



LA MICRO REGIONALIZACIÓN COMO BASE DE PLANEACIÓN PARA UN MEJOR USO DEL SUELO Y AGUA EN ZONAS ÁRIDAS

Aurelio Pedroza-Sandoval^{1*}; Luis Gerardo Yáñez-Chávez¹; Ignacio Sánchez-Cohen²; Ricardo Trejo-Calzada¹

¹Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo. Bermejillo, C.P. 35230, Durango, México.

apedroza@chapingo.urruza.edu.mx - 872 776 0160 (*Autor de correspondencia)

²Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Gómez Palacio, C.P. 35140, Durango, México.

Resumen

La regionalización implica la división de un territorio en áreas menores con características comunes. Es una herramienta metodológica en la planeación ambiental, ya que permite conocer el estado de los recursos naturales por microrregión para un mejor manejo de éstos. El objetivo de este estudio fue hacer una micro regionalización para un mejor manejo de los recursos agua y suelo en la cuenca media de los ríos Nazas-Aguanaval, ubicada entre los estados de Durango y Zacatecas, México. Para tal efecto, se realizaron procesos de digitalización, aplicaciones SIG y cartografía digital, así como uso de índices de aridez y sequía, los cuales se calcularon con base a series históricas de datos climáticos de temperaturas máximas, mínimas y precipitación de estaciones meteorológicas de influencia en el sitio. Los criterios metodológicos antes citados se integraron y analizaron utilizando ArcMap 10.1. Se identificaron 15 microrregiones, agrupadas en tres grandes subregiones, la más árida (Categoría A2) y menos árida (Categoría B2) de las zonas áridas y la menos árida de las zonas semiáridas (Categoría B3) y cuatro niveles de sequía anual: mínima, moderada, media y alta. La vegetación dominante y tipo de suelo se asoció a cada microrregión.

Palabras claves: Índice de aridez, índice de sequía, cuenca hidrológica, SIG.

Introducción

La aridez es una condición ambiental que resulta de la influencia de varios factores, además es una representación confiable de la disponibilidad potencial de agua, especialmente a grandes escalas (Pereira *et al.*, 2023; Asadi Zarch *et al.*, 2015). México es un país con un territorio presenta extensas regiones con diferentes gradientes de aridez. Aunque existen pequeñas regiones áridas en todo el país, producto de las condiciones climáticas locales, la mayor extensión de zonas áridas en México se ubica en el cinturón o faja mundial de aridez, correspondiente a los desiertos Chihuahuense y Sonorense (Cervantes-Ramírez, 2002).

Una cuenca hidrológica es la unidad utilizada como marco de referencia para la planeación territorial y ambiental de los recursos naturales (Fuentes-Junco, 2004) y representa áreas de escurrimiento e infiltración donde el agua de lluvia tiende a ser drenada y que desemboca a ríos, lagos y finalmente a los océanos. El funcionamiento de la cuenca puede caracterizarse tomando en cuenta aspectos relacionados con su morfología, textura, tipo de suelo y cobertura vegetal (López-Cárdenas, 1998).

Adicionalmente, las cadenas productivas ocurren bajo ambientes agro-ecológicos distintivos que definen su potencial. Ese ambiente es dado por una serie de interacciones de clima, suelo y economía principalmente; de éstos, el clima define en gran medida la disponibilidad del recurso agua. La cuenca debe ser definida por la capacidad de aportar el recurso agua en función de sus características fisiográficas y ecológicas (Sánchez, 2005).

La cuenca Nazas-Aguanaval se ubica en la Región Hidrológica 36 (RH36) dentro de la Zona Hidrológico - Administrativa Cuencas Centrales del Norte y debe su nombre a los ríos Nazas y Aguanaval (DOF, 2016). Esta región hidrológica está formada por una extensa zona de 116,691.78 km² y está ubicada en la parte semiárida del país (CCNA, 2010). Particularmente, la cuenca media tiene precipitación media anual de 300 a 500 mm, genera el 15 % de los escurrimientos y es considerada una zona de almacenamiento, conducción y aprovechamiento de agua hacia la parte baja de la cuenca (Chávez-Ramírez *et al.*, 2011).

La cuenca media de los ríos Nazas-Aguanaval presenta una gran biodiversidad relativa a las condiciones climáticas y ecológicas, lo que hace necesario identificar las microrregiones que resulten diferentes entre sí, y por ello no sea apropiado agruparlas en una gran categoría de condición agroecológica, aun cuando sea propiamente referida a las zonas áridas o semiáridas.

La importancia de la regionalización implica la división de un territorio en áreas menores con características comunes y representa una herramienta metodológica básica en la planeación ambiental, que permita el conocimiento de los recursos para su manejo adecuado (CONABIO, 2008). Lo anterior indica que la importancia de regionalizaciones de tipo ambiental estriba en que se consideran análisis basados en ecosistemas, cuyo objetivo principal es incluir toda la heterogeneidad ecológica que prevalece en un determinado espacio geográfico; adicionalmente, la regionalización puede representar una herramienta de ordenamiento territorial. El objetivo de este estudio fue hacer una caracterización micro-regional con base a criterios de aridez, sequía y fisiografía, que permita una mejor planeación en el uso de los recursos naturales, con énfasis agua y

suelo, de sus características comunes y potencial agroecológico.

