

# **REGULACIÓN DE FLUJOS DE AGUA VINCULADOS A INDICADORES DE CALIDAD DE SUELO EN UNA REGIÓN PRIORITARIA PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD EN MÉXICO**

## **WATER FLOWS REGULATION LINKED TO SOIL QUALITY INDICATORS IN A PRIORITY REGION FOR BIODIVERSITY CONSERVATION OF MEXICO**

---

**Adriana Solis<sup>1</sup>, Miguel Á. Valera<sup>2</sup>, María G. Tenorio<sup>2</sup>**

(1) Posgrado en Ciencias Ambientales, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Posgrado en Ciencias Ambientales: Prolongación de la 14 Sur 6301, Bugambilias 3ra Sección, Puebla, Puebla, México. (2) Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas: 14 sur 6301, Fraccionamiento Jardines de San Manuel, CP. 72570. Puebla, Puebla, México  
(e-mail: tenorio.arvide@correo.buap.mx)

*Recibido: 13/08/2021 - Evaluado: 09/09/2021 - Aceptado: 30/09/2021*

---

### **RESUMEN**

Este estudio tuvo por objeto relacionar distintos indicadores de calidad de suelo con el servicio ecosistémico de regulación de flujos de agua en un área de importancia para la conservación de la biodiversidad en México, mediante el análisis de muestras de perfiles edafológicos. El término de servicios ecosistémicos es de gran importancia para las ciencias ambientales, que se vinculan los distintos beneficios que la naturaleza proporciona a la humanidad y así frenar la acelerada degradación de los cuerpos naturales en el mundo, se hace especial énfasis de esta relación hombre-naturaleza en una región amenazada por la deprivación acelerada de vegetación natural. La característica del suelo que destaca en la promoción del servicio ecosistémico de regulación de flujos de agua es la textura franca o franco arenosa, asociada con el servicio ecosistémico de regulación de los flujos de agua, es importante en una zona donde la compactación de este cuerpo natural propiciado por actividades agropecuarias hace que la escorrentía superficial aumente.

### **ABSTRACT**

The purpose of this study was to relate different soil quality indicators with the ecosystem service of water flow regulation in an area of importance for the conservation of biodiversity in Mexico, through the analysis of soil profile samples. The term ecosystem services are of great importance for environmental sciences, which link the different benefits that nature provides to humanity and thus stop the accelerated degradation of natural bodies in the world; special emphasis is placed on this man-nature relationship in a region threatened by accelerated deprivations of natural vegetation. The characteristic of the soil that stands out in the promotion of water flow regulation ecosystem service is the loam or sandy loam texture, associated with the ecosystem service of water flow regulation, it is important in an area where the compaction of this natural body caused by agricultural and livestock activities increases surface runoff.

Palabras clave: servicios ecosistémicos, interrelaciones, degradación del suelo, calidad de suelo  
Keywords: ecosystem services, interrelationships, soil degradation, soil quality

## INTRODUCCIÓN

El suelo, como recurso natural actualmente es considerado como no renovable es dinámico y es primordial para la vida (Schoonover & Crim, 2015), posee propiedades inherentes y dinámicas, que determinan la forma en la que ocurren los procesos dentro de este compartimento ambiental, y pueden ser medidas y usadas para evaluar la calidad de este (Dominati *et al.*, 2010).

La capacidad de un suelo para funcionar es reconocida por Karlen *et al.* (1997), como calidad del suelo. Esta definición se ha considerado básica y funcional, ya que equilibra los componentes químicos, físicos y biológicos del suelo (Schoonover & Crim, 2015). La calidad de suelo siendo un estado de salud de la pedosfera referida a las necesidades humanas, refiere un reto para la comunidad científica, en México y a nivel mundial (Segura-Castruita *et al.*, 2010); está vinculada con las propiedades y funciones que este compartimento ambiental desempeña y con la capacidad de los suelos de proveer servicios ecosistémicos.

La sociedad recibe de la naturaleza difentes beneficios naturales conocidos como servicios ecosistémicos, entre ellos la regulación del flujo de agua, que es un servicio que proporcionan en conjunto el suelo y la cobertura vegetal que soporta (FAO, 2020b); este servicio ecosistémico es vulnerable, debido a la deforestación de la cobertura vegetal y la variabilidad. Por otro lado, entre los servicios se incluye la regulación de caudales para mitigar inundaciones y otros desastres naturales, la recarga de mantos acuíferos, la purificación del agua y el control de la erosión (Pérez-Giraldo, 2018).

