



**Sexto**  
**Congreso Nacional de**  
**Riego, Drenaje y Biosistemas**  
COMEII- 2021 / Hermosillo, Sonora



**Artículo: COMEII-21015**

*Hermosillo, Son., del 9 al 11 de junio de 2021*

## **ANÁLISIS ELEMENTAL EN CUENCAS PARA TOMA DE DECISIONES CON IMPACTO EN LA AGRICULTURA**

**Ignacio Sánchez Cohen<sup>1</sup>; Alejandro Cruz González<sup>2</sup>; Ricardo Trejo Calzada<sup>3</sup>;  
Aurelio Pedroza Sandoval<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. Km 6.5 Canal Sacramento. C. P. 27140. Zona industrial Gómez Palacio, Durango, México.

sanchez.ignacio@inifap.gob.mx - 8711590105 (\*Autor de correspondencia)

<sup>2</sup> Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Dom. Con. Bermejillo Durango, México.

<sup>3</sup> Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Dom. Con. Bermejillo Durango, México.

<sup>4</sup> Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Dom. Con. Bermejillo Durango, México.

### **Resumen**

Se ha propuesto un método de análisis de información hidro - climática como soporte a la toma de decisiones en el manejo de agua en cuencas hidrológicas. El método considera las relaciones funcionales entre eventos de circulación global (EL NIÑO) y la precipitación pluvial regional que a su vez condiciona el escurrimiento superficial. Con este fundamento, el método propone volúmenes y áreas a sembrar en los distritos de riego (distrito 041 como ejemplo), acorde a la variación temporal del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI). Para las proyecciones de mediano y largo plazo de las disponibilidades de agua en los embalses, el algoritmo considera el uso de un modelo de simulación hidrológico (SWAT) vinculado a bases de datos climáticas re escaladas para tres escenarios climáticos proyectados del IPCC. Los resultados indican un fuerte decremento en escurrimientos para la cuenca baja del río Yaqui de hasta 100% para el periodo abril – mayo de los años 2041 -2060.

**Palabras claves:** Clima, cuenca, hidrología

## Introducción

La incertidumbre climática, en cuanto a la alta variabilidad en espacio y tiempo de parámetros que definen la disponibilidad de agua, ha puesto de manifiesto la necesidad de contar con más y mejor información que permita realizar una óptima planeación del uso del agua. (Guajardo *et al* 2017, Esquivel *et al* 2016). En esta tesitura, es conveniente visualizar a la cuenca hidrológica como la unidad de planeación básica en donde concurren todas las cadenas productivas (Swallow y van Noordwijk, 2008).

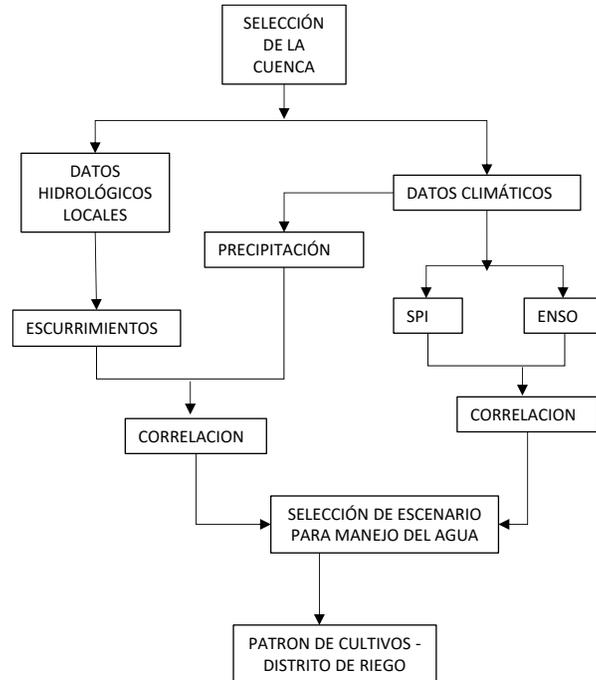
En México, para propósitos de administración de las aguas nacionales, la Comisión Nacional del Agua (Conagua), ha definido 731 cuencas hidrológicas organizadas en 37 regiones hidrológicas y se agrupan en 13 regiones hidrológico – administrativas (RHA). No todas las RHA cuentan con la misma disponibilidad de agua, así, la RHA con mayor disponibilidad es la Frontera Sur con  $18,852 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y la que cuenta con menos es la del Valle de México con  $148 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (Conagua, 2016). Las disponibilidades varían en función de factores como distancia al océano, habitantes, usos, geografía, etc. Las cuencas hidrológicas son la fuente primordial de agua para los usos agropecuarios en el país. Los principales distritos de riego, en términos del PIB del sector, se encuentran ubicados en el noreste y noreste del país en cuencas con altas limitaciones de agua debido a su vulnerabilidad ante el clima cambiante (Cerano, *et al* 2020). Estas variaciones definen la disponibilidad de agua para la explotación agropecuaria al afectar directamente la cantidad de escurrimientos que son captados en presas de almacenamiento; de aquí que, la economía de esta parte del país es fuertemente dependiente de las vicisitudes climáticas. El objetivo del presente escrito es fundamentar un protocolo de análisis para cuantificar el impacto de las variaciones climáticas en las disponibilidades de agua para los diferentes usos en cuencas hidrológicas del país. El tema ha sido previamente abordado en, Sánchez, *et al* (2021) y Sánchez *et al* (2018).

