

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN Y SU RELACIÓN CON LA VEGETACIÓN DEL ESTADO DE SONORA

SPATIAL DISTRIBUTION OF TEMPERATURE AND PRECIPITATION AND ITS RELATIONSHIP TO VEGETATION IN THE STATE OF SONORA

O. G. Gutiérrez-Ruacho ^{1*}; L. Brito-Castillo²;
L. Villarruel Sahagún³; E. Troyo-Diéguez⁴

¹Profesor-Investigador del Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora. Hermosillo, Sonora. MÉXICO. C. P. 83100.

²Investigador del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Unidad Guaymas, Guaymas, Sonora. MÉXICO. C. P. 85454. Correo-e: ruachogr@hotmail.com (*Autor para correspondencia)

³Profesor-Investigador de la Universidad Estatal de Sonora. Hermosillo, Sonora. MÉXICO. C. P. 83100.

⁴Investigador del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, Baja California Sur. MÉXICO. C. P. 23090.

RESUMEN

Según el vocabulario meteorológico internacional, la aridez se define como la característica de un clima referente a la insuficiencia de precipitación para mantener la vegetación. En los climas áridos las precipitaciones son altamente variables y los periodos prolongados de sequías son muy comunes. En este sentido, el término sequía se define como la ausencia prolongada o deficiencia marcada de la precipitación que puede causar un grave desequilibrio hidrológico. El estado de Sonora tiene climas muy áridos, áridos y semiáridos en el 95 % de su territorio; concentra una diversidad florística producto de la mezcla de varias provincias biogeográficas con un marcado gradiente altitudinal que se extiende desde la costa árida del alto Golfo de California hasta las montañas húmedas y frías de la Sierra Madre Occidental. En este trabajo se analizó la **variabilidad espacial de la temperatura y la precipitación**. Se estudiaron los **índices de aridez de Lang y DeMartonne**, y se **evaluó la relación de cada índice** con los cambios observados en la distribución de vegetación en el estado de Sonora. Se trabajó con información climática del estado desde 1920 hasta inicios de 2011. Se calcularon los valores mensuales, anuales de temperatura y precipitación con la información de las estaciones más relevantes en cuanto a ubicación, continuidad de datos y longitud de sus registros. Se encontró que el índice de DeMartonne muestra un gradiente creciente de este a oeste y de sur a norte en la Sierra Madre Occidental que coincide con la distribución espacial de dicha área. Razón por la cual se consideró un mejor indicador de los tipos de vegetación en Sonora que el índice de Lang.

PALABRAS CLAVE: Aridez, sequía, clima, índice de aridez.

ABSTRACT

According to the international meteorological vocabulary aridity is defined as the characteristic of a climate relating to insufficiency or inadequacy of precipitation to maintain vegetation. In the arid climates precipitation is highly variable and prolonged dry periods are common. In this sense, the term drought is defined as the prolonged absence or marked deficiency of precipitation to cause serious hydrological imbalance. The state of Sonora has very arid, arid and semiarid climates in the 95% of its territory. The plant diversity of Sonora reflects the intermingling



Recibido: 15 de mayo, 2012

Aceptado: 20 de noviembre, 2012

[http:// www.chapingo.mx/revistas](http://www.chapingo.mx/revistas)

of several major biogeographic provinces. There is a mark altitudinal gradient of vegetation types in Sonora extending from the hot, arid coast of the upper Gulf of California to the wet, cold highlands of the Sierra Madre Occidental. In this work we performed the analyses of the spatial variability of temperature and precipitation in Sonora. The aridity indices of Lang and De Martonne were studied and their link to observed changes in the distribution of vegetation was evaluated. We used climatic data of Sonora between 1920 and 2011. Long-term means of temperature and precipitation were estimated from selected climatic stations according to their location, continuity and length of their records. It was found that De Martonne's index increases from east to west and from south to north in the Sierra Madre Occidental coincident with the spatial distribution of vegetation. For this reason, De Martonne's index was considered better indicator than Lang index for the vegetation types in the state Sonora.

KEY WORDS: Aridity, drought, climate, aridity index.

INTRODUCCIÓN

El Gran Desierto de Norteamérica está constituido por cuatro regiones: Desierto de la Gran Cuenca, Desierto de Mohave, Desierto Chihuahuense y Desierto Sonorense. Este último comprende a Sonora, Baja California y Baja California Sur en México (Shreve y Wiggins 1964).

Sonora se encuentra en la región noroeste del país, limitado al norte por los estados de Arizona y una porción pequeña por New Mexico en los Estados Unidos. Al este limita con el estado de Chihuahua, al sur con Sinaloa, al noroeste con Baja California y al oeste con el Mar de Cortés. El estado de Sonora está situado entre los paralelos 32° 29' y 26° 18' latitud norte y entre los meridianos 108° 25' y entre 115° 03' longitud oeste del meridiano de Greenwich (Municipios en Sonora, 2012; INEGI, 2012).

En esta región se presentan grandes planicies y llanuras con lomeríos. No son frecuentes las cuencas endorreicas grandes. La Planicie Costera Sonorense es atravesada por numerosos ríos que descienden desde la Sierra Madre Occidental (INEGI, 2006).

Las temperaturas en Sonora están influidas fuertemente por la altitud y la proximidad con el mar. Los valores bajo cero son inexistentes en las regiones costeras mientras que las heladas son frecuentes en las zonas montañosas (Turner *et al.*, 2003). Las lluvias se incrementan hacia el sureste, con predominancia en verano, hacia el noroeste el régimen de invierno es más dominante (Vera *et al.*, 2006).

