

DOI: 10.24850/j-tyca-2026-03-10

Artículos

Disponibilidad de agua en la Sierra de Álvarez, San Luis Potosí, México

Water availability in the Sierra de Álvarez, San Luis Potosí, México

Abraham Cárdenas-Tristán¹, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1807-1715>

Karen Lizeth Cáceres-Ruiz², ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6423-9178>

Oscar Reyes-Cárdenas³, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5623-9200>

Hao Wu⁴, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5751-7885>

María Guadalupe Galindo-Mendoza⁵, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8775-5120>

Cristóbal Aldama-Aguilera⁶, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5174-0741>

Hilario Charcas-Salazar⁷, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0200-2152>

¹Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Centro de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, San Luis Potosí, México, abraham.cardenas@uaslp.mx

²Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Centro de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, San Luis Potosí, México, karenlica18@gmail.com

³Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Centro de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, San Luis Potosí, México, oscar.reyes@uaslp.mx

⁴Central China Normal University, Department of Geographic Information Science, Wuhan, China, haowu@mail.ccnu.edu.cn

⁵Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Laboratorio Nacional de Geoprocésamiento de Información Fitosanitaria, San Luis Potosí, México, ggm@uaslp.mx

⁶Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Centro de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, San Luis Potosí, México, cristobal.aldama@uaslp.mx

⁷Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Centro de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, San Luis Potosí, México, hilario@uaslp.mx

Autor para correspondencia: Oscar Reyes-Cárdenas, oscar.reyes@uaslp.mx

Resumen

Es importante procurar la conservación de los recursos naturales, para lo cual es necesario identificar su ubicación y distribución. A fin de preservar los recursos naturales, se estableció en México el Programa de Pagos de Servicios Ambientales (PSA). El método Thornthwaite determina la

evapotranspiración en función de la temperatura, la latitud de la zona de estudio y de la cantidad mensual de horas-sol diarias. El objetivo del presente análisis es estimar la disponibilidad de agua en el Área Natural Protegida (ANP) Sierra de Álvarez. El área de estudio se localiza en el estado de San Luis Potosí, México. Para aplicar el método de Thornthwaite se emplearon los datos climatológicos de precipitación total mensual y temperatura promedio mensual de ocho estaciones meteorológicas. La información utilizada para los cálculos de temperatura y precipitación corresponden a un periodo de 34 años (1980-2014). En lo correspondiente a la evapotranspiración, en la zona de estudio se obtuvo hasta 900 mm, lo que representa un 55 % en relación con la precipitación registrada. Se generó un mapa con la interpolación de los datos aplicando IDW; se observa que en el mes de marzo se presenta un déficit importante de agua, presentándose una acentuación en la parte E de la zona de estudio. De igual forma, en la parte O hay un déficit de hasta -57.6 mm/ha. Este estudio también subraya el rol fundamental del ANP Sierra de Álvarez como fuente de recarga hídrica para el Valle de San Luis Potosí, reforzando su importancia ecológica.

Palabras clave: recursos hídricos, balance hídrico, hidrología, precipitación, evapotranspiración, zonas áridas, sistemas de información geográfica, Sierra de Álvarez, México.

Abstract

It is important to conserve natural resources, which requires identifying their location and distribution. To preserve natural resources, the Environmental Services Payment Program (EPS) was established in Mexico. The Thornthwaite method determines evapotranspiration based

on temperature, latitude of the study area and monthly number of hours of sunshine per day. The objective of this analysis is to estimate the availability of water in the ANP Sierra de Álvarez. The study area is located in the state of San Luis Potosí, Mexico. Thornthwaite's method was based on total monthly precipitation and average monthly temperature data from eight weather stations. The information used for the temperature and precipitation calculations is 34 years (1980-2014). In the case of evapotranspiration, up to 900 mm were obtained in the study area, representing 55 % related to precipitation recorded. A map was generated with interpolation of data using IDW, and it is observed that in the month of March there is an important water deficit, presenting an accentuation in the E part of the study area. Similarly, in part O a deficit of up to -57.6 mm/ha is reported. This study also underlines the fundamental role of the ANP Sierra de Álvarez as a source of water recharge for the San Luis Potosí Valley, reinforcing its ecological importance.

Keywords: Water resources, water balance, hydrology, precipitation, evapotranspiration, arid zones, geographical information systems, Sierra de Álvarez, Mexico.

Recibido: 17/10/2024

Aceptado: 08/08/2025

Publicado *ahead of print*: 04/09/2025

Versión final: 01/05/2026

Introducción

Es importante procurar la conservación de los recursos naturales, para lo cual es necesario identificar su ubicación y distribución. Las áreas naturales protegidas corresponden a áreas donde se aplican estrategias de protección de los recursos existentes dentro de sus límites (Gómez & Miño, 2023). El Área Natural Protegida (ANP) Sierra de Álvarez es de gran importancia ecosistémica para el estado de San Luis Potosí, México. Fue declarada ANP en 1981 y recategorizada como "Área de Protección de Flora y Fauna" en 2000. Sin embargo, no cuenta con un plan de gestión ni con una caracterización de sus servicios ambientales, lo que complica la utilización de sus recursos (García, Pompa, & López, 2017).

Para preservar los recursos naturales, se estableció en México el Programa de Pagos de Servicios Ambientales (PSA). Este proyecto implica otorgar incentivos económicos a los propietarios de espacios que aporten beneficios y productos de utilidad social (Avendaño-Leadem, Cedeño-Montoya, & Arroyo-Zeledón, 2020; Flores, Aguilar, Reyes, & Guzmán, 2018). Uno de los PSA corresponde a los Servicios Ambientales del Bosque (SAB), que se basan en el hecho de que las zonas están exentas del desarrollo de actividades antrópicas en su interior, lo que apoyaría su conservación (Olivera & Hernández, 2021). El servicio hidrológico es un SAB, pues el agua (calidad y cantidad), necesaria para el consumo humano, brinda servicios ecosistémicos (Chávez-Cortés & Mancilla-Hernández, 2014).

A su vez, se presentan algunos fenómenos naturales relacionados con el agua y la energía solar (Montero, 2022). Uno de estos fenómenos corresponde a la evapotranspiración (EPT), que se desarrolla mediante la interacción de la radiación solar con la humedad presente en una cubierta.