Materiales y Métodos

Ubicación geográfica

La cuenca media Nazas-Aguanaval pertenece a la RH 36, ubicada en el norte de México, entre los meridianos 23° y 27° Latitud Norte y los paralelos 106° y 102° Longitud Oeste. Sus límites son definidos entre las presas Francisco Zarco y Lázaro Cárdenas (Chávez-Ramírez *et al.*, 2011) en los estados de Durango y Zacatecas.

Criterios de regionalización

Para hacer la caracterización física de una región son utilizados diferentes indicadores. Es factible tomar en cuenta factores físicos y biológicos de mayor relevancia (Cabrera-Bermúdez *et al.*, 2004). El índice de aridez, índice de sequía anual, dominancia de vegetación y tipo de suelo, fueron los indicadores utilizados para realizar el presente estudio de regionalización.

Determinación de micro regiones fisiográficas

Se seleccionaron 26 estaciones climáticas de influencia en la zona que contenían un mínimo de 30 años con registro de información, sin datos atípicos y con al menos 75 % de ésta, dentro de la serie de datos 1979-2008. Para cada serie de datos se realizó un análisis de consistencia de la información. Cuando los registros climatológicos mostraban periodos sin datos, se usó el simulador climático CLIMGEN 4.06.06, el cual genera estocásticamente los valores de precipitación y temperatura más probables. Para la extracción de información climatológica histórica se utilizó el programa computacional ERIC III 2.0 (IMTA, 2009).

El método de interpolación utilizado fue la media ponderada por el inverso de la distancia (IDW), el cual utiliza un algoritmo simple basado en distancias. Se basa en la autocorrelación espacial de los puntos para la predicción y generación de superficies continuas (Moreno, 2008; Heywood *et al.*, 2006). Este método se ha utilizado para modelación espacio-temporal de variables climáticas minimizando el error estimado de estas variables (Shope & Maharjan, 2015; Modallaldoust, 2010).

Esta técnica de interpolación permitió identificar el área de influencia de cada estación climatológica (Figura 1). El software ArcMap 10.1 (ESRI, Redlands, CA, USA) como sistema de información geográfica, fue empleado para realizar la interpolación.

De acuerdo con el análisis geo-estadístico dentro del SIG, el método IDW realizó una predicción aceptable en los niveles espaciales de cada estación climática para la zona de interés, ya que sus indicadores en la validación como el Error Medio (≤ 0.01) y la suma de cuadrados medios del error (0.04) fueron considerablemente menores en comparación con los otros métodos que se evaluaron en la etapa de selección de modelos de interpolación.

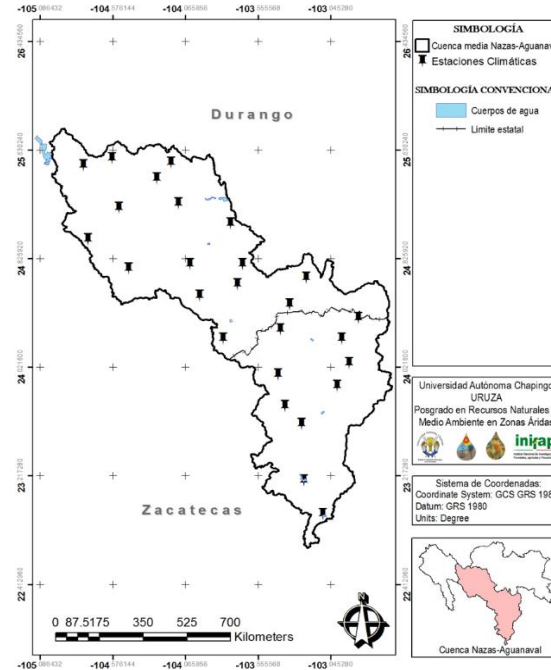


Figura 1. Ubicación de estaciones climáticas en la cuenca media Nazas-Aguanaval.

Determinación del índice de aridez

El Índice de Aridez de Emberger modificado por Stretta & Mosiño (1963) fue utilizado para determinar los diferentes grados de aridez en la región de estudio (Cuadro 1). Este índice integra la acción predominante del régimen pluviométrico y la influencia de las temperaturas máximas y mínimas promedio del más caliente y del mes más frío, respectivamente, ponderadas por la evaporación, obtenida esta última de manera indirecta mediante la diferencia del promedio de las temperaturas máximas y mínimas. Esta relación de indicadores ambientales concreta en la Ecuación (1).

$$IA = (m + 45)(M^2 - m^2)/Pp \quad (1)$$

Donde: *IA* = Valor del índice de aridez, entre más alto sea el valor calculado corresponderá a un mayor grado de aridez (Cuadro 2); *M* = Promedio de la temperatura máxima del mes más caliente en °C; *m* = Promedio de la temperatura mínima del mes más frío en °C; 45 = constante y; *Pp* = Precipitación media anual en mm.