Según el vocabulario meteorológico internacional (WMO, 1992), la aridez se define como la característica de un clima referente a la insuficiencia de la precipitación para mantener la vegetación. El estudio detallado de la Aridez en México tiene grandes aplicaciones en cuanto a la planificación y administración de los recursos naturales (Lluch-Belda y *et al.*, 1991). El cálculo de índices numéricos facilita el manejo de los conceptos de sequía y aridez, particularmente en momentos de planeación y manejo de recursos naturales, sobre todo del recurso agua (Mercado *et al.*, 2010).

El 95 % del territorio de Sonora posee alguna variante de clima muy árido, árido o semiárido y concentra una diversidad

florística producto de la mezcla de varias provincias biogeográficas (Van Devender *et al.*, 2010). En los tipos de vegetación del estado hay un gradiente que se extiende desde la costa árida del alto Golfo de California hasta las montañas húmedas y frías de la Sierra Madre Occidental, incluyendo una multitud de tipos de vegetación. Los tipos de vegetación se pueden agrupar en regiones naturales que tienen un gradiente ambiental geográfico de este a oeste en el estado y en la sierra de norte a sur (Martínez-Yrizar *et al.*, 2010).

Son pocos los estudios climáticos que se han hecho en la región y en México. Englehart y Douglas (2005) estudiaron la variación diurna de la temperatura del suelo y encontraron un aumento en el rango diurno de las temperaturas para México. Por otra parte, Weiss y Overpeck (2005) encontraron una reducción en el periodo libre de heladas, asociado al aumento de temperaturas mínimas en el desierto Sonorense. También Gutiérrez-Ruacho *et al.* (2010) encontraron un aumento en las temperaturas y reducción de la precipitación en esta región de estudio.

Objetivo: Determinar los gradientes espaciales de temperatura, precipitación e índice de aridez con el fin de entender su relación con la vegetación en el estado de Sonora.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este trabajo se procesó la información climática del estado entre 1920 y los primeros meses de 2011. Los datos se obtuvieron de CLICOM (WMO, 2012). Son más de 200 estaciones meteorológicas localizadas en Sonora, de las cuales se seleccionaron 37 estaciones distribuidas en todo el estado (Cuadro 1 y Figura 1) con los siguientes criterios de calidad: situadas lejos de las ciudades, con más de 30 años de datos, pocos datos faltantes y con información actualizada. Con este método se intenta evitar que el efecto de la isla de calor de grandes centros urbanos tenga alguna influencia en los resultados, a la vez que se asegura disponer de toda la información climática posible.

A partir de los datos se estimaron las medias mensual, anual de temperatura (T) y precipitación (P) para cada estación seleccionada.

Cuadro 1. Listado de estaciones climatológicas seleccionadas. Se indica el nombre de la estación, su clave, coordenadas (X,Y) proyección es WGS84, UTM, ZONA 12 NORTE, precipitación anual (PPa), Temperatura media anual (Ta), Índice de Lang (Lang) e Índice de DeMartonne (IDM).

	Nombre de la Estación	Clave	X	Y	PPa	Ta	Lang	IDM
1	4p6	26292	575789	3032654	266,234	23,920	11,13	7,85
2	Álvaro Obregón	26068	609988	3077227	411,917	25,870	15,92	11,48
3	Angostura	26069	655258	3367728	393,473	20,863	18,86	12,75
4	Bacadéhuachi	26006	680419	3297906	481,066	20,610	23,34	15,72
5	Bacanuchi	26007	573513	3383491	505,426	17,561	28,78	18,34
6	Bánamichi	26008	577161	3318875	454,618	21,804	20,85	14,29
7	Batacosa	26009	658027	3044517	553,403	23,267	23,78	16,64
8	Bavispe	26012	696777	3373945	405,979	19,519	20,80	13,75
9	Carbó	26016	504839	3281676	405,979	20,822	19,50	13,17
10	Cuauhtémoc	26092	452199	3414753	382,387	21,321	17,93	12,21
11	Cucurpe	26025	528843	3353736	540,394	20,225	26,72	17,88
12	El orégano	26032	529159	3231855	421,223	23,809	17,69	12,46
13	Etchojoa	26034	637376	2975943	320,703	23,338	13,74	9,62
14	FélixGómez	26035	454912	3300226	317,911	19,279	16,49	10,86
15	Hornos	26043	608459	3064284	409,359	24,087	16,99	12,01
16	Imuris	26045	512755	3405411	445,393	19,715	22,59	14,99
17	Mazatán	26052	584420	3208119	524,525	20,785	25,24	17,04
18	Minas Nuevas	26053	698370	2993381	757,160	23,020	32,89	22,93
19	Mulatos	26055	719954	3169255	591,120	19,699	30,01	19,90
20	Naco	26057	601500	3465007	343,621	17,299	19,86	12,59
21	Navojoa	26061	655363	2994622	415,967	25,153	16,54	11,83
22	Onavas	26265	645243	3147775	612,791	24,089	25,44	17,98
23	Pitiquito	26093	393037	3394854	245,261	21,754	11,27	7,72
24	Pto Libertad	26071	339102	3310543	102,690	21,032	4,88	3,31
25	Pto Peñasco	26072	257413	3471016	89,478	22,051	4,06	2,79
26	Punta de Agua	26073	562019	3145192	425,351	23,745	17,91	12,60
27	Quiriego	26075	672845	3044717	661,968	24,131	27,43	19,39
28	Riito	26076	132026	3561691	54,464	21,724	2,51	1,72
29	Ruiz Cortinez	26024	689796	3013561	561,978	24,817	22,65	16,14
30	Sahuaripa	26077	672011	3214637	541,820	23,306	23,25	16,27
31	San Bernardo	26088