Asimismo, la EPT puede definirse como la relación entre evaporación y transpiración sobre una superficie con una cubierta determinada (Monterroso-Rivas & Gómez-Díaz, 2021). Para determinar la EPT se puede emplear el método de Thornthwaite, que involucra la temperatura (Ortiz & Chile, 2020), y que puede aplicarse a pesar de que los datos meteorológicos sean escasos (Duque-Sarango, Cajamarca-Rivadeneira, Wemple, & Delgado-Fernández, 2019). El método Thornthwaite determina la evapotranspiración en función de la temperatura, la latitud de la zona de estudio y de la cantidad mensual de horas-sol diarias (Ecuación (1)):

$$e = 16 (10^t)^{\alpha} \quad (1)$$

Donde:

e = evapotranspiración mensual en mm por mes de 30 días y 12 horas de duración

t = temperatura media mensual en °C

$I = \sum i$, índice térmico anual

$$\alpha = 0.6751 \times 10^{-6} \cdot I^3 - 0.771 \times 10^{-4} \cdot I^2 + 0.01792 \cdot I + 0.49239$$

En la Ecuación (2) se muestra el cálculo del índice térmico anual:

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514} \quad (2)$$

Asimismo, es importante determinar la EPT, tanto espacial como temporalmente, cuando se analizan los recursos hídricos (Degano, Rivas,

& Bayala, 2024). El balance hídrico permite identificar la disponibilidad de agua (caudal de los ríos, humedad en el suelo y aguas subterráneas) (Kampf *et al.*, 2020). Además, de acuerdo con el método de Thornthwaite, el balance hídrico detalla con exactitud el comportamiento de las aguas superficiales. Con ello es posible estimar la cantidad de agua disponible en la zona (Toro-del-Guerrero, Kretschmar, & Hinojosa-Corona, 2014). Gebreyohannes *et al.* (2013) aplicaron este método en la cuenca de Geba utilizando un modelo de balance hídrico distribuido espacialmente, y obtuvieron mapas que muestran la escorrentía superficial promedio, estacional y anual a largo plazo, la evaporación, transpiración y recarga de aguas subterráneas. Por otra parte, Vaca y Golicher (2016) utilizaron el balance hídrico como variable para modelar la distribución de las especies arbóreas de México.

A partir de lo anterior, el objetivo del presente análisis es estimar la disponibilidad de agua en el ANP Sierra de Álvarez.

Materiales y métodos

Localización del área de estudio

El área de estudio corresponde al Área Natural Protegida Sierra de Álvarez, ubicada en la Sierra Madre Oriental, y delimitada por las coordenadas 21° 42' 32" a 22° 23' 21" latitud N y 100° 05' 24" y 100° 49' 30" longitud O, abarcando parte de los municipios de Armadillo de los Infante, San Nicolás Tolentino y Zaragoza, en el estado de San Luis Potosí, México, con una superficie de 16 900 ha (Castillo, Flores, Aguirre, & Yeaton, 2008) (Figura 1).

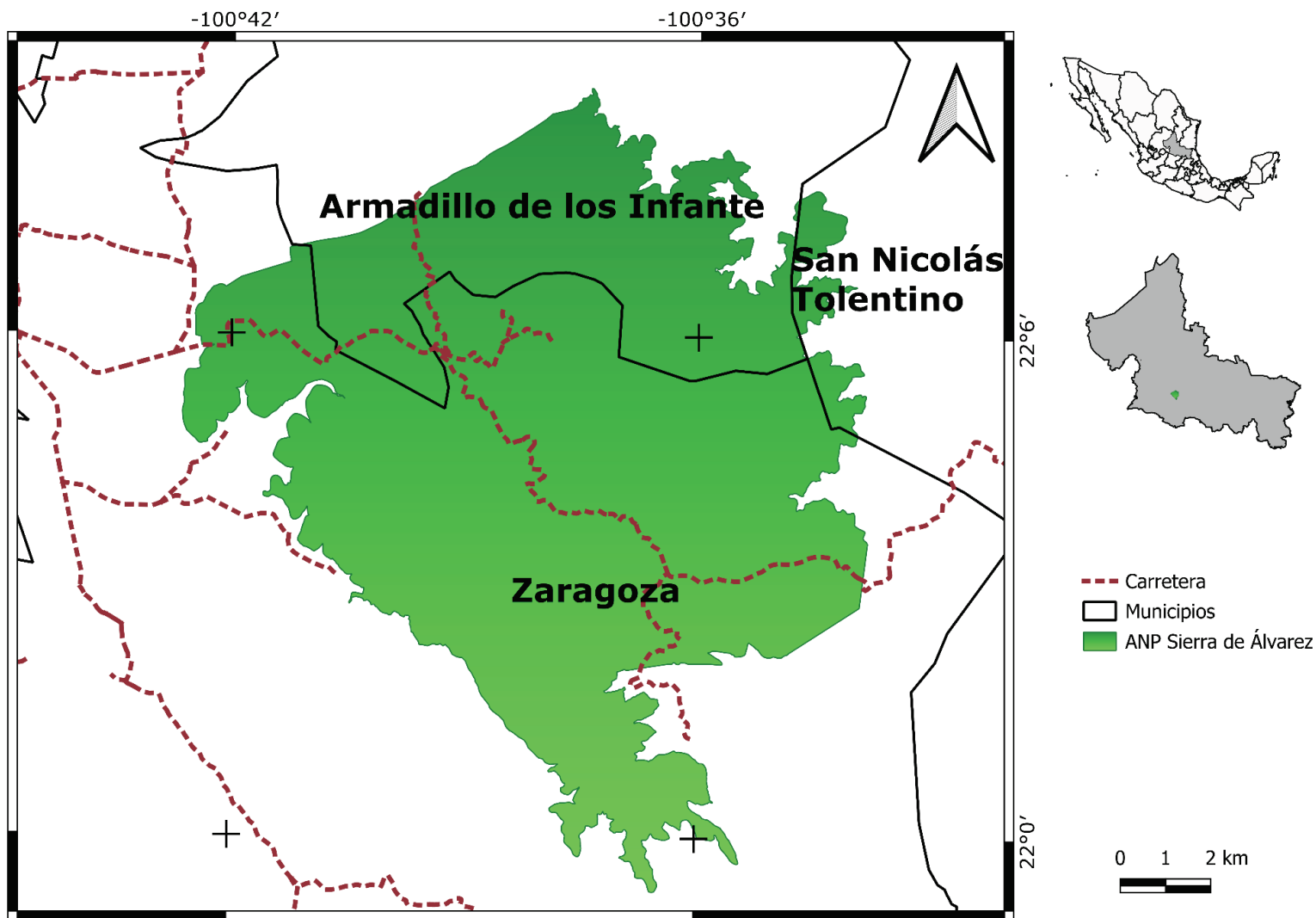


Figura 1. Localización del área de estudio.