## Aproximación

El impacto que tienen las oscilaciones climáticas en la hidrología de cuencas, ha sido reportado en diversos estudios (ejemplo: Ordonez, *et al* (2004), Chavez, *et al* (2016), Avila *et al* (2013), Sánchez *et al* (2021)). En estos estudios se ha resaltado la importancia de vincular eventos climáticos globales con la hidrología regional; esto, con la finalidad de prever los impactos potenciales en la disponibilidad de agua en las cuencas y como fundamento para la adecuada toma de decisiones.

Los aspectos fundamentales a considerar son las estadísticas climatológicas de la cuenca de interés tales como: escurrimientos, precipitación y usos consuntivos principalmente. En todo cálculo, el balance del agua es el punto racional de partida para la toma de decisiones (Sánchez, *et al* 2013, Velásquez *et al* 2017).

La Figura 1 muestra el planteamiento general para el análisis.



**Figura 1.** Flujo para el análisis de datos hidro - climáticos en cuencas. Adaptado de Sanchez, *et al* 2021.

### Definición del SPI

El índice estandarizado de precipitación (SPI, por sus siglas en inglés), fue desarrollado por McKee *et al.* (1993). Este índice categoriza los datos observados de precipitación pluvial como la desviación estandarizada con respecto a una función probabilística de densidad comparando las cantidades de lluvia en un periodo de tiempo dado (un mes, dos, etc), con las cantidades de lluvia de un periodo más largo de tiempo para el mismo lugar (Edwards and McKee, 1997).

Los valores del SPI varían desde -2.0 a 2.0. Los episodios de sequía tienen lugar siempre que el SPI sea continuamente negativo y alcance una intensidad de -1,0 o inferior. El episodio finaliza cuando el SPI alcanza valores positivos. La suma positiva del SPI para todos los meses de un episodio de sequía se puede denominar la “magnitud” de la sequía, (OMM, 2012). En términos prácticos, el SPI ayuda a distinguir entre periodos secos y periodos húmedos en series de tiempo de precipitación pluvial. Esto ofrece una apreciación objetiva de la periodicidad de eventos de precipitación, así como de su magnitud.