Cuadro 1. Valores del índice de aridez y categorías planteadas por Stretta & Mosiño, (1963).

Valores de índice de aridez	Categorías	Condición de aridez
Más de 1000	A ₁ ,	Zonas desérticas
500 a 1000	B ₁ ,	Zonas desérticas
222 a 500	A ₂ ,	Zonas áridas
118 a 222	B ₂ ,	Zonas áridas
67 a 118	A ₃ ,	Zonas semiáridas
53 a 67	B ₃ ,	Zonas semiáridas
38 a 53		Zonas de transición

≥ 38	Zonas húmedas y muy húmedas
------	-----------------------------

Para el cálculo de la condición de aridez de cada microrregión, se utilizó la serie de datos climatológicos históricos (1979-2008) de las estaciones meteorológicas en el área de estudio. Se integró una base de datos y los resultados se aplicaron a cada área de acuerdo con lo determinado por el método de Stretta & Mosiño (1963). Este método ha sido utilizado en trabajos de investigación para clasificar las zonas áridas y semiáridas a través de índices climáticos y regionalizar áreas con escaso régimen de precipitación pluvial y la influencia de las temperaturas extremas y la evaporación pluvial en el norte de México (González, 2012; Pedroza-Sandoval *et al.*, 2014).

Determinación de la intensidad de la sequía anual

Para la determinación de la sequía anual y su intensidad, se usó la base de datos climática del ERIC III 2.0. La información de precipitación se tomó de las estaciones climáticas del área de estudio, así mismo se registró el número de años con sequía. Este procedimiento consistió en comparaciones de los registros anuales con la precipitación media anual de 30 años, obtenida de las normales climatológicas proporcionadas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2010). Para categorizar los niveles de sequía, se realizó una escala en porcentaje de años con presencia de sequía (Mendoza & Puche, 2007; Bravo *et al.*, 2006) (Cuadro 2).

La sequía es un fenómeno climático recurrente que se caracteriza por una reducción en la precipitación pluvial con respecto al promedio histórico regional, la cual es considerada como deficitaria; no presenta epicentro, ni trayectorias definidas y tiende a extenderse de manera irregular a través del tiempo y el espacio (Ortega-Gaucin, 2014; Méndez & Magaña, 2010). La sequía anual fue expresada en porcentaje de acuerdo con los años donde se presentó precipitación anual por debajo de su media histórica.

Se realizó una categorización de los grados de sequía, conforme a los siguientes rangos: <45 %, 46-50 %, 51-55 % y >55 %, de tal forma que se clasificaron las microrregiones por intensidad de sequía: mínima, moderada, media y alta, respectivamente (Cuadro 2).

Cuadro 2. Clasificación y escala para el porcentaje de sequía anual.

Rango (%)	Categoría	Nivel
<45	1	Mínima
46-50	2	Moderada
51-55	3	Media
>55	4	Alta

Dominancia de vegetación y tipo de suelo

El programa ArcMap 10.1 (ESRI, Redlands, CA, USA) fue utilizado para asociar la dominancia y agrupaciones principales de vegetación y unidades de suelo para cada micro región obtenida. La información se obtuvo de las cartas digitales de uso de suelo y vegetación serie V y edafología serie I escala 1:250,000 (INEGI, 2022).

Integración de criterios de regionalización

La micro regionalización se realizó mediante mapas digitalizados con la integración de los cuatro criterios; vegetación dominante, tipo de suelo, grado de aridez e intensidad de sequía anual de las microrregiones resultantes. Para la integración se utilizó álgebra booleana con el operador lógico And.

Resultados y Discusión

Caracterización

La parte media de la cuenca se delimitó con base a la división hidrológica digital (INEGI, 2022). Las subcuencas de la RH36 descritas en la Figura 2 conforman esta área. Sus límites fueron definidos de acuerdo con el DOF (2016), para Regiones y Cuencas Hidrológicas de México. La cuenca media está ubicada en la zona centro-norte del país, sus colindancias abarcan parte de los estados de Durango y Zacatecas. Cuenta con una extensión de 33,304.6 km² y representa el 38.3 % del total de la cuenca Nazas-Aguanaval.

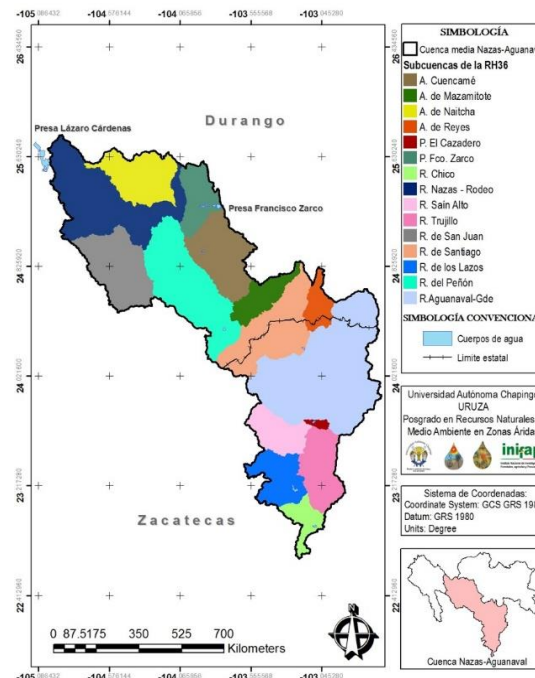


Figura 2. Subcuencas que conforman la Cuenca media Nazas-Aguanaval.