García *et al.* (2017) reportan la presencia dominante de pino-encino (parte alta) y vegetación xerófila (parte baja) en la Sierra de Álvarez. Respecto al clima, en el área de estudio se presenta clima semiseco, con una precipitación media anual de 366 a 571 mm, siendo la temperatura media anual de 17 a 18 °C (Bárcenas-Pazos, Ríos-Villa, Aguirre-Rivera, Juárez-Flores, & Honorato-Salazar, 2008). La zona de análisis se

encuentra dentro de las subcuencas RH26Ch (Río Verde) y RH26Ci (Río Santa María Alto), que corresponden a la región hidrológica RH26 (Pánuco), además de la subcuenca RH37Gb (Presa San José), que pertenece a la región hidrológica RH37 (El Salado). Los suelos presentes en el área son litosol eútrico, luvisol háplico, rendzina, feozem lúvico, lúvico, litosol, luvisol crómico, feozem lúvico (García, Aguirre, Villanueva, & García, 1999).

Para el cálculo de la EPT se promedió la temperatura media mensual y la precipitación total mensual de 1980 a 2014, para posteriormente ser aplicadas en la fórmula de Thornthwaite.

Resultados

Para aplicar el método de Thornthwaite se emplearon los datos climatológicos de precipitación total mensual y temperatura promedio mensual de ocho estaciones meteorológicas, las cuales se consideraron por su cercanía y disponibilidad de datos (Tabla 1).

Tabla 1. Estaciones climáticas en el ANP Sierra de Álvarez.

Núm.	Nombre	Municipio	Clave	Coordenadas
1	La Salitrera	Zaragoza	24034	100° 35' 9.32" W 21° 56' 17.21" N
2	Armadillo de los Infante	Armadillo de los Infante	24004	100° 39' 18.66" W 22° 14' 48.67" N
3	Ojo Caliente	Santa María del Río	24046	100° 45' 42.96" W 21° 50' 57.09" N
4	San Nicolás Tolentino	San Nicolás Tolentino	24071	100° 33' 6.57" W 22° 14' 54.33" N
5	Zaragoza	Zaragoza	24106	100° 43' 54.87" W 22° 2' 20.53" N
6	Santa Catarina	San Nicolás Tolentino	24177	100° 27' 24.151" W 22° 3' 9.362" N
7	Xoconoxtle	Zaragoza	24179	100° 42' 33.994" W 22° 5' 58.76" N
8	Golondrinas	San Nicolás Tolentino	24201	100° 24' 6.2" W 22° 9' 27.732" N

La información utilizada para los cálculos de temperatura y precipitación corresponde a un periodo de 34 años (1980-2014). Esto se aplicó para generar promedios mensuales con menor error en la predicción y para aprovechar la disponibilidad de los datos.

Para analizar los datos (promedios mensuales) de temperatura y precipitación se generó un climograma (Figura 2). Estas variables fueron determinantes para calcular la EPT. En el climograma se advierte una relación directa, pues al incrementar la temperatura, ocurre lo mismo con la precipitación. Los valores menores de la temperatura se registraron de

noviembre a enero, con un promedio mínimo de 12.6 °C, es decir, durante el invierno, y con bajas precipitaciones, y las temperaturas más altas en el periodo de mayo a septiembre, con un promedio de 22.3 °C.