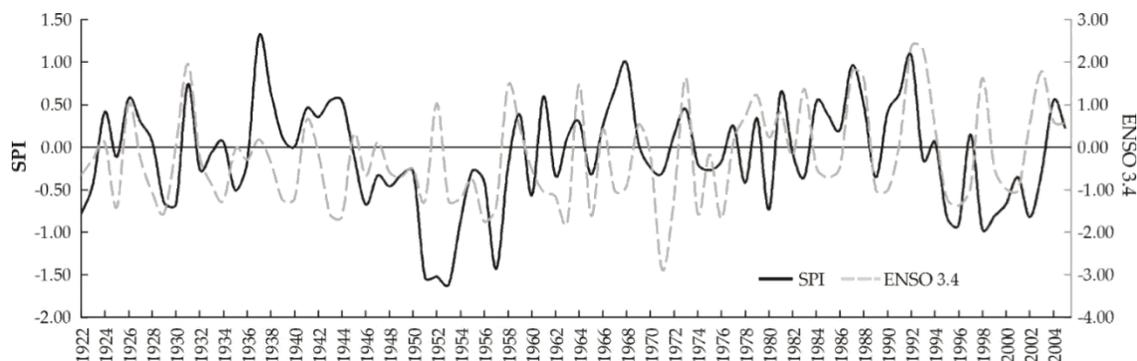
### Definición del ENSO

El niño y la Oscilación del sur, conocido como ENSO, es una fluctuación periódica en la temperatura superficial del océano y la presión del aire de la atmósfera encima de en el océano Pacífico ecuatorial.

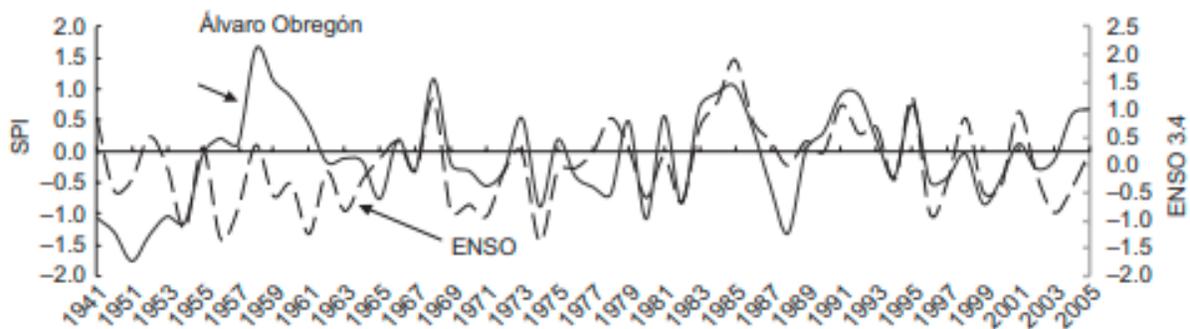
La oscilación del sur describe una variación bimodal en la presión barométrica superficial del nivel del mar entre las estaciones de observación de Darwin en Australia y en Tahití. Esto se cuantifica mediante el índice de Oscilación del sur (SOI) el cual es la diferencia de las dos presiones barométricas en los puntos de observación citados (NOAA, 2021). El ENSO es utilizado para pronosticar los tipos de precipitación en las áreas del país en los que existe una clara afectación por su presencia. El análisis del ENSO puede apoyar a los tomadores de decisiones en el diseño de instrumentos y acciones que les permitan enfrentar los riesgos generados por su impacto (IICA,2016).

### Relación del SPI con ENSO

La relación entre el SPI y el ENSO ha sido reportada por diversos autores (Sánchez, et al, 2018, 2021, de Oliveira et al 2018). Esta correlación cuantifica el impacto de las oscilaciones globales en la precipitación regional y por ende en su hidrología, de tal manera que, conociendo las series de periodos húmedos y secos en cuanto a precipitación, de manera indirecta, se conocería las posibilidades de escurrimiento que se capta en presas u otros embalses de donde se sirven los distritos de riego. Las Figuras 2 y 3 ejemplifican esta relación para dos presas de donde se deriva agua a distritos de riego en el norte del país: DR 017 (Comarca Lagunera) y 041 (Rio Yaqui), respectivamente.



**Figura 2.** Relación entre el SPI anual y eventos extremos del ENSO para la cuenca alta del río Nazas en su porción derivadora a la presa Lázaro Cárdenas (DR 017), en la RH36. Adaptado de Esquivel *et al* 2019.