A nivel mundial la degradación de los suelos, y la fragmentación de los ecosistemas forman parte de los principales problemas ambientales, los cuales derivan principalmente de la sobreexplotación de los recursos naturales, el cambio de uso de suelo, la contaminación y la desigualdad social (PNUMA, 2019).

México reporta que 44.9% de sus suelos presenta algún tipo y/o proceso de degradación, que afecta a ecosistemas naturales y manejados, y que la superficie sin degradación aparente es de 105.2 millones de hectáreas (SEMARNAT, 2019). Por otro lado, el concepto de degradación hace referencia a la reducción de la calidad del suelo, lo que significa que 85.7 millones de hectáreas de suelo en México ven amenazada la capacidad para llevar a cabo estas funciones, las cuales a su vez se relacionan con los servicios ecosistémicos proporcionados y el bienestar humano.

La Región Terrestre Prioritaria (RTP) para la conservación de la biodiversidad 105: Cuetzalan, es un área delimitada por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad en el año 1996, presenta características físicas y bióticas relevantes desde el punto de vista de riqueza ecosistémica. A pesar de estas particularidades, existe una gran falta de información referente a la región y actualmente se considera como altamente fragmentada (Arriaga *et al.*, 2000).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Considerando que la calidad del suelo no es posible medirla directamente, se hace uso de indicadores, sobre de aquellos que consideran a las propiedades edáficas visibles a los cambios bajo las influencias ambientales y/o antropogénicas y que pueden usarse como indicadoras de su calidad (Rangel-Peraza *et al.*, 2017). La calidad innata o inherente del suelo se basa en el material original y es relativamente estacionaria, la calidad dinámica (modificada) cambia en respuesta al uso y manejo humano (Yao *et al.*, 2013).

Basados en la disponibilidad de información, en este estudio se consideraron propiedades tales como: tipo de suelo, textura, porcentaje de materia orgánica y de nitrógeno total, así como el valor pH de 67 muestras de perfiles edafológicos en el área de estudio. Con respecto a la calidad de suelos, en la región de estudio y basados en los trabajos previos se distinguen 12 perfiles con calidad inherente y 55 perfiles con calidad dinámica de suelo.

Dentro de las muestras predominan los suelos tipo Andosol o suelos de origen volcánico de acuerdo con la WRB (IUSS Working Group WRB, 2015). Este tipo de suelo tiene un alto potencial de producción agrícola, se considera extremadamente fértil, fácil de cultivar, con buenas propiedades de enraizamiento y buena capacidad de almacenar agua, en la región de estudio está ligado a la producción de café y a los cultivos de temporal como el maíz, frijol, trigo y hortalizas.

Sin embargo, sobre estos suelos es donde se encuentran los principales manchones de bosque mesófilo de montaña, bosque de pino-encino y bosque de encino dentro de la región, lo cual vuelve este tipo de vegetación vulnerable de ser convertida en tierra de uso agrícola.

Para describir la relación de la información referente a calidad de suelo con el servicio ecosistémico de regulación de flujos de agua, se utilizó el programa R-Commander, y se creó un indicador de regulación de flujos de agua que proporciona el suelo basado en la calidad de estos para después relacionar dicho indicador con las variables observadas en las muestras de suelos de la RTP 105, utilizando un modelo estadístico. Con esta información se procede a realizar el análisis estadístico de la relación de las propiedades de los suelos expresadas con las variables observadas en el recurso edáfico en la RTP 105, para así crear un indicador del servicio ecosistémico de regulación de flujos de agua, este proceso se divide en dos partes:

1. Utilizando el Análisis de Componentes Principales (APC), llevado a cabo con las variables observadas (%Materia Orgánica, %Nitrógeno y pH), se obtiene que la primera componente principal (PC1) explique el 77% de la variabilidad del fenómeno, destacando la importancia del %Materia Orgánica y del %Nitrógeno (figura 1).
2. Las puntuaciones (score) de la PC1 sirven como indicador del servicio ecosistémico de regulación de flujos de agua que proporciona el suelo en la RTP105.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos considerados en el estudio se clasificaron en trabajos previos de la siguiente forma (tabla 1):

Tabla 1: Tipo de suelo en los perfiles edafológicos en la RTP 105.