Tipo de suelos y vegetación dominante

Las unidades de suelo asociados a la parte media de la cuenca fueron Feozem, Litosol, Xerosol, Regosol y Rendzina, principalmente (Figura 3A), los cuales coinciden con los reportado por González-Elizondo *et al.* (2006). La vegetación dominante fue matorral desértico micrófilo y rosetófilo, además de grandes áreas de pastizal natural. Igualmente, se expandieron zonas dedicadas a la agricultura (Figura 3B).

La dominancia de agrupaciones de matorral desértico es comúnmente reportada en las regionales áridas de México, al ocupar la mayor parte de la extensión en estas zonas (Mora-Donjuán *et al.*, 2014).

De acuerdo con Rzedowski (2006), la vegetación de las regiones de clima seco de México se conoce como matorral xerófilo, pero dentro de esta denominación general se incluyen numerosos tipos de vegetación, entre los que destaca el matorral desértico micrófilo y rosetófilo. Respecto a los pastizales, la región centro-norte del país, presenta una topografía rugosa y un clima y geología variables, lo que le confiere una gran riqueza de gramíneas, ya que los pastos presentan una distribución ecológica muy amplia (Herrera-Arrieta & Cortés-Ortiz, 2009). De igual manera, la agricultura en zonas desérticas se ha desarrollado y expandido constantemente desde el siglo pasado (Cerutti, 2015).

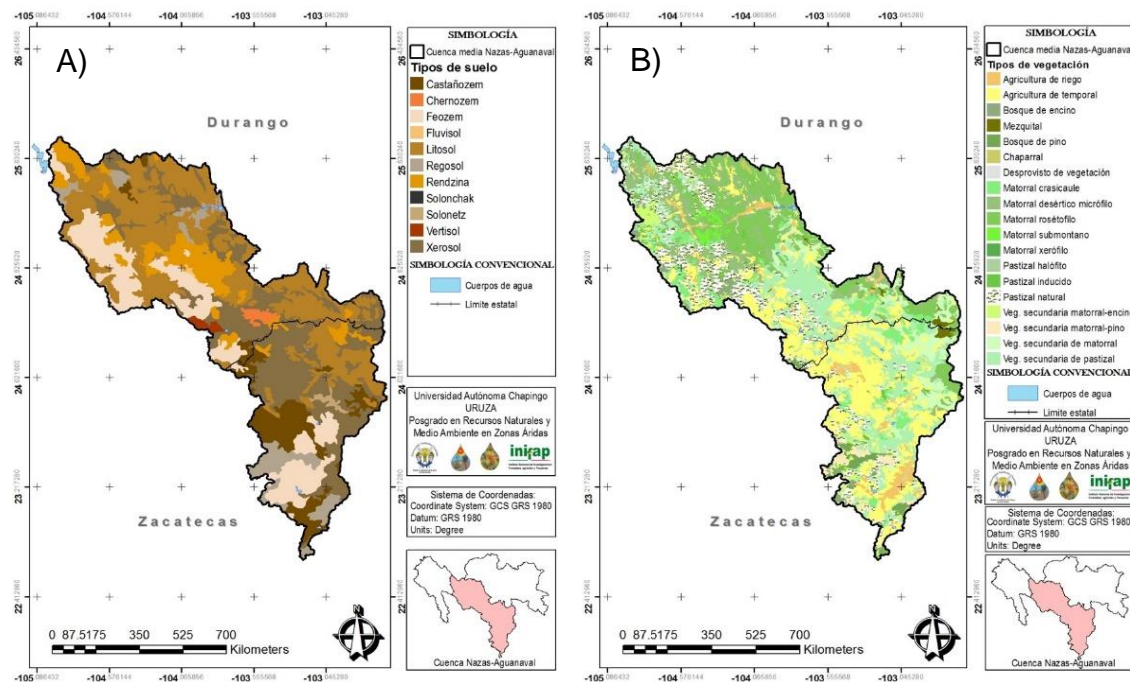


Figura 3. Representación espacial de los suelos dominantes (A) y la vegetación (B) en el área de estudio.