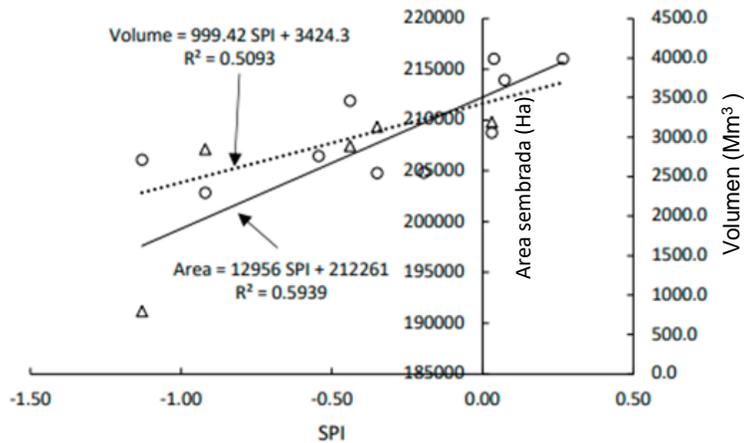


**Figura 3.** Relación entre el SPI anual y eventos del ENSO para la cuenca alta del río Yaqui en su porción derivadora a la presa Álvaro Obregón (DR 041) en la RH9. Adaptado de Sánchez *et al* 2021.

### Impacto en la agricultura

Toda vez que se conoce la relación entre el ENSO y el SPI aunado a los volúmenes autorizados anuales para el riego en el distrito de riego, se puede utilizar la información para proyectar escenarios de disponibilidad de agua y tomar decisiones en cuanto a los volúmenes a entregar a los usuarios.

La Figura 5, muestra la relación entre el SPI y el área sembrada en el distrito de riego 041. De la Figura se puede concluir que cuando las fluctuaciones de la precipitación pluvial en el tiempo no son cuantiosas ( $SPI \approx 0$ ), para un año promedio, entonces el volumen concesionado a los usuarios debería ser de 3500 Mm<sup>3</sup> con una superficie aproximada de riego de 212000 ha. pudiéndose ajustar ese valor al considerar un incremento en eficiencia global en el distrito de riego ya que la lámina de riego resultante de este criterio es aún muy alta (1.65 m). Esto queda de manifiesto en virtud de que la dependencia del área sembrada y los volúmenes utilizados con el SPI es representada por una  $R^2 \approx 0.5$ . Por otro lado, cuando el valor del SPI proyectado es negativo, se deberá fundamentar un criterio de entrega de agua a los usuarios considerando la seguridad de los embalses y la proyección, en el corto plazo, de los volúmenes probables de precipitación.



**Figura 4.** Correlación entre el SPI, el área sembrada en el DR 041 y el volumen disponible. Adaptado de Sánchez *et al* 2021

En este último punto, es de considerable ayuda la simulación de procesos hidrológicos en la cuenca contemplando escenarios probables de precipitación pluvial aunado a la condición de superficie de la cuenca vertiente a los embalses.

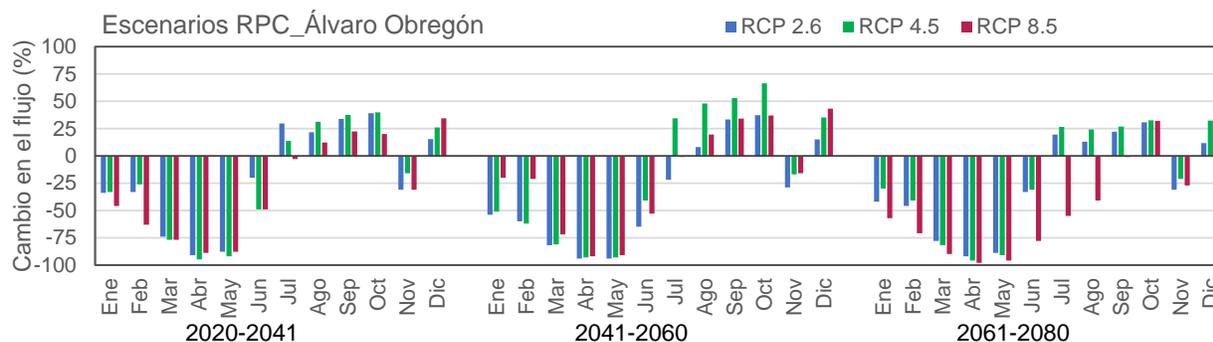
### Simulación de impacto

Para verificar el impacto del calentamiento global en el escurrimiento de la cuenca vertiente (sub cuenca del río Yaqui) a la presa Álvaro Obregón del distrito de riego 041, Cruz (2020), utilizó el modelo SWAT (Neitch *et al* 2011), en el que utilizó datos re escalados de precipitación pluvial acorde a tres escenarios proyectados por el IPCC (2019). (Tabla 1).

