

BASE DE DATOS PARA LA ESTIMACIÓN DE SEDIMENTOS EN SUBCUENCAS DE MÉXICO

DATABASE FOR THE ESTIMATION OF SEDIMENTS IN SUBCUENCAS OF MEXICO

Víctor Manuel Salas-Aguilar^{1†} y Fernando Paz-Pellat²

¹Geoinformática, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Carretera Cuauhtémoc-Anáhuac km 3.5, Ejido Cuauhtémoc, 31600 Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua.

²Postgrado en Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Texcoco 56230, Estado de México, México.

[†]Autor para correspondencia: vsalasaguilar@gmail.com

RESUMEN

La generación de información fisiográfica relacionada con procesos de sedimentación es importante para calibrar y validar modelos a escala de subcuenca. El objetivo de este trabajo fue generar una base de datos que contenga datos hidrológicos y fisiográficos en cuencas aforadas y no aforadas en México. Los datos hidrológicos se recopilaron y sintetizaron de la base de datos BANDAS de la Comisión Nacional del Agua, la topografía se generó de un modelo digital de elevación y, el porcentaje de uso de suelo se obtuvo de las series de uso de suelo y vegetación de INEGI. El geoprocésamiento de la información se generó en el programa Python^{MR} y el manejador de base de datos SQLITE^{MR} 3.0. Los resultados fueron bases de datos fisiográficas que contienen las variables procesadas y se identifican por el número de estación hidrométrica oficial para las cuencas aforadas. Para el caso de cuencas no aforadas se les asignó un valor que sirviera de identificador. La información climática e hidrométrica esta agrupada por los periodos correspondientes a las series de uso de suelo y vegetación (promediada por cada periodo). Las bases de datos se presentan como anexos en formato tabular, con la intención de que sea interoperable por cualquier usuario, sin la necesidad de tener conocimientos en programas informáticos.

Palabras clave: base de datos hidrológica; BANDAS; escurrimiento; geoprocésamiento; interoperabilidad.

ABSTRACT

The generation of physiographic information related to sedimentation processes is important to calibrate and validate sub-basin scale models. The objective of this work was to generate a database containing hydrological and physiographic data in gauged and ungauged basins in Mexico. The hydrological data were collected and synthesized from the BANDAS database of the Comisión Nacional del Agua, the topography was generated from a digital elevation model and the percentage of land use was obtained from the INEGI land and vegetation use series. The geoprocessing of the information was generated in the Python^{RM} program and the SQLITE^{RM} 3.0 database manager. The results were physiographic databases that contain the processed variables and are identified by the official hydrometric station number for the gauged basins. In the case of ungauged basins, a value was assigned to serve as an identifier. The climatic and hydrometric information is grouped by the periods corresponding to the series of land and vegetation use (averaged for each period). The databases are presented as annexes in tabular format at the end of the document, the intention of the presented format is that it can be interoperable by any user without knowledge of computer programs.

Key words: hydrological database; BANDAS; runoff; geoprocessing; interoperability.

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas para hacer modelación ambiental en México, es la falta de información operativa y sintetizada que permita a los investigadores generar datos relevantes para sus campos de interés. La complicación yace en que en los países en desarrollo aún existen barreras conceptuales, tecnológicas y culturales, que impiden que se propague la información generada por diversas fuentes (datos gubernamentales, tesis o artículos de posgrado) al usuario común (Vargas *et al.*, 2017).

La información hidrológica de investigaciones relacionadas con sedimentos ha sido poco difundida; sin embargo, Marín-Sosa *et al.* (2017) hicieron una recopilación de la información existente de literatura publicada y literatura gris (tesis o investigaciones sin publicar en revistas de difusión científica) en diferentes estados de México a escala de parcela.

En el caso de bases de datos hidrológicas públicas, México ha hecho esfuerzos para procesar la información registrada en papel y almacenarla en bases (CONAGUA, 2013), con datos diarios, mensuales y anuales, de registros hidrológicos (escurrimientos y sedimentos) proporcionados por las estaciones hidrométricas históricas del país.