Tipo de suelo	No. de perfiles	Porcentaje %
Andosol	29	43.0
Luvisol	20	30.0
Cambisol	6	9.0
Leptosol	4	6.0
Feozem	3	4.5
Vertisol	2	3.0
Acrisol	2	3.0
Regosol	1	1.5
Total	67	100.0

Con respecto a la textura, es decir, los diferentes tamaños de partículas minerales en el suelo (Ciancaglini, 2011), la propiedad es relevante al considerarse la capacidad de retención de humedad, transporte y flujo de agua, además de relacionarse con el contenido de materia orgánica, la movilización de compuestos químicos, etc. (FAO, 2020a). Los perfiles observados muestran en su mayoría texturas arcillosa o franca (no predomina claramente ninguno de los tres tipos de partículas).

De acuerdo a Sales-Dávila (2006), la materia orgánica en los suelos proviene de una mezcla en proporciones y estados evolutivos variables de componentes biogénicos:

- i) 1-10% restos de vegetales y animales en fase de descomposición microbiana
- ii) 10-40 %, sustancias no húmicas compuestos orgánicos clasificables en categorías bioquímicas conocidas, como polisacáridos, ligninas, polímeros lipídicos, proteínas, resinas, pigmentos, etc.
- iii) 40-60 %, sustancias húmicas (SH), que constituyen el principal reservorio de carbono en los suelos.

La materia orgánica es fuente de nutrientes para las plantas y de energía para los microorganismos, actúa como reguladora del pH, al biodegradarse forma CO<sub>2</sub>, juega un papel importante en el proceso de intemperización, modificando propiedades físicas, en procesos geoquímicos que influyen en la productividad y preservación de los ecosistemas terrestres y se considera determinante en la calidad de suelo (Lal, 2015).

En México la NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (tabla 2), establece los valores de referencia para clasificar la concentración de la materia orgánica en los suelos minerales y volcánicos.

Tabla 2: Valores de referencia para porcentaje de materia orgánica en el suelo, adaptado de la NOM-021-RECNAT-2000.

Clase	Suelos volcánicos	Suelos no volcánicos
<b>Materia orgánica</b>		
<b>%</b>		
Muy bajo	< 4.0	<0.5
Bajo	4.1 - 6.0	0.6 - 1.5
Medio	6.1 - 10.9	1.6 - 3.5
Alto	11.0 - 16.0	3.6 - 6.0
Muy Alto	> 16.1	> 6.0

De los perfiles estudiados se tiene un porcentaje de materia orgánica que va desde el 2.7% hasta el 30.27%, lo que significa que hay una gran variabilidad, se observa que los perfiles con calidad inherente son los que poseen los valores más altos de materia orgánica.

Por otro lado, el nitrógeno total (N) que es para los seres vivos es un nutriente esencial y actúa como elemento limitante en la producción de biomasa. La cantidad de nitrógeno en el suelo dependen de: la vegetación, la actividad microbiana, la topografía, el material parental, las condiciones climáticas, las actividades antropogénicas y el tiempo (Perdomo & Barbazán, 2017). Recientemente se enfatiza en el contenido de nitrógeno por su incidencia en los problemas de impacto ambiental, esto debido el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados que provoca desnitrificación lo que contribuye a las emisiones terrestres de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), aunado a los lixiviados correspondientes que contaminan los acuíferos (Améndola-Massiotti, 2011). Para la NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, el porcentaje de nitrógeno total para suelos no volcánicos y suelos volcánicos (tabla 3).

Como ultima variable se distingue, a la acidez del suelo o pH, la cual es una medida de la actividad del ion hidrógeno (H<sup>+</sup>) en la solución del suelo y se define como el logaritmo negativo de la concentración de los iones:  $-\log^{10} [H^+]$ . En estado natural, la actividad de los H<sup>+</sup> es una función del material parental, el tiempo de intemperización, vegetación, clima y la topografía, el pH está influenciado por la actividad de las raíces de las plantas de los cultivos, uso de fertilizantes amoniacales, lluvia ácida, aplicaciones de abono, materia orgánica, prácticas de manejo agrícolas y la actividad biológica, estos dos últimos factores pueden ser manipulados en poco tiempo para aumentar la calidad de los suelos (Tenorio, 2008).