**Tabla 1.** Escenarios climáticos proyectados por el IPCC aplicables a la región de estudio

RCP	Incremento de CO2 en 2100 (ppm)	Aumento de T (°C)
RCP2.6	421	0.3-1.7
RCP4.5	538	1.1-2.6
RCP8.5	936	2.6-4.8

La Figura 5 señala las variaciones en el escurrimiento (en %) con respecto a un año promedio al considerar los tres escenarios climáticos descritos en la Tabla 1. Se puede observar que el periodo de años del 2041 al 2060, sería el de mayor incremento en la cantidad de escurrimientos a la presa pudiendo llegar hasta el 60% en el escenario RCP 4.5 que considera 538 ppm de CO<sub>2</sub> en la atmósfera con un incremento en temperatura entre 1.1 y 2.6 °C. De igual manera se observa que para los tres escenarios, los meses de abril y mayo serían los de mayor impacto negativo al reducir el escurrimiento en casi 100%. Sin pérdida de generalidad, las mayores diferencias entre escenarios se observan para porcentajes menores de cambio.



**Figura 5.** Variación del escurrimiento para diferentes escenarios de cambio climático en la cuenca del río Yaqui.

## Conclusiones

Se ha dilucidado un método de análisis de información hidro – climática para prever los impactos de oscilaciones climáticas globales en la hidrología regional de cuencas. El método vincula las variaciones en regímenes pluviométricos con la producción de escurrimientos y provee de las relaciones funcionales entre estas variables y la cantidad de superficie sembrada en los distritos de riego. Esta información puede ser utilizada para proyectar escenarios de dotación de volúmenes de agua a usuarios del riego bajo diferentes condiciones probables de disponibilidad. También se han utilizado escenarios proyectados por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), vinculados a un modelo de simulación hidrológico, para tener una apreciación de lo que pudiera acontecer en términos de disponibilidad de volúmenes en el futuro de mediano y largo plazo.

## Referencias Bibliográficas

Ávila Díaz, J. Carbajal Escobar, Y., e Gutiérrez Serna S. E. 2013. Análisis de la influencia de El Niño y La Niña en la oferta hídrica mensual de la cuenca del río Cali. *Tecnura*. Vol 8, No. 41 Pp. 120 – 133.

- Chávez Jiménez, A., M. Farías de Reyes, A. Sordo Ward y D. González Zeas. 2016. Efecto del fenómeno el Niño en el comportamiento hidrológico de la cuenca alta del Piura. XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Lima Perú. Pp 2 – 10.
- Cerano Paredes, J., Esquivel Arriaga, G., Sánchez Cohen, I., & Estrada Arrellano, J. R. 2020. Analysis of meteorological droughts in the Yaqui River Basin, Mexico and its relationship with ENSO. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, (86).
- Comisión Nacional del Agua. 2016. Atlas del Agua en México. 135 Pp.
- Cruz González, A. 2020. Respuesta hidrológica de cuencas en zonas áridas ante el cambio climático. Tesis Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. 50 pp.
- de Oliveira J. F., Givanildo de Gois, P.M. de Bodas Terassi, C. Antonio da Silva Junior, C. J. Cavalcante Blanco, B. Serafini sobral and K. A. Cruz Gasparini. 2018. Drought severity base don SPI index and its relation to the ENSO and PDO climatic variability modes in the regions of North and Northwest of the State of Rio de Janeiro – Brazil. Atmospheric Research. Vol 212, No. 1. Pp 91-105
- Edwards, D. C. and T. B. McKee, 1997. *Characteristics of 20th Century Drought in the United States at Multiple Time Scales*. Fort Collins, Colorado, Department of Atmospheric Science, Colorado State University.
- Esquivel A. Gerardo, M. Nevarez Favela, M.A. Velásquez Valle, I. Sanchez Cohen y P. Bueno Hurtado. 2016. Modelación hidrológica de una cuenca del norte árido de México y su respuesta a cambios ambientales. INAGBI, Vol. 12, num 8. Pp 1 - 25
- Guajardo, P. R., G. Granados, I. Sanchez Cohen y G. Díaz Padilla. 2017. Validación espacial de datos climatológicos y pruebas de homogeneidad: caso Veracruz, México. Tecnología y Ciencias Del Agua. Vol III, num 5. Pp 157 – 177.
- IICA. 2016. El fenómeno del NIÑO en la agricultura de las américas. Boletín técnico 2016. Disponible en: <http://repiica.iica.int/docs/b3820e/b3820e.pdf>. Última vez visitado: abril, 2021.
- IPCC. 2019. Calentamiento Global de 1,5 °C. In Intergovernmental Panel on 360 Climate Change. Disponible en: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf). Última vez visitado: abril, 2021
- McKee, T. B., Doesken, N. J., and Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales, in: 8th Conference on Applied Climatology, Am. Meteorol. Soc. Boston, 179–184.