La información de la base de datos BANDAS, de estaciones hidrométricas de la Comisión Nacional del Agua, presenta algunos inconvenientes como son: calidad de datos, huecos de información, además que la información de las estaciones está en archivos separados, lo que la hace poco operativa para análisis de estudios regionales. La propuesta del Programa Mexicano del Carbono es realizar un geoprocesamiento,

síntesis y publicación, de la información existente relacionada con los flujos de carbono a nivel nacional; en este contexto se ha realizado procesamiento de información geomorfométrica (Salas-Aguilar y Paz-Pellat, 2017), cronosecuencias de carbono (Casiano-Domínguez *et al.*, 2017) e inventarios de gases de efecto invernadero (Paz *et al.*, 2017).

En el caso del presente trabajo, el objetivo fue generar información topográfica, hidrometeorológica y de uso de suelo, para cuatro periodos de tiempo, desde 1975 hasta 2011. El trabajo se centra en sintetizar bases de datos fisiográficas de cuencas aforadas que contengan datos de sedimentos, además de generar información para cuencas no aforadas pertenecientes al litoral de México. Lo anterior con la intención de generar modelos a escala nacional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Datos vectoriales de subcuencas en México

El producto vectorial de subcuencas en México se obtuvo de un procesamiento en el que se verificó la superficie real de las subcuencas mediante técnicas de sistemas de información geográfica y base de datos (PMC, 2013). El total de subcuencas que presenta este producto es de 1478 (Figura 1), de las cuales, solo 911 se encuentran aforadas (estaciones hidrométricas de la CONAGUA) e identificadas de acuerdo con las estaciones hidrométricas de la base de datos BANDAS (CONAGUA, 2013). Las cuencas restantes, al no tener asociado un identificador referente a una estación hidrométrica, fue necesario asignarles un número entero consecutivo (1, 2, 3, ..., 561).

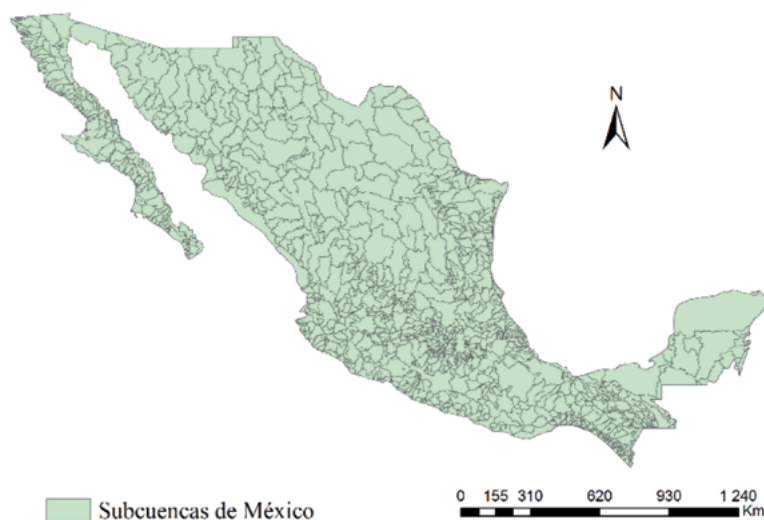


Figura 1. Subcuencas en México.

Para la estimación de transferencias tierra-mar, se seleccionaron en un archivo separado las cuencas pertenecientes al litoral (costeras), para poder obtener su información fisiográfica (Figura 2).