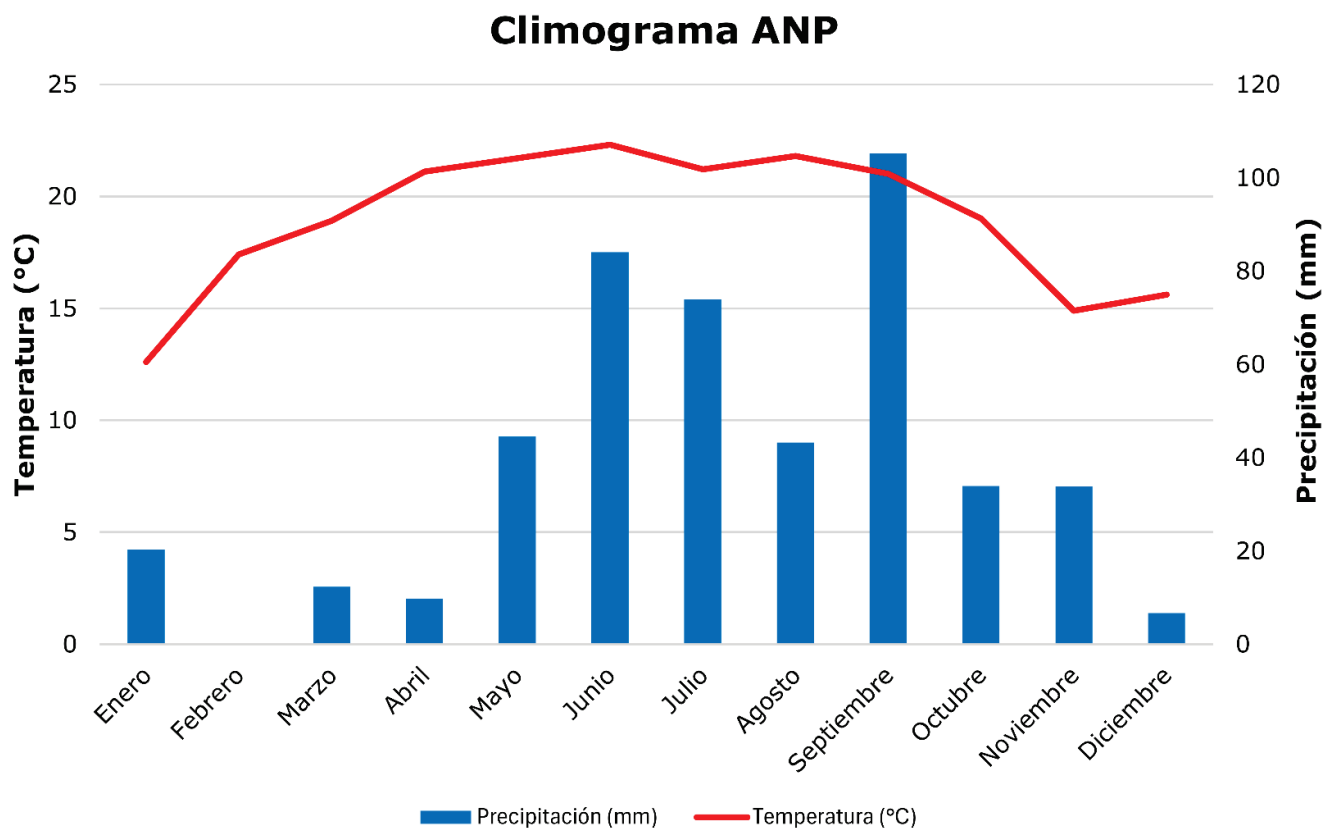


Figura 2. Gráfica del climograma del ANP.

En la zona de estudio, el registro anual de precipitación es de aproximadamente 500 mm, característico de un clima seco. La mayor precipitación ocurre en septiembre, aunque el incremento comienza en mayo, observándose un patrón exponencial hasta alcanzar su punto máximo en dicho mes. A partir de octubre, las precipitaciones disminuyen drásticamente en correlación con la caída de la temperatura.

En lo correspondiente a la EPT, en la zona de estudio se obtuvo hasta 900 mm, que representa un 55 % en relación con la precipitación registrada. En la Figura 3 se muestra el comportamiento de la EPT, que aumenta de forma exponencial entre diciembre y marzo. Después comienza a disminuir durante los meses de mayor precipitación, en especial entre agosto y septiembre.

Evapotranspiración promedio mensual Thornthwaite
1980-2014

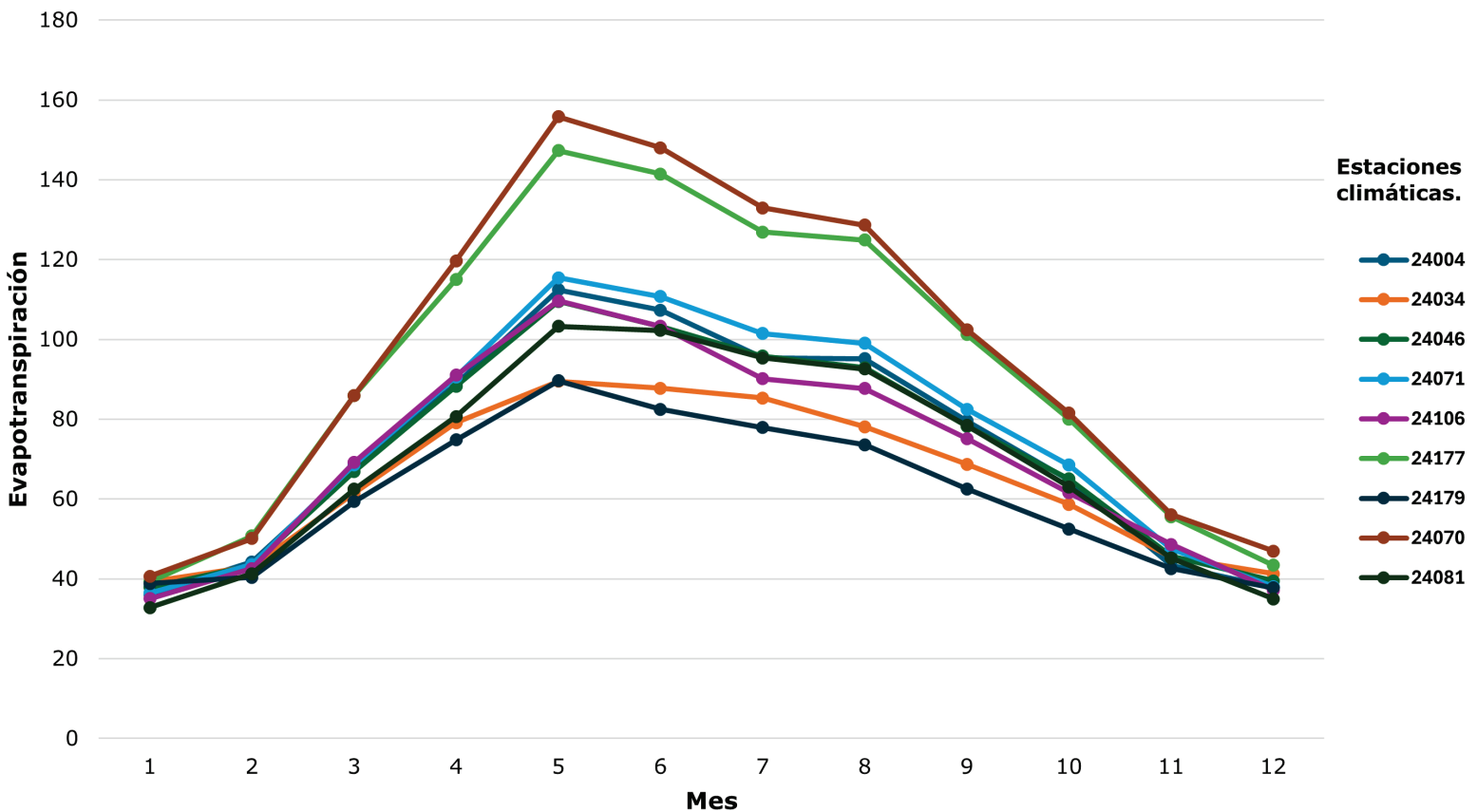


Figura 3. Evapotranspiración promedio mensual, 1980-2014.