National Oceanic and Atmospheric Administration. National Centers for Environmental Information (NOAA). El Niño/Southern Oscillation (ENSO) Technical Discussion. Disponible en: <https://www.noaa.gov/>. Última vez visitado: mayo 15 2021.

Neitsch, S. ., Arnold, J. ., Kiniry, J. ., & Williams, J. . 2011. Soil & Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009. Texas Water Resources Institute, 1–647.

OMM. 2012. Índice Normalizado de Precipitación. Guía del Usuario. Disponible en: [https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO\\_standardized\\_precipitation\\_index\\_user\\_guide\\_es\\_2012.pdf](https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guide_es_2012.pdf). Última vez visitado: mayo 10, 2021.

Ordonez, Juan Julio G, Lavado, Waldo S, & Humani, Juan Carlos. 2004. Hydrological Impact of 'El Niño/La Niña' on the Watersheds of Rivers Mala, Lurin, Rimac, Chillón, Chancay - Huira, Huaura and Pativilca. In Morell, MorellTodorovik, Olivija, Todorovik, Olivija, & Dimitrov, Dobri (Eds.). BALWOIS: Abstracts, (p. 438)

Sánchez Cohen I., M. A. Macías Corral, G. Esquivel Arriaga, J. Cerano Paredes, F. Cabrera Carbajal, M.A. Inzunza Ibarra, G. Díaz Padilla and R.A. Guajardo Panes. 2021. Rainfall uncertainty and water availability: Elements for planning water allocation to users in irrigation districts of Mexico. Study case: Irrigation District 041, Yaqui River. *Atmosfera* 34 (2) Pp 207 – 216.

Sanchez Cohen I., M. A. Inzunza Ibarra, G. Esquivel Arriaga, J. Cerano Paredes, M. A. Velásquez Valle and P. Bueno Hurtado. 2018. The impact of climatic patterns on runoff and irrigation water allocation in an arid watershed of northern Mexico. *Meteorology Hydrology and Water Management*. Vol 6. No. 2. Pp 1 – 8

Sanchez Cohen I., M. A. Velásquez Valle, R. A. Catalán Valencia, M. A. Inzunza Ibarra, G. Esquivel Arriaga, P. Bueno Hurtado y G. Díaz Padilla. 2013. Modelo de Balance Hídrico como apoyo a toma de decisiones en zonas agrícolas bajo incertidumbre climática. Folleto técnico No. 28. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. 52 pp.

Swallow, B. & van Noordwijk, M. 2008. Restoring the functions of watersheds. ASB Policy Briefs No. 9. ASB Partnership for the Tropical Forest Margins.

M. Velásquez Valle, G. Esquivel Arriaga, I. Sánchez Cohen, D. Castillo Quiroz, A. Cano Pineda and R. Gutiérrez Luna. 2017. Hydrological behavior of a small rangeland and forest watershed in southeastern Coahuila. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. Vo. 8 No. 43. Pp 1 – 18.