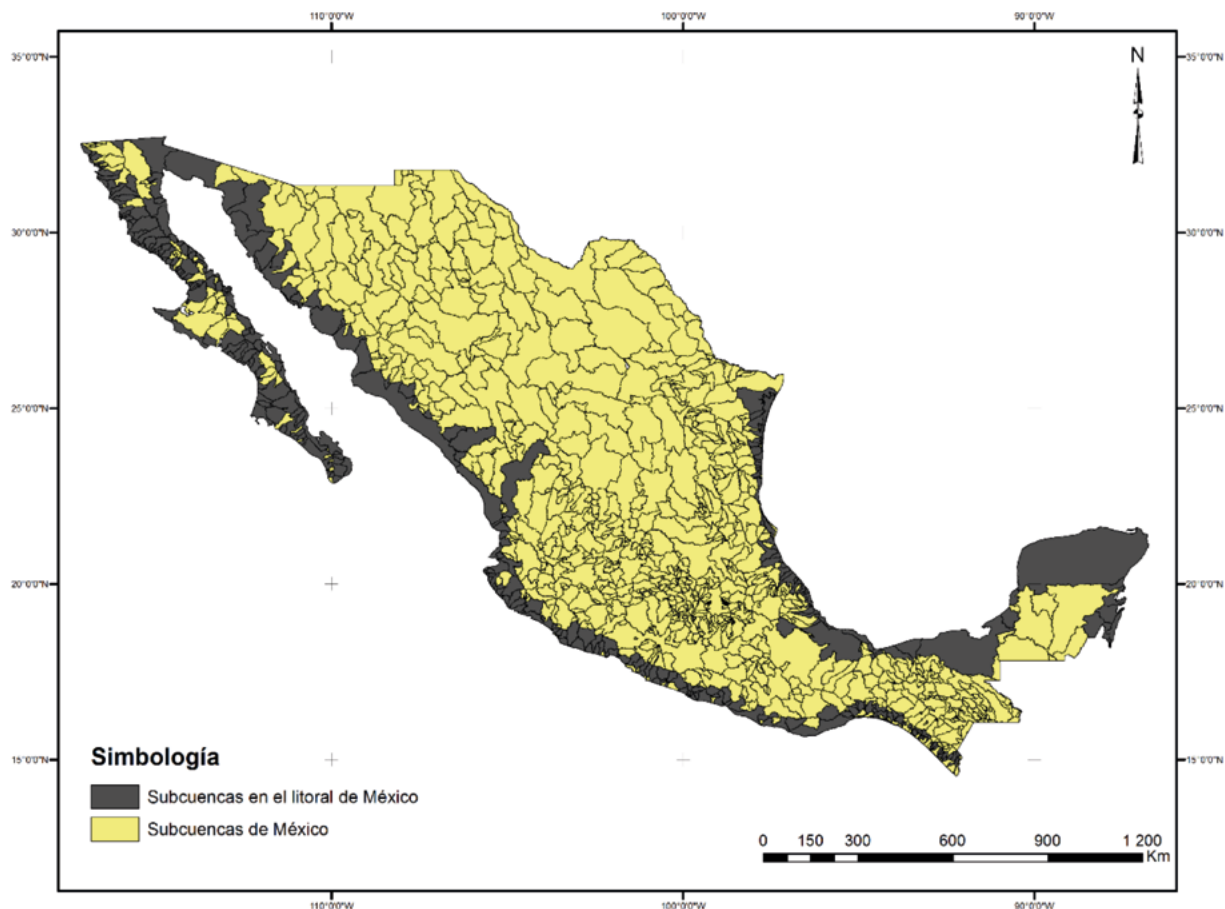


Figura 2. Subcuencas pertenecientes al litoral de México.

Parámetros fisiográficos en cuencas aforadas

Se preparó una base de datos que incluyera las variables fisiográficas que controlan la producción de sedimentos medidos en las estaciones hidrométricas de la CONAGUA. Las variables fueron agrupadas en tres categorías: topografía, hidrometeorológica y uso del suelo. La información topográfica y climática se encuentra en formato ráster, para extraer su información se escribió un código en Python, el cual considera un identificador base para obtener las estadísticas del ráster. El archivo vector shapefile Subcuencas de México contiene este identificador (número de estación hidrométrica) y se utiliza para almacenar las estadísticas (mínimo, máximo, media, rango) de los ráster procesados y los almacena en tablas específicas.