Un pH de 7.0 es neutro; suelos con pH menores a 7.0 son ácidos, mientras que los valores arriba de 7.0 son básicos o alcalinos. En general para los perfiles observados el valor de pH de los suelos es ligeramente ácido, dado

que los suelos con mayor cantidad de perfiles edafológicos registrados son de andosoles, y estos tienden a ser ligeramente ácidos de acuerdo con los autores de las publicaciones.

Tabla 3: Valores de referencia para porcentaje de nitrógeno total en suelos volcánicos y no volcánicos (Adaptado de: NOM-021-RECNAT-2000).

Clase	Suelos volcánicos	Suelos no volcánicos
	<b>Materia orgánica %</b>	
Muy bajo	< 4.0	<0.5
Bajo	4.1 - 6.0	0.6 - 1.5
Medio	6.1 - 10.9	1.6 - 3.5
Alto	11.0 - 16.0	3.6 - 6.0
Muy Alto	> 16.1	> 6.0

De acuerdo modelo lineal general que prueba la relación que existe entre calidad de suelo y servicio ecosistémico de regulación de flujos de agua proporcionados por el recurso suelo en la RTP 105, la variable respuesta es el indicador del servicio ecosistémico de regulación del flujo de agua (puntuación de la PC1) y las variables explícitas son el tipo de calidad de suelo observada, la textura y el tipo de suelo, las suposiciones del modelo: independencia de las observaciones, normalidad de los errores y homogeneidad de varianza de cumplen (figura 1, tabla 4).

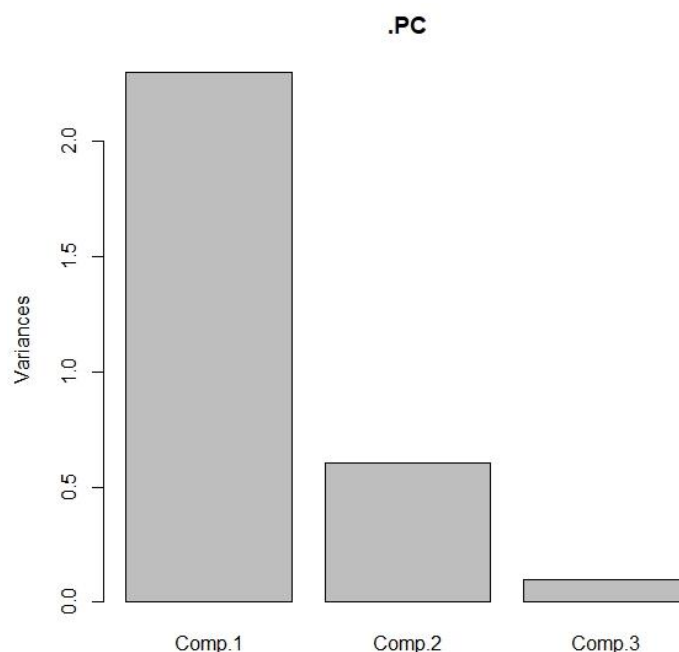


Fig. 1: Análisis de Componentes Principales utilizando las variables observadas en los suelos de la Región Terrestre Prioritaria 105.

Tabla. 4: Resultado de los Componentes Principales utilizando las variables observadas en los suelos de la RTP 105.

Component loadings:			
	Comp.1	Copm.2	Comp.3
Materia orgánica	<b>0.6261038</b>	0.2768307	0.72894357
Nitrógeno	<b>0.6092058</b>	0.4098321	-0.67890055
pH	<b>-0.486685</b>	0.8691389	0.08795062
Component variances:			
	2.29905226	0.60189775	0.09904999
Importance of components:			
Standard deviation	1.5162626	0.7758207	0.31472208
<b>Proportion of Variance</b>	<b>0.7663508</b>	0.2006326	0.03301666
Cumulative Proportion	0.7663508	0.9669833	1.00000000

