebla. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Sandoval-Aparicio, J. C., A. B. López -López, G. Cruz-Flores y E. A. Guerra-Hernández. 2016. Contenidos de carbono en suelos ribereños en una asociación de perfiles tipo del declive oriental de la región de los volcanes Iztaccíhuatl Popocatepetl. pp. 672-679. En: Paz-Pellat, F. y R. Torres-Alamilla (eds.). Estado actual del conocimiento del ciclo de carbono y sus interacciones en México: Síntesis a 2016. Serie Síntesis Nacionales ISBN 978-607-96490-4-3. Texcoco: Programa Mexicano del Carbono y Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 732 p.
- SEDESOL. 2015. Catálogo de localidades. Sistema de Apoyo para la Planeación del PDZP Sistema de Apoyo para la Planeación del PDZP <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/Locde->

- Mun.aspx?tipo=clave&campo=loc&ent. (Consulta: julio 28, 2020).
- SEMARNAT. 2016. <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/programa-de-manejo-de-tierras-para-la-sustentabilidad-productiva>.
- Shan-Min, S., P. C. Brookes and D. C. Jenkinson. 1987. Soil respiration and the measurement of microbial biomass C by the fumigation technique in fresh and in air-dried soil. *Soil Biology and Biochemistry* 19:153-158.
- Sutfin, N., E. Wohl and K. Dwire. 2016. Banking carbon: a review of organic carbon storage and physical factors influencing retention in floodplains and riparian ecosystems. *Earth Surf. Process. Landforms* 41:38–60.
- Sutfin, N. A. y E. Wohl. 2017. Substantial soil organic carbon retention along floodplains of mountain streams. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 122(7):1325–1338.
- Toledo, V. M. y B. Ortiz-Espejel. 2014. México, regiones que caminan hacia la sustentabilidad. © Universidad Iberoamericana. Puebla, Puebla, México. ISBN: 978-607-7901-52-5
- Torres, R. J. M. y A. Guevara. 2002. El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. *Gaceta Ecológica*. 60 p.
- UNESCO. 2017. <https://es.unesco.org/news/23-nuevas-reservas-biosfera-red-mundial-unesco>
- UNESCO. 2020. <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/ecological-sciences/biosphere-reserves/world-network-wnbr/>.
- United Nations Population Fund (UNP-Fund).94-09-07. 1994. Statement of Ind. Comm. for Population & Quality of Life. International Conference on Population and Development. Cairo, 7 September 1994. https://www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/94-09-07_Statement_of_Ind._Comm.pdf. (Consulta: julio 27, 2020).
- Valderrábano, G. J. M. y G. Cruz Flores. 2018. Sistemas de Información geográfica y distribución espacial de la calidad del suelo en el Parque Nacional Izta-Popo. XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo.
- Zarta-Ávila, P. 2018. La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad. *Tabula Rasa* 28:409-423. DOI: <https://doi.org/10.25058/20112742.n28.18>