Variables topográficas

La información topográfica se obtuvo del modelo digital de elevación 1:50 000 del INEGI, los datos extraídos fueron: área (km²), altitud mínima (m), altitud máxima (m), altitud media (m) y rango altitudinal (Hr).

Variables hidrometeorológicas

La información hidrométrica consiste en registros de escurrimiento superficial y producción de sedimentos a nivel subcuenca, los datos se encuentran almacenados en el Banco Nacional de Aguas Nacionales (BANDAS) de estaciones hidrométricas. Se consideró la base de datos anual de BANDAS, donde el escurrimiento y la producción de sedimentos se encuentran registrados en miles de m³ anuales. Para calcular la lámina de

escurrimiento, se dividió el volumen (m^3) entre el área de la cuenca (m^2), el resultado se multiplicó por 1000 para llevarlo a mm. En el caso de la producción de sedimentos se usó la siguiente fórmula:

$$S = L * Da * 10 \quad (1)$$

donde S es la producción de sedimentos ($Mg\ ha^{-1}$), L es la lámina de sedimentos que se calcula en forma similar a la lámina de escurrimiento y Da es la densidad aparente ($Mg\ m^{-3}$).

Los datos de precipitación y temperatura a nivel diario fueron adquiridos de la Malla Climática Nacional (PMC, 2015). La malla se compone de 3147 nodos, equidistantes a 27 km, distribuidos en todo el país; contiene información diaria de precipitación, temperatura mínima y máxima de 1950 a 2013. Con los datos de temperatura se calculó la evapotranspiración potencial por el método de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985) y los datos fueron transformados a escala anual.

Los datos de uso de suelo y vegetación se recabaron de las series I, II, III y IV (INEGI, 2014) en formato vectorial. La serie I tiene antecedentes a partir de 1978 y finaliza en 1995, en esta cartografía se considera el estado actual de la vegetación en sus estados Primario y Secundario. La serie II se realizó de 1996 a 1999, la serie III del año 2002 a 2005 y, por último, la serie IV se desarrolló bajo el mismo marco conceptual de la serie III, con imágenes de satélite SPOT multiespectrales correspondientes al periodo 2003-2009.

Para homologar la descripción de los usos de suelos y vegetación, se resumieron por comunidades vegetales y se extrajo el porcentaje del área que le corresponde por cada subcuenca; cuerpo de agua (%), área agrícola (%), área sin vegetación (%), bosque (%), matorral (%), pastizal (%), selva húmeda (%), selva seca (%), vegetación hidrófila (%) y zonas urbanas (%).

Se realizó un promedio de la información hidrometeorológica con los siguientes periodos: 1978-1995, 1996-1999, 2002-2005 y 2007-2011, que corresponden a los periodos de las series de uso de suelo de INEGI, I, II, III y IV, respectivamente.

Parámetros fisiográficos en cuencas costeras

Los datos fisiográficos de las cuencas costeras fueron los mismos que en las cuencas aforadas; sin embargo,

en estas cuencas se consideró la serie V de uso de suelo y vegetación de INEGI (2007-2011). En ninguna de las estaciones existen datos hidrométricos, por lo tanto, la información registrada es solo topográfica, climática y de uso de suelo.

Unión de la información

La información generada anteriormente se almacenó según su tipo: hidrometeorológica, topográfica y de uso de suelo. Se empleó el manejador de base de datos SQLITE para hacer las consultas y realizar las uniones de las distintas tablas y generar una base de datos única que contuviera todas las variables. El campo *Estacion_Hidro*, sirvió como llave principal para general la unión.

Como se mencionó en la sección anterior, los datos de uso de suelo y vegetación corresponden a un número limitado de años. Para hacer comparable esta información con los datos hidrometeorológicos, se realizó una consulta en SQLITE y se añadió una condicionante que homologara los años de datos hidrometeorológicos con los respectivos años de las series de uso de suelo y vegetación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuencas aforadas con registros de sedimentos

Se obtuvieron 287 subcuencas aforadas con datos de sedimentos, los criterios de elección de las estaciones se basaron en que tuvieran, al menos, un año de registros (Figura 3). La base de datos anual donde se presentan todos los años de las variables procesadas para cada estación se puede observar en el sitio de internet definido más adelante.