Tabla. 5: Resultado de los Componentes Principales utilizando las variables observadas en los suelos de la RTP 105.

lm (formula = PC1 ~ Calidad + Textura + Tipo, data = Calidad)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.5186	-0.3954	0.0000	0.3609	2.9236

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	0.6847	1.4062	0.487	0.630012
Calidad[T.]	-1.4805	0.797	-1.858	0.073384 .
Textura[T.Arenosa]	3.8709	1.5401	2.513	0.017766 *
Textura[T.Franca]	2.84	1.5401	1.844	0.075414 .
Textura[T.Franco]	0.7663	0.618	1.24	0.224927
Textura[T.Franco Arcilloso]	1.4943	0.5502	2.716	0.011019 *
Textura[T.Franco Arenosa]	3.7753	0.8554	4.414	0.000129 ***
Textura[T.Franco Arenoso]	2.5	1.3648	1.832	0.077285.
Tipo[T.Andosol]	-1.5416	1.3484	-1.143	0.262274
Tipo[T.Cambisol]	-1.7276	1.5691	-1.101	0.279943
Tipo[T.Leptosol]	-1.2664	1.527	-0.829	0.41371
Tipo[T.Luvisol]	-1.3825	1.4092	-0.981	0.334681

Residual standard error: 1.263 on 29 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.5091 Adjusted R-squared: 0.3229

F-statistic: 2.734 on 11 and 29 DF p-value: 0.01481

Anova (LinearModel.1, type="II")

Anova Table (Type II tests)

Response: PC1

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Calidad	5.507	1	3.4513	0.073384 .
Textura	40.674	6	4.2484	0.003454 **
Tipo	2.496	4	0.3911	0.813254
Residuals	46.274	29		

En el gráfico (figura 2) se observa la relación entre el indicador propuesto para el servicio ecosistémico de regulación de flujos de agua (puntuación de la PC1) y la calidad del suelo en la RTP 105.