Grado de aridez

Con base al grado de aridez, se identificaron tres grandes subregiones en la región de estudio: la más y menos árida de las zonas áridas y la menos árida de las zonas semiáridas, correspondiente a 8, 17 y 1 estaciones de influencia por cada categoría, respectivamente (Figura 4A). Lo anterior indica que en la parte media de la cuenca domina la categoría B2, con índice de aridez entre 118 a 222 (Stretta & Mosiño, 1963). Esta condición de aridez es idónea para la dominancia de grandes extensiones de pastizal (González, 2012; Granados-Sánchez *et al.*, 2011). En esta área es factible practicar la agricultura de temporal mediante la captación de agua de lluvia procedente de cuencas hidrológicas. Es común también este tipo de agricultura a partir de captación de escurrimientos hídricos, en lo que se denomina agricultura de escorrentía (Pedroza-Sandoval, *et al.* 2022).

La categoría A2 es identificada como la más árida de las zonas áridas, con un índice de aridez que varía de 222 y 500 (Stretta & Mosiño, 1963), en las cuales la ausencia de agricultura de temporal es un común denominador (Cervantes-Ramírez, 2002). Las estaciones calculadas con esta categoría están situadas cerca del área de influencia de la cuenca baja.

Solo una estación fue clasificada con la categoría A3, considerada como la más árida de las zonas semiáridas, que se ubica en el rango de 67 a 118 de acuerdo con la tipificación hecha con base en el Índice de Emberger modificado por Stretta & Mosiño (1963). Esta zona es la más cercana a la cuenca alta y además de prevalecer zonas de pastizal natural con abundancia de pastos naturales o de origen primario, aquí se distribuyen diversas especies de los géneros: *Aristida*, *Bouteloua*, *Elionurus*, *Eragrostis*, *Heteropogon*, *Hilaria*, *Lycurus* y *Mnesithea* (Herrera-Arrieta & Cortés-Ortiz, 2009).

Asimismo, hay influencia de grandes extensiones dedicadas a la agricultura de temporal, donde se cultivan maíz, frijol, alfalfa, avena, sorgo y chile, principalmente (INEGI, 2015). En las zonas con clima semiárido, la práctica de la agricultura temporal del tipo tradicional es ampliamente generalizada a pesar de la irregularidad con que se presenta el periodo de lluvias (Andrade-Martínez *et al.*, 2019; Velasco-Molina, 1991). También, grandes extensiones de pastizales son dedicadas a la ganadería extensiva (Mellink & Riojas-López, 2020; Velázquez *et al.*, 2015).

Sequía anual

De acuerdo con la clasificación de las cuatro categorías de sequía indicadas en materiales y métodos, se tiene que el 46.1 % de las estaciones monitoreadas registraron una sequía moderada; le siguió en importancia de frecuencia la sequía media con un 34.6 % de las estaciones. Los valores mínimos de frecuencia fueron los de sequía mínima y alta, con el 11.5 y el 7.7 % de las estaciones meteorológicas, respectivamente (Figura 4B). La ocurrencia de estos registros coincide con Ortega-Gaucin (2014), ya que, para el norte de México, en las últimas décadas se han registrado varios años deficitarios de lluvias, afectando grandes extensiones agrícolas y comunidades rurales.

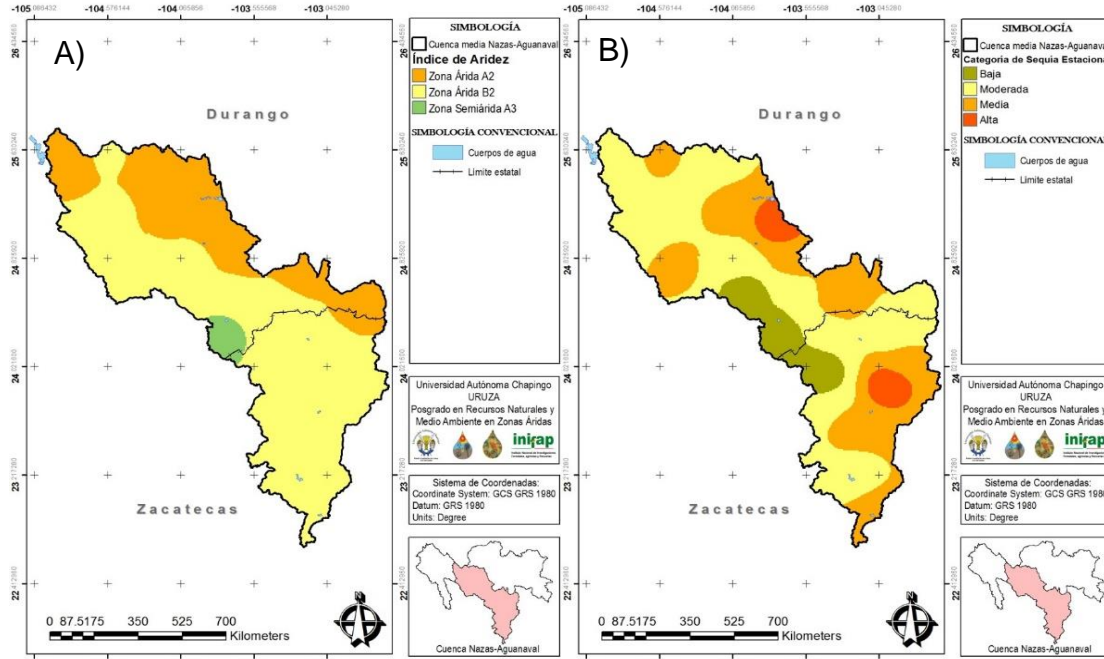


Figura 4. Índice de aridez (A) e índice de sequía (B) en el área de estudio.