Para hacer una homologación entre las series de uso de suelo de INEGI y los datos procesados, se procedió a hacer un promedio de los registros hidrometeorológicos por periodo. En el periodo de la serie I (1978-1995) 281 estaciones tienen registros de datos. Para el periodo de la serie II, 23 estaciones tienen datos y, para el periodo de la serie III 2002-2005, solo 20 estaciones poseen registros. En el último periodo de la serie IV (2007-2011) no existen datos de sedimentos. Los campos de las bases de datos se explican en el Cuadro 1.

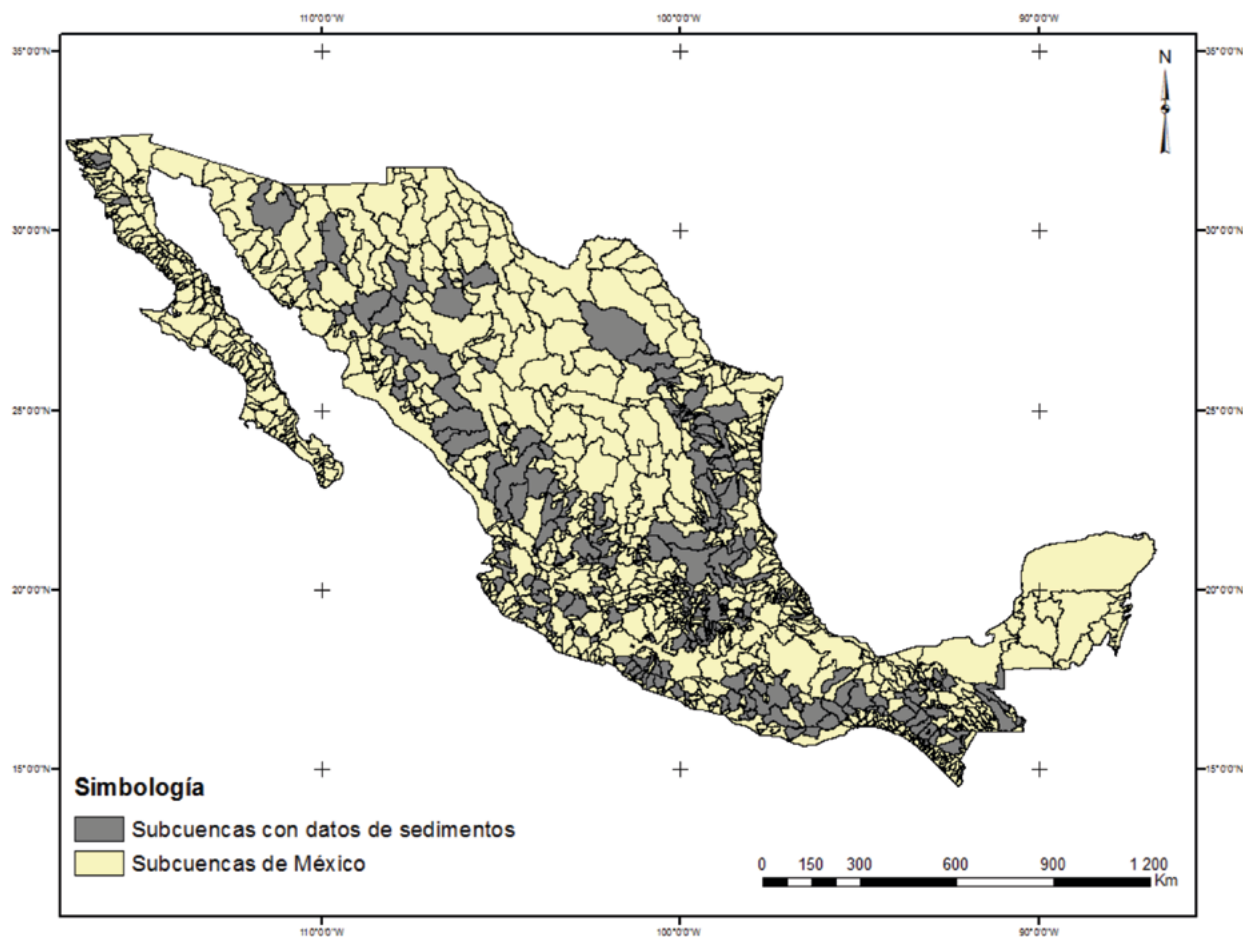


Figura 3. Subcuencas con registros de sedimentos.

Cuadro 1. Diccionario de las bases de datos fisiográficas de las cuencas aforadas.

Campo	Significado
Estación	Identificador oficial de la estación hidrométrica
Área	Superficie (km ²)
VolEsc	Volumen de escurrimiento (miles m ³)
LaminaEsc	Lamina de escurrimiento (mm)
VolSed	Volumen de sedimento (miles m ³)
SedimentoTon	Cantidad de sedimentos (Mg ha ⁻¹)
Pmed	Precipitación media (mm)
Eto	Evapotranspiración potencial (mm)
Hmax	Altitud máxima (m)
Hmin	Altitud mínima (m)
Hmed	Altitud media (m)

Campo	Significado
Hrange	Rango Altitudinal (m)
Agua	Cuerpo de agua (%)
Agrícola	Área agrícola (%)
Sv	Área sin vegetación (%)
Bosque	Bosque (%)
Matorral	Matorral (%)
Pastizal	Pastizal (%)
Sh	Selva húmeda (%)
Ss	Selva seca (%)
Vh	Vegetación hidrófila (%)
Zu	Zona urbana (%)

La información fisiográfica, por periodo, se presenta en los anexos que se señalan en el Cuadro 2. Los anexos presentan la información sintetizada de las variables topográficas, hidrometeorológicas y de uso de suelo, para cada estación hidrométrica. La información también puede descargarse en hojas de EXCEL en el sitio de internet que se indica más adelante.

Cuadro 2. Descripción de los anexos que almacenan las variables fisiográficas por periodo.

Anexo	Descripción
Anexo 1. Fisiografía I	Base de datos fisiográfica del periodo 1975-1995