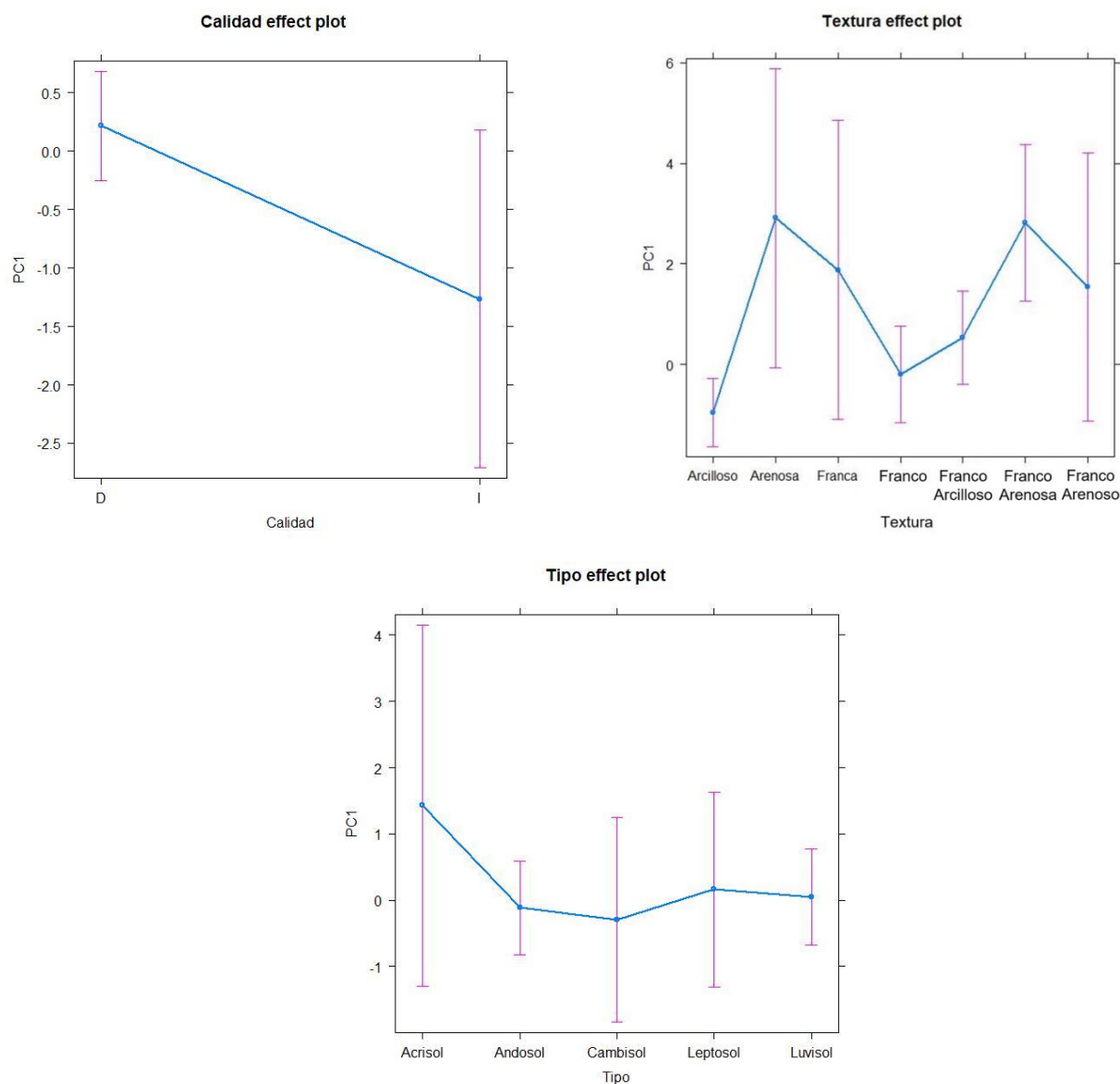


Fig. 2: Grafica de análisis del Modelo Lineal General aplicado a las variables observadas en los suelos de la RTP 105.

Se puede apreciar que existe una relación entre el indicador del servicio ecosistémico de regulación de flujos de agua y las variables observadas en los suelos de la RTP 105, destacando la importancia de la textura de estos para proporcionarlos, en especial la textura franca y franco-arenosa. Es importante señalar que desde 2016, Nahuelhual *et al.* (2016), reconocen la complejidad de establecer indicadores de calidad, además de que para cada servicio ecosistémico los indicadores no son únicos, la metodología y escala de aplicación es diferente. Por ejemplo, Arellano y Ruíz (2018), señalan que la búsqueda de indicadores que expliquen el flujo del agua es compleja y requiere de diversos parámetros para su total caracterización, para ellos la importancia de la cobertura

forestal y la pérdida de suelo causada por la erosión hídrica son importantes en la valoración de los servicios ecosistémicos.

## CONCLUSIONES

Se reconoce un claro deterioro en los suelos en la región de estudio, basado en las muestras recopiladas de la región el 82% de los perfiles corresponden a suelos con calidad dinámica, o sea modificada.

Diversas propiedades descritas en los perfiles de suelo como la textura y el contenido de materia orgánica están relacionadas con este servicio ecosistémico, la calidad inherente está vinculada a una mejor capacidad de infiltración de agua y en una zona que presenta precipitaciones que en algunas zonas son superiores a los 3000 mm de no tener un adecuado manejo del suelo este será incapaz de cumplir esta función propiciando situaciones adversas como desastres naturales y erosión hídrica. Los perfiles con calidad dinámica muestran poca o nula vegetación natural por lo que su cobertura se basa en producción agrícola o pecuaria, la cual muestra una disminución en la cobertura de materia orgánica y por ende servicio ecosistémico es proporcionado en menor cantidad.

La característica del suelo que destaca en la promoción del servicio ecosistémico de regulación de flujos de agua es la textura, esto de acuerdo con los resultados del ejercicio estadístico realizado. La textura franca o franco arenosa, asociada con el servicio ecosistémico de regulación de los flujos de agua, es importante en una zona donde la compactación de este cuerpo natural propiciado por actividades agropecuarias hace que la escorrentía superficial aumente, desestabilizando así el servicio ecosistémico de moderación de fenómenos naturales, vinculado a los deslaves ocurridos en 1999 en esta zona.

Los suelos que aún conservan la capacidad de proporcionar servicios ecosistémicos de forma integral asociados a la calidad inherente son los que proporcionan mayor regulación de los flujos de agua, característica propia de los sistemas forestales.