Para analizar la disponibilidad de agua (exceso o déficit) en diferentes periodos, se determinó el balance hídrico. En este caso, se

empleó el cálculo mensual considerando las estaciones climáticas dentro de la zona de estudio, y se define a partir de la diferencia entre la precipitación (variable de entrada) y la evapotranspiración (variable de salida). La Figura 4 presenta un marcado déficit hídrico entre febrero y junio, asociado con el aumento en la evapotranspiración. Sin embargo, se observa una estabilización en agosto, continuando con un incremento en la disponibilidad de agua en septiembre.

Balance hídrico Thornthwaite. Promedio mensual 1980-2014

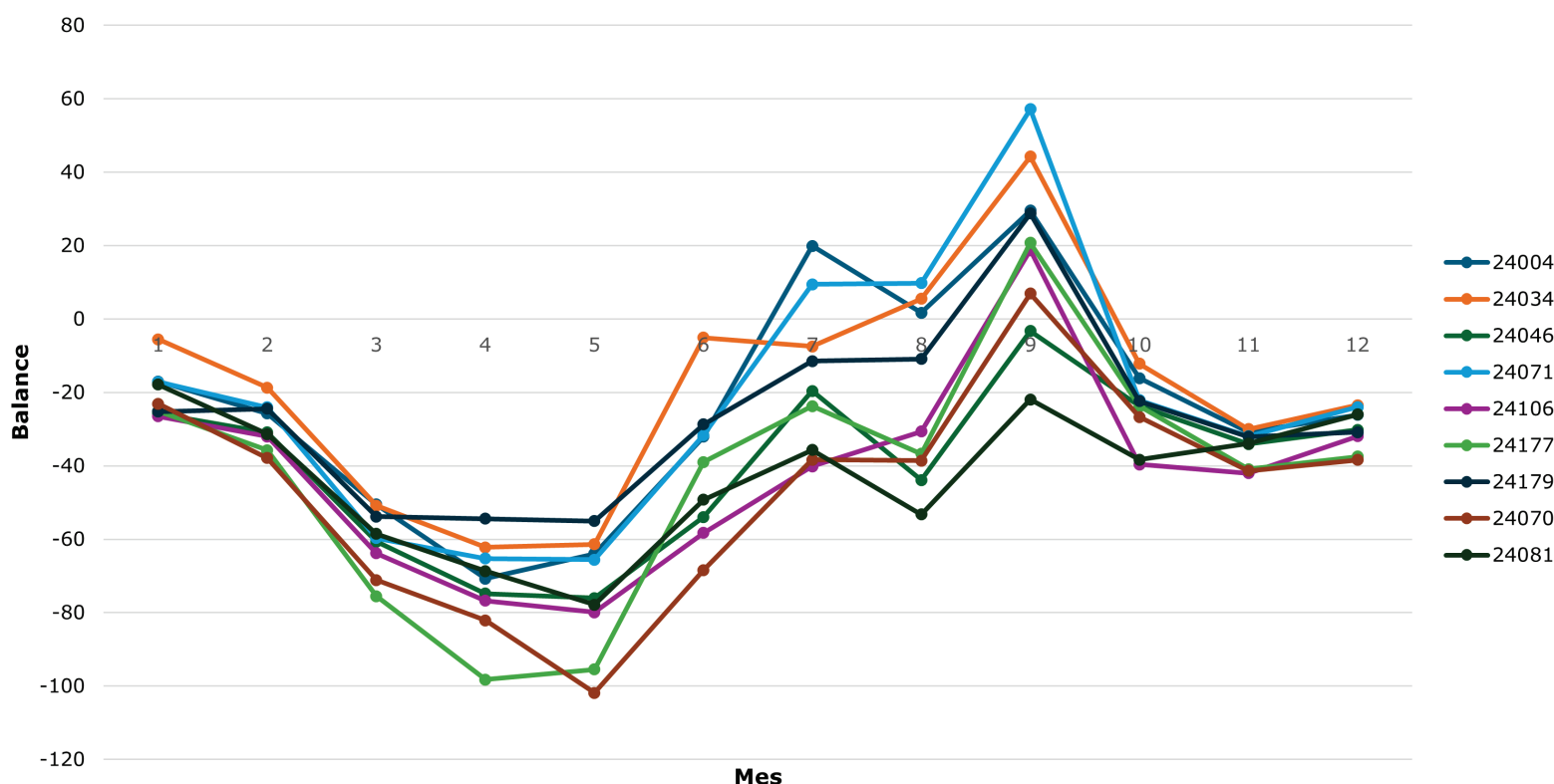


Figura 4. Gráfica de balance hídrico por estación climática.

De manera similar, se observaron diferencias significativas entre la precipitación y la EPT en marzo y septiembre (Tabla 2). En marzo hubo

un déficit de agua de unos -60 mm, mientras que en septiembre se observó una recarga de 20 mm.

Tabla 2. Valores promedio de precipitación, evapotranspiración y balance hídrico (marzo y septiembre).

Precipitación (mm)		Evapotranspiración (mm)		BH (mm)	
Marzo	Septiembre	Marzo	Septiembre	Marzo	Septiembre
9.23	101.07	69.75	80.97	-60.52	20.10

Relación entre evapotranspiración y precipitación

Se generó una gráfica (Figura 5) que muestra la relación entre la EPT y la precipitación. Las mayores pérdidas de agua se observan en la época de invierno, coincidiendo con una baja precipitación. Solo se registra recarga, y con ello se considera que se presenta una reserva, en el mes de septiembre, que corresponde con las mayores precipitaciones. Por lo anterior, se considera que no se dispone de un exceso de agua, tomando en cuenta las características ecológicas de la zona de estudio.