Anexo 2. Fisiografía II	Base de datos fisiográfica del periodo 1996-1999
Anexo 3. Fisiografía III	Base de datos fisiográfica del periodo 2002-2005

Cuencas Costeras

En relación con las subcuencas que desembocan hacia el océano, las bases procesadas solamente contienen datos de variables topográficas, climáticas y de uso de suelo; es decir, en estas cuencas no

se contemplan cuencas aforadas (con datos de escurrimiento y sedimentos). En este caso las bases de datos están homologadas a las series de uso de suelo de INEGI IV y V. La descripción de las bases de datos se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Diccionario de las bases de datos fisiográficas de las subcuencas costeras.

Campo	Significado
Estación	Identificador de la subcuenca
Año	Periodo de años de la serie
Eto	Evapotranspiración potencial (mm)

Continuación Cuadro 3...

Campo	Significado
Pma	Precipitación media anual
Área	Superficie de la subcuenca (km ²)
Agrícola	Área agrícola (%)
Agua	Cuerpos de agua (%)
Bosque	Bosque (%)
Dv	Desprovisto de vegetación (%)
Matorral	Matorral (%)
Pastizal	Pastizal (%)
Sh	Selva húmeda (%)
Ss	Selva baja (%)
Hidrófila	Vegetación hidrófila (%)
Zu	Zona urbana (%)
Hmin	Altitud mínima (m)
Hmax	Altitud máxima (m)
Hrango	Rango altitudinal (m)
Hmedia	Altura media (m)

Los anexos que contienen la información son: Anexo 4. Fisiografía de cuencas costeras IV, que corresponde al periodo 2003-2009 y Anexo 5. Fisiografía de cuencas costeras V, que pertenece al periodo 2009-2012. En cada periodo se calculó un promedio de las variables climáticas y de uso de suelo. Debido a que algunas de estas subcuencas no están aforadas y no cuentan con identificador oficial, se le asignó un identificador y se obtuvieron sus coordenadas centrales. El anexo del identificador con las coordenadas se presenta en el Anexo 6. Identificador y Coordenadas de Cuencas Costeras.