Micro regionalización

La categorización propuesta mediante la integración de los indicadores de condición de aridez, intensidad de sequía y fisiografía, surge las combinaciones posibles de los diferentes niveles de cada criterio de regionalización (Figura 5). Las 15 microrregiones y su característica por indicador se muestran en el Cuadro 3.

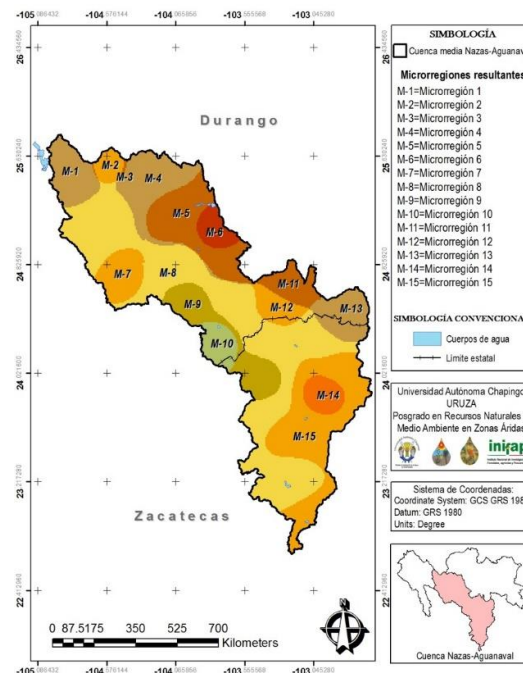


Figura 5. Microrregiones integradas en la Cuenca media Nazas-Aguanaval.

Cuadro 3. Microrregiones con la integración de los indicadores índice de aridez, sequía, tipo de suelo y vegetación dominante.

Microrregión	Índice de Aridez	Clases de Sequía	Fisiografía	Unidad de suelo
1	A2	Moderada	Matorral desértico micrófilo	Rendzina / Feozem
2	B2	Media	Pastizal natural	Xerosol / Regosol
3	A2	Media	Matorral desértico rosetófilo	Litosol
4	A2	Moderada	Matorral desértico micrófilo	Litosol
5	A2	Media	Matorral desértico rosetófilo	Litosol / Xerosol
6	A2	Alta	Matorral desértico rosetófilo	Litosol / Xerosol
7	B2	Media	Pastizal natural	Feozem
8	B2	Moderada	Agricultura de temporal / Pastizal natural	Feozem / Litosol
9	B2	Baja	Agricultura de temporal / Pastizal natural	Feozem / Litosol
10	A3	Baja	Agricultura de temporal	Feozem
11	A2	Media	Matorral desértico micrófilo	Litosol
12	B2	Media	Matorral crasicaule	Litosol
13	A2	Moderada	Bosque de mezquite / Matorral desértico rosetófilo	Xerosol / Litosol
14	B2	Alta	Agricultura de temporal / Pastizal natural	Xerosol / Solonetz
15	B2	Media	Agricultura de temporal / Pastizal natural	Xerosol / Feozem

La identificación de las 15 microrregiones del área de estudio, permitiría una planeación más dirigida y sistemática en el uso de los recursos naturales, particularmente del uso del suelo y agua, en función de las características biofísicas que cada subregión contiene, sin embargo, es necesario considerar indicadores sociales y económicos. Una planeación puede tener diferentes finalidades, tales como: la conservación, aprovechamiento y/o producción de los recursos bióticos de las zonas áridas (Sifuentes et al., 2019; Morrone, 2019; Pedroza-Sandoval *et al.*, 2014; Velasco & Pimentel, 2010).

Conclusiones

Se identificaron tres grandes subregiones: A2, B2 y A3, correspondiente a las más y menos áridas de las zonas áridas y la más áridas de las zonas semiáridas, con 30.7, 65.4 y 3.8 % de las estaciones meteorológicas monitoreadas. La intensidad de sequía fue del 46.1, 34.6, 11.5 y 7.7 % para las categorías moderada, media, mínima y alta, respectivamente, lo cual es indicativo de un buen potencial agroecológico en términos de esta variable climatológica. La interacción de tipos de vegetación y suelo, grados de aridez y niveles de sequía anual generaron 15 microrregiones, cada una con sus propias características climáticas y fisiográficas que les definen el potencial productivo y de reconversión. La micro regionalización y caracterización fisiográfica, es una herramienta útil en la planeación para un mejor uso y manejo de los recursos naturales de grandes extensiones y alta biodiversidad, como las zonas áridas, donde los recursos agua y suelo, suelen ser críticos por su carácter marginal.