Promedio mensual de precipitación y evapotranspiración 1980-2014

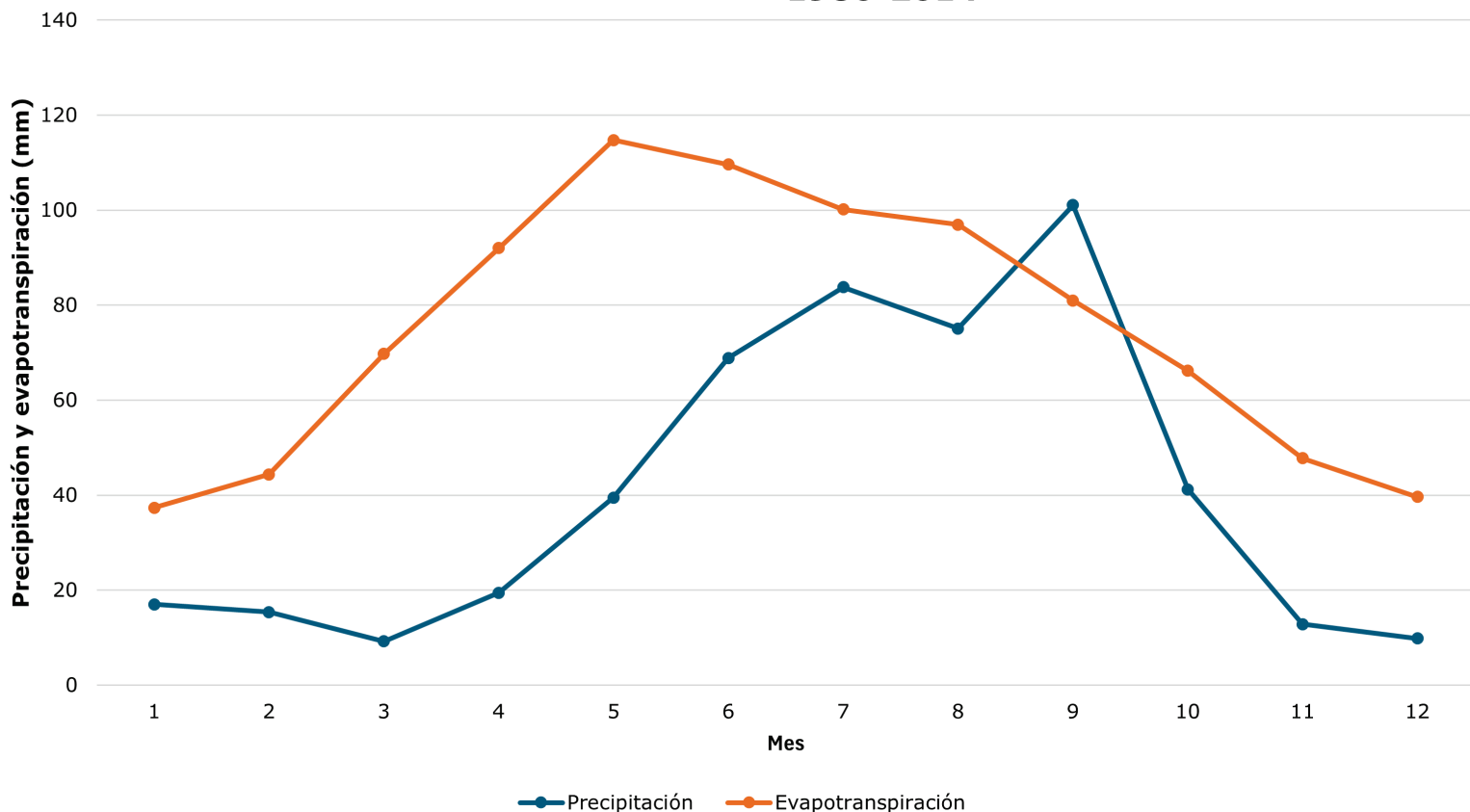


Figura 5. Gráfica de evapotranspiración y precipitación, 1980-2014.

Estimación espacial mediante interpolación

Para analizar el comportamiento espacial del balance hídrico, se modelaron los valores registrados por cada estación climática para las dos épocas analizadas. Los datos se extrapolaron a valores por hectárea. El método de interpolación seleccionado fue el de la distancia inversa ponderada (IDW, por sus siglas en inglés) debido a que se ha empleado de forma recurrente en modelación climática (Lamorena-Arencibia & Hidalgo-Mayo, 2019). El resultado se muestra en un mapa de

interpolación, en el que se observa que en marzo se presenta un déficit importante de agua, presentándose una acentuación en la parte E de la zona de estudio. De igual forma, en la parte O se tiene un déficit de hasta -57.6 mm/ha.

En lo correspondiente al periodo en el que se presentan las mayores precipitaciones (septiembre), no se observa un déficit de agua, pero se mantiene en equilibrio y se obtiene un aproximado de hasta 55 mm/ha, lo que puede considerarse como una recuperación en la misma proporción de pérdida del mes de marzo, observándose en mayor proporción al E de la zona de estudio (Figura 6).