## REFERENCIAS

Améndola-Massiotti, E. H.-A. R. (2011). Concentración De Nitrógeno En Suelo Por Efecto De Manejo Orgánico Y Convencional. *Terra Latinoamericana*, 29 (3), 325–332.

Arellano Monterrosas, J.L. & Ruiz Meza, L.E. (2018). Evaluación y tendencias de los servicios ecosistémicos hidrológicos de la cuenca del río Zanatenco, Chiapas. *Investigaciones geográficas*, (95) <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n95/2448-7279-igeo-95-00005.pdf>

Arriaga, L., Espinoza, J.M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L. & Loa, E. (2000). *Regiones Terrestres Prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad*. México. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/terrestres.html>

Ciancaglini, N. (2011). *Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico*. PROSAP. [http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20\\_R001\\_Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf](http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20_R001_Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf)

Dominati, E., Patterson, M. & Mackay, A. (2010). A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics*, 69 (9), 1858–1868. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.05.002>

FAO. (2020a). Portal de Suelos de la FAO. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura. <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>

FAO (2020b). Servicios ecosistémicos y biodiversidad. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La



Agricultura. <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/>

IUSS Working Group WRB (2015). *Base referencial mundial del recurso suelo 2014. Sistema internacional de clasificación de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos*. In Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos. <https://www.fao.org/3/i3794es/I3794es.pdf>

Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F. & Schuman, G. E. (1997). Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation (A Guest Editorial). *Soil Science Society of America Journal*, 61 (1), 4–10. <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100010001x>

Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability (Switzerland)*, 7 (5), 5875–5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>

Nahuelhual, L., Barrena, J. & Littera P. (2016). *Indicadores de servicios ecosistémicos: Una revisión y análisis de su calidad*. Technical Report. Ministerios del Medio Ambiente. Gobierno de Chile. DOI: 10.13140/RG.2.2.26830.46403

Perdomo, C. & Barbazán, M. (2017). *Cátedra de fertilidad: nitrógeno*. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Tomado de: <http://www.fagro.edu.uy/fertilidad/publica/Tomo%20N.pdf>

Pérez-Giraldo, D.A. (2018). *Interpretación de la regulación de flujos de agua a partir de un estudio de caso*. Documentos de Trabajo ECAPMA, 2. <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.2953>

PNUMA. (2019). *Fonteras 2018/19. Nuevos temas de interés ambiental*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

Rangel-Peraza, J.G., Padilla-Gasca, E., López-Corrales, R., Medina, J.R., Bustos-Terrones, Y., Amabilis-Sosa, L.E. et al. (2017). Robust Soil Quality Index for Tropical Soils Influenced by Agricultural Activities. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, 06 (04), 199–221. <https://doi.org/10.4236/jacen.2017.64014>

Sales-Dávila, B. (2006). *Caracterización de la materia orgánica de suelos representativos de ecosistemas amazónicos del Perú, departamento de Ucayali, e influencia de su uso y manejo en el secuestro del carbono*. Trabajo de Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Sevilla. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/66313/4/Caracterizaci%C3%B3n%20de%20la%20materia%20org%C3%A1nic a%20de%20suelos.pdf>

Schoonover, J.E. & Crim, J.F. (2015). An Introduction to Soil Concepts and the Role of Soils in Watershed Management. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 154 (1), 21–47. <https://doi.org/10.1111/j.1936-704x.2015.03186.x>

Segura-Castruita, M., Borunda, G. & Fortis, M. (2010). *El Futuro de la Ciencia del Suelo* (A. E. Hartemink (ed.)). IUSS International Union of Soil Science.

SEMARNAT (2019). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2018. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2018. In SEMARNAT.

Tenorio, M.G. (2008). *Relación de las propiedades fisicoquímicas y calidad de los suelos de Tetelilla, Teziutlán, Puebla* (Tesis Doctoral en Ciencias Ambientales, no publicada). Benemérita Universidad Autónoma del Estado de Puebla. México.

Yao, R., Yang, J., Gao, P., Zhang, J. & Jin, W. (2013). Determining minimum data set for soil quality assessment of typical salt-affected farmland in the coastal reclamation area. *Soil and Tillage Research*, 128, 137–148. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.11.007>