En este trabajo se realizaron procesos geoinformáticos, a partir de los cuales se generó información fisiográfica a nivel de subcuenca, la cual se relaciona con procesos erosivos y de generación de sedimentos. Los resultados mostraron que los datos sobre sedimentos, en las subcuencas de México, han disminuido en los últimos años. Sin embargo, la información que se generó a escala nacional puede ser útil para calibrar y validar modelos en cuencas aforadas, así como para probar modelos en cuencas no aforadas y tener información operativa de sedimentos en todas las subcuencas del país.

COMENTARIOS FINALES

Un paso importante para la generación de información relevante en términos ambientales, es el procesamiento de grandes cantidades de información proveniente de distintas fuentes de datos. La idea central de este trabajo fue procesar y sintetizar la información de manera operativa para que cualquier investigador, sin necesidad de ser informático o programador, pueda utilizarla para sus respectivos análisis.

BASE DE DATOS

En seguimiento a la política del Programa Mexicano del Carbono de libre acceso a las bases de datos asociadas al ciclo del carbono y sus interacciones, así como en soporte de las síntesis nacionales del ciclo del carbono en ecosistemas terrestres y acuáticos, la base de datos de este trabajo está disponible en http://pmcarbono.org/pmc/bases_datos/.

LITERATURA CITADA

- Casiano-Domínguez, M., F. Paz-Pellat, M. Rojo-Martínez, S. Covalada-Ocón y D. Raj-Aryal 2017. Base de datos nacional del carbono en cronosecuencias. Elementos para Políticas Públicas 3: 183-196.
- CONAGUA. 2013. Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales. Consulta de datos hidrométricos, de presas y sedimentos. Comisión Nacional del Agua, México. www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/contenido/documentos/portada%20bandas.htm (Consulta: septiembre 15, 2015).
- Hargreaves, G. H and Z. A. Samani. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Engineering in Agriculture 1:96-99.
- INEGI. 2014. Datos vectoriales escala 1:250 000 serie I, II, III, IV (Capa Unión). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclat/usuarios/>. (Consulta: septiembre 15, 2015).
- Marín-Sosa, M. I., F. Ramírez-Pascual y F. Paz-Pellat. 2017. Bases de datos de mediciones de precipitación-escurrimiento-erosión-sedimentación con énfasis en el centro de México. Elementos para Políticas Públicas 1:51-74.
- Paz, F, F. Rojas, M. Olgún, S. Covalada y M. I. Marín. 2017. Bases de datos para los inventarios estatales de gases efecto invernadero: fase inicial en 12 estados de México. Elementos para Políticas Públicas 3: 197-208.
- PMC. 2013. Procesamiento vectorial de subcuencas de México. Programa Mexicano del Carbono. Inédito. Texcoco, Estado de México, México.
- PMC. 2015. Desarrollo de una base de datos de clima diaria en una malla regular para México. Programa Mexicano del Carbono. Reporte interno no publicado. Texcoco, Estado de México, México.
- Salas-Aguilar, V. M y F. Paz-Pellat. 2017. Desarrollo de una base de datos geomorfométrica nacional. Elementos para Políticas Públicas 3: 173-182.
- Vargas, R., D. Alcaraz-Segura, R. Birdsey, N. A. Brunzell, C. O. Cruz-Gaistardo, B. de Jong, J. Etchevers, M. Guevara, D. J. Hayes, K. Johnson, H. W. Loescher, F. Paz, Y. Ryu, Z. Sánchez-Mejía and K. P. Toledo-Gutiérrez. 2017. Enhancing interoperability to facilitate implementation of REDD+: case study of Mexico. Carbon Management 8:57-65.