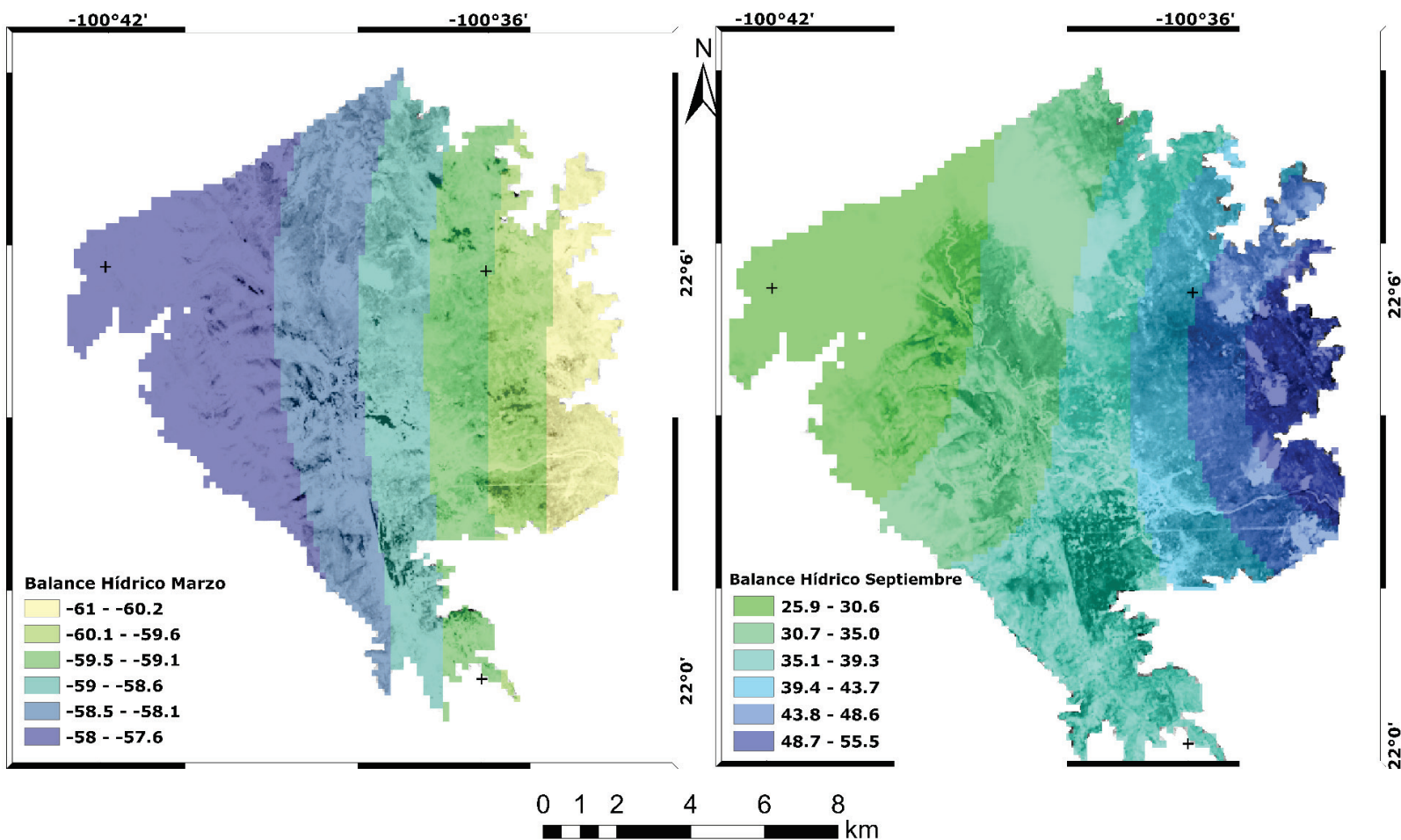


Figura 6. Mapa de interpolación de balance hídrico.

Discusión

Santillán, Davila-Vazquez, De-Anda-Sánchez y Díaz (2013) determinaron el balance hídrico climático (BHC), definiendo la EPT potencial en la cuenca del río Cazonés, empleando el método de Thornthwaite y Mather. Ellos utilizaron información de variables climáticas de temperatura y precipitación para el periodo 1981-2010. Como resultado, encontraron que las láminas de exceso de agua y de escurrimiento anual fueron de 638.63 y 637.02 mm, respectivamente, hallando la mayor cantidad de

escurrimiento en los meses de mayor precipitación. Asimismo, se identificaron los meses correspondientes a los periodos húmedo y seco. De igual manera, obtuvieron el régimen de las variables climáticas, así como la presencia de excesos y déficits de agua en la cuenca durante un ciclo anual. Por otro lado, Cárdenas *et al.* (2023) obtuvieron la EPT mediante el método de Turc y técnicas geoestadísticas. En este análisis se encontró que la mayor evapotranspiración era en la zona huasteca, mientras que para la zona centro, que es en la que se ubica la zona de estudio del presente análisis, hubo valores superiores a 125 mm/año.

Por otro lado, Duque-Sarango *et al.* (2019) analizaron la dinámica temporal de la precipitación y la temperatura de la microcuenca Chaquilcay, que es un ecosistema natural localizado dentro del Bosque y Vegetación Protector Aguarongo en Gualaceo, Ecuador. Estos autores utilizaron los datos de cuatro estaciones meteorológicas en el periodo 1982-2015. Para cuantificar las contribuciones y pérdidas de agua, se llevaron a cabo análisis estadísticos de las series temporales. A fin de completar y validar las series de precipitación y temperatura, se empleó un análisis de doble masa, estableciendo estaciones de referencia y llenando los registros faltantes. El análisis del balance hídrico mostró una precipitación anual total de 843.7 mm, con una diferencia de almacenamiento de 18.71 mm, equivalente al 2.22 % de la precipitación anual. Además, se observó un excedente de 144.5 mm y una evapotranspiración real de 680.5 mm, lo que representa el 17.13 y 80.65 % del total anual de precipitación, respectivamente.

Conclusiones

Debido a que existen cambios bruscos en la temperatura y las precipitaciones durante el año, aumentan las pérdidas de agua en el sistema mediante la evapotranspiración potencial, por lo que se identificaron grandes pérdidas de agua en el ANP, llegando a un déficit de -81 mm/ha de agua superficial en marzo. Como lo mencionan Santillán *et al.* (2013), la baja generación de escurrimiento posiblemente se deba a cambios en la precipitación (escasa lluvia o entrada de agua), y los de la temperatura y la evapotranspiración (aumento en los valores), que provoca una disminución de la humedad del suelo.

Para septiembre, el periodo con mayor precipitación, se estimó hasta 50 mm/ha de agua disponible, poco menos de la mitad de la precipitación media, agua que probablemente alimente los cauces superficiales en las partes bajas, y/o sirva como reserva para los periodos más secos.

Los resultados encontrados en la estimación de disponibilidad de agua a través del balance hídrico coinciden con las características generales del estado de San Luis, mencionadas en el balance hídrico integral realizado por el INEGI. En el cual, considerando condiciones medias de precipitación pluvial, se afirma que en promedio del 100 % de las precipitaciones que entran al sistema hídrico, más del 84 % se pierde a través de la evapotranspiración, quedando un 16 % de agua disponible; de esta, una parte se infiltra y la otra escurre a los cuerpos de agua.

El ANP Sierra de Álvarez, junto con la sierra de San Miguelito, limita al Valle de San Luis Potosí; por esta razón, dichas áreas son la principal fuente de recarga hídrica, la cual ocurre por infiltración vertical, por retornos de riego y por aporte lateral, estimándose en 74 mm³ anuales.

Este estudio también subraya el papel fundamental del ANP Sierra de Álvarez como fuente de recarga hídrica para el Valle de San Luis Potosí, lo que refuerza su importancia ecológica. Dados los escasos estudios previos sobre la relación entre el comportamiento hídrico y la vegetación en la zona, este trabajo constituye una contribución esencial para la conservación y gestión ambiental del área.