Referencias Bibliográficas

- Andrade-Martínez, E., Niz-Lara, D., María, E., Benítez-Muñoz, M. Á., Olguín-López, J. L., Guevara-Gutiérrez, R. D. & Villalvazo-López, V. M. (2019). Identificación de áreas aptas para la agricultura de temporal con maíz y frijol en la Cuenca de Autlán, Jalisco, México. *Revista Geográfica de América Central*, (62), 1-32. <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.62-1.1>
- Asadi Zarch, M. A., Sivakumar, B. & Sharma, A. (2015). Assessment of global aridity change. *Journal of Hydrology*, 520, 300-313. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.11.033>
- Bravo L., A. G., Salinas G., H. & Rumayor R., A. (2006). *Sequia: Vulnerabilidad, impacto y tecnología para afrontar en el Norte Centro de México*. México, D.F.: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. http://zacatecas.inifap.gob.mx/publicaciones/SEQUIA_Vulnerabilidad_impacto_y_tecnologia_para_afrontarla_en_el_Norte_Centro_de_Mexico_2aEd.pdf
- Cabrera-Bermúdez, J., Guardado-Lacaba, R., Peláez-García, R. & González-Cabrera, N. (2004). Regionalización hidrogeológica de la provincia Pinar del Río en un SIG. *Minería & Geología*, 20(1-2), 24-31. <http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/125>
- Cerutti, M. (2015). *La agriculturización del desierto: Estado, riego y agricultura en el norte de México (1925-1970)*. *Apuntes*, 42(77), 91-127. <https://doi.org/10.21678/apuntes.77.740>
- Cervantes-Ramírez, M. C. (2002). *Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México*. México, D.F.: UNAM, Instituto de Geografía. <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/127/120/416-1>
- Chávez-Ramírez, E., González-Cervantes, G., González-Barrios, J. L. & López D., A. (2011). La evapotranspiración en la cuenca baja media del río Nazas. En Oswald S., U. (Ed.). *Retos de la Investigación del Agua en México* (121-129). Cuernavaca, México: Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, Universidad Nacional Autónoma de México/Scientific Network on Water–National Council on Science and Technology. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/06/retos-de-la-investigaci%C3%B3n-del-agua-en-mexico.pdf>
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2008). *Regionalización*. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/regionalizacion.html>
- Consejo de Cuenca Nazas Aguanaval (CCNA). (2010). *Marco Político-Administrativo del Consejo de Cuenca Nazas-Aguanaval*. Recuperado de <http://www.cuencanazasaguanaval.org/>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2016. ACUERDO por el que se dan a conocer los límites de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 regiones hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos. Recuperado de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5439123&fecha=27/05/2016
- Fuentes-Junco, J. J. A. (2004). *Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio en el*

- Parque Nacional de Pico de Tancitaro*. INECOL. Recuperado de <https://agua.org.mx/biblioteca/analisis-morfometrico-de-cuencas-caso-de-estudio-del-parque-nacional-pico-de-tancitaro/>
- González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M. & Márquez-Linares, M. A. (2006). *Vegetación y ecorregiones de Durango*. Durango: Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Instituto Politécnico Nacional. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/322244135_Vegetacion_y_Ecorregiones_de_Durango
- González M., F. (2012). *Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación*. México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología. Recuperado de: <https://agua.org.mx/biblioteca/las-zonas-aridas-y-semi-aridas-de-mexico-y-su-vegetacion/>
- Granados-Sánchez, D., Sánchez-González, A., Granados-Victorino, R. L. & Borja de la Rosa, A. (2011). Ecología de la vegetación del Desierto Chihuahuense. *Revista Chapingo Serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(SPE.), 111-130. <https://doi.10.5154/r.rchscfa.2010.10.102>
- Herrera-Arrieta, Y. & Cortés-Ortiz, A. (2009). Diversidad de las gramíneas de Durango, México. *Polibotánica*, (28), 49-68. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682009000200004&lng=es&nrm=iso
- Heywood, I., Cornelius S. & Carver, S. (2006). *An introduction to geographical information systems*. (Third edition). London, England: Pearson Prentice Hall. Recuperado de: https://badpets.net/IntroGIS/GIS_Intro.pdf
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). (2009). Extractor rápido de información climatológica (ERIC III). 2.0. Servicio Meteorológico Nacional. México, D.F. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/358805978/ERIC-III-Extractor-Rapida-de-Informacion-Climatologica>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía, e Informática). (2022). Descarga de mapas digitales de los temas edafología serie I, uso de suelo y vegetación serie V y división hidrológica de la República Mexicana. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/mg/>
- López-Cárdenas de L., F. (1998). *Restauración hidrológico forestal de las cuencas y control de erosión: ingeniería medioambiental*. Madrid, España: Mundiprensa.
- Mellink, E., & Riojas-López, M. E. (2020). Livestock and grassland interrelationship along five centuries of ranching the semiarid grasslands on the southern highlands of the Mexican Plateau. *Elem Sci Anth*, 8, 20. <https://doi.org/10.1525/elementa.416>
- Méndez, M. & Magaña, V. (2010). Regional aspects of prolonged meteorological droughts over Mexico and Central America. *Journal of Climate*, 23(5), 1175-1188. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI3080.1>
- Mendoza, N. & Puche, M. (2007). Evaluación de la ocurrencia de sequía en localidades de Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 24: 661-678. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182007000400004&lng=es&nrm=iso
- Modallaldoust, S. (2010). Evaluating optimized digital elevation precipitation model using