Como perspectiva futura derivada de este análisis, resulta imperativo relacionar los datos obtenidos con la densidad de carbono en el sitio de estudio, empleando índices espectrales para fortalecer la precisión de las estimaciones geoespaciales.

Referencias

- Avendaño-Leadem, D. F., Cedeño-Montoya, B. C., & Arroyo-Zeledón, M. S. (2020). Integrando el concepto de servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial. *Revista Geográfica de América Central*, 65(2), 63-90. <https://doi.org/10.15359/rgac.65-2.3>
- Bárceñas-Pazos, G. M., Ríos-Villa, R., Aguirre-Rivera, J. R., Juárez-Flores, B. I., & Honorato-Salazar, J. A. (2008). Composición química y densidad básica relativa de la madera de dos especies arbustivas de encino blanco de la Sierra de Álvarez, SLP, México. *Madera y Bosques*, 14(3), 81-94. <https://doi.org/10.21829/myb.2008.1431207>
- Cárdenas-Tristán, A., Méndez-Hernández, K. R., Wu, H., Castro-Ovalle, A. G., Reyes-Alvarado, A. G., Galindo-Mendoza, M. G., & Reyes-Cárdenas, O. (2023). Spatiotemporal analysis of water reservoirs in San Luis Potosí state, Mexico, from 1990 to 2015. *Water Science*, 37(1), 344-357. <https://doi.org/10.1080/23570008.2023.2259662>

- Castillo, P., Flores, J. A., Aguirre, J. R., & Yeaton, I. Y. (2008). Dinámica sucesional del encinar de la sierra de Álvarez, San Luis Potosí, México. *Madera y Bosques*, 14(1), 21-35. <https://doi.org/10.21829/myb.2008.1411215>
- Chávez-Cortés, M. M., & Mancilla-Hernández, K. E. (2014). Esquema de cobro del servicio hidrológico que provee la cuenca alta del Pixquiac. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(5), 161-177. <https://www.revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/1239>
- Degano, M. F., Rivas, R. E., & Bayala, M. I. (2024). Determinación de la evapotranspiración con datos satelitales y de reanálisis utilizando Google Earth Engine. *Tecnología y ciencias del agua*, 15(4), 137-193. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2024-04-04>
- Duque-Sarango, P., Cajamarca-Rivadeneira, R., Wemple, B. C., & Delgado-Fernández, M. E. (2019). Estimación del balance hídrico de una cuenca andina tropical. *La granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 29(1), 56-69. <https://doi.org/10.17163/lgr.n29.2019.05>
- Flores, A., Aguilar, M., Reyes, H., & Guzmán, M. G. (2018). Gobernanza ambiental y pagos por servicios ambientales en América Latina. *Sociedad y Ambiente*, 6(16), 7-31. <https://doi.org/10.31840/sya.v0i16.1811>
- García, I., Pompa, S., & López, A. (2017). Ecoturismo como herramienta para promover el empoderamiento: el caso del Ejido San Francisco en el Área de Protección de Flora y Fauna Sierra de Álvarez, San Luis Potosí. *El Periplo Sustentable*, 32. <https://rperiplo.uaemex.mx/article/view/4870>

- García, F., Aguirre, J. R., Villanueva, J., & García, J. (1999). Contribución al conocimiento florístico de la Sierra de Álvarez, San Luis Potosí, México. *Polibotánica*, 10, 73-103. <https://polibotanica.mx/index.php/polibotanica/article/view/651>
- Gebreyohannes, T., De-Smedt, F., Walraevens, K., Gebresilassie, S., Hussien, A., Hagos, M., Amare, K., Deckers, J., & Gebrehiwot, K. (2013). Application of a spatially distributed water balance model for assessing surface water and groundwater resources in the Geba basin, Tigray, Ethiopia. *Journal of Hydrology*, 499, 110-123. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.06.026>
- Gómez, E., & Miño, M. G. (2023). Compartimentalizando naturaleza: sobre las áreas naturales protegidas de México y Argentina. *Letras Verdes*, 33, 86-102. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.33.2023.5567>
- Kampf, S. K., Burges, S. J., Hammond, J. C., Bhaskar, A., Covino, T. P., Eurich, A., Harrison, H., Lefsky, M., Martin, C., McGrath, D., Puntenney-Desmond, K., & Willi, K. (2020). The case for an open water balance: Re-envisioning network design and data analysis for a complex, uncertain world. *Water Resources Research*, 56, 1-19. <https://doi.org/10.1029/2019WR026699>
- Lamorena-Arencibia, Y. E., & Hidalgo-Mayo, A. (2019). Programa para el análisis espacial de los regímenes de temperatura y precipitación. *Revista Cubana de Meteorología*, 25(2), 238-243. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2664-08802019000200009

- Montero, J. (2022). Relación de la radiación solar con la producción de plantas: agroproductivas. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 9(1), 52-66. <https://doi.org/10.53287/oqym7033yy88k>
- Monterroso-Rivas, A. I., & Gómez-Díaz, J. D. (2021). Impacto del cambio climático en la evapotranspiración potencial y periodo de crecimiento en México. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-19. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.774>
- Olivera, S. M., & Hernández, R. (2021). Servicios ambientales: entre la conservación y el uso de los recursos. *Investigación & Negocios*, 14(23), 179-195. <https://doi.org/10.38147/invneg.v14i23.135>
- Ortiz, R., & Chile, M. (2020). Métodos de cálculo para estimar la evapotranspiración de referencia para el Valle de Tumbaco. *Siembra*, 7(1), 70-79. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i1.1450>
- Santillán, E., Davila-Vazquez, G., De-Anda-Sánchez, J., & Díaz, J. de J. (2013). Estimación del balance hídrico mediante variables climáticas, en la cuenca del río Cazonas, Veracruz, México. *Ambiente & Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 8(3), 104-117. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1147>
- Toro-del-Guerrero, F. J., Kretschmar, T., & Hinojosa-Corona, A. (2014). Estimación del balance hídrico en una cuenca semiárida, El Mogor, Baja California, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(6), 69-81. <https://revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/1221>
- Vaca, R. A., & Golicher, D. J. (2016). Integración del balance hídrico en la modelación de la distribución de especies de árboles mexicanos. *Botanical Sciences*, 94(1), 25-42. <https://doi.org/10.17129/botsci.241>