- IDW method (Case study: Jam & Riz Watershed of Assaloyeh, Iran). *DESERT*, 15(1), 5-14. <http://doi.10.22059/JDESERT.2010.21674>
- Mora-Donjuán, C. A., Rubio-Camacho, E. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., González-Tagle, M. A., Mata-Balderas, J. M. & Mora-Olivo, A. (2014). Composición y diversidad vegetal de un área de matorral desértico micrófilo con historial pecuario en el noreste de México. *Polibotánica*, (38), 53-66. <http://doi.10.21678/apuntes.77.740>
- Moreno, J. A. (2008). *Sistemas y análisis de la información geográfica: manual de autoaprendizaje con ArcGIS*. (Segunda Edición). México: Alfaomega. Recuperado de: https://books.google.com/books/about/Sistemas_y_An%C3%A1lisis_de_la_Informaci%C3%B3n.html?id=4BJqQwAACAAJ
- Morrone, J. J. (2019). Regionalización biogeográfica y evolución biótica de México: encrucijada de la biodiversidad del Nuevo Mundo. *Revista mexicana de biodiversidad*, 90. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2980>
- Ortega-Gaucin, D. (2014). Sequía en México y Estados Unidos de América: diferencias esenciales de vulnerabilidad y enfoques en la atención al fenómeno. *Frontera norte*, 26(SPE3), 141-148. <https://www.scielo.org.mx/pdf/fn/v26nspe3/v26nspe3a8.pdf>
- Pedroza Sandoval A., Sánchez Cohen I. y Trejo Calzada R. (2022). Captación de agua de lluvia para zonas con déficit hídrico. Agenda digital en plataforma Python. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. de México. Primera Edición. 27 p.
- Pedroza-Sandoval., A., Sánchez C., I., Becerra L., J. L., Ramos C., E., Reyes B., C., Rosales P., L. V. & Vargas P., G. (2014). Regionalización de zonas con escaso régimen pluvial: Estudio de caso zona Centro-Norte del estado de Durango, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 13(2), 71-85. <http://doi.10.5154/r.rchsza.2013.03.01>
- Pereira da Silva., L. A., Ribeiro da Silva, C., Pereira de Souza, C. M., Bolfe, É. L., Sena S., J. P. & Esdras L., M. (2023). Mapping of aridity and its connections with climate classes and climate desertification in future scenarios—Brazilian semi-arid region. *Sociedade & natureza*, 35. <http://doi.10.14393/SN-v35-2023-67666x>
- Rzedowski, J., (2006). *Vegetación de México*. (1ra. ed. Digital). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <http://www.conabio.gob.mx/institucion/centrodoc/doctos/librosdigitales/VegetaciondeMexico/Portadaypaglegales.pdf>
- Sánchez C., I. (2005). *Fundamentos para el aprovechamiento integral del agua. Un enfoque de simulación de procesos*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmosfera. Gómez Palacio, Durango, México.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2010). Normales climatológicas por Estado. Comisión Nacional del Agua. México D.F. Recuperado de http://smn1.conagua.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75
- Shope, C. L. & Maharjan, G. R. (2015). Modeling spatiotemporal precipitation: effects of density, interpolation, and land use distribution. *Advances in Meteorology*, 2015,

- 1-16. <http://doi.10.1155/2015/174196>
- Sifuentes, A. R. M., Díaz, J. V., Ávalos, J. E., González, M. R., Ramírez, G. D., & Paredes, J. C. (2019). Análisis multivariado en la identificación de cuencas hidrológicas homogéneas: Caso cuenca alta del río Nazas. *Agrofaz*, 1(1), 101-114. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7365905>
- Stretta, E. J. y Mosiño, P. A. (1963). *Distribución de las zonas áridas de la república según un nuevo índice de aridez derivado del de Emberger*. Vol. 16. México. Ingeniería Hidráulica en México.
- Velasco, I. & Pimentel, E. (2010). Zonificación agroclimática de Papadakis aplicada al estado de Sinaloa, México. *Investigaciones geográficas*, (73), 85-102. <http://doi.10.14350/riq.23864>
- Velasco-Molina, H. A. (1991). *Las zonas áridas y semiáridas: sus características y manejo*. México, D.F.: Limusa. Recuperado de: https://openlibrary.org/books/OL1295081M/Las_zonas_a%CC%81ridas_y_semia%CC%81ridas
- Velázquez M., M., Hernández G., F. J., Cervantes B., J. F. & Gámez V., H. G. (2015). *Establecimiento de pastos nativos e introducidos en zonas áridas de México*. San Luis Potosí, SLP Méx.: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CIR-Noreste. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/998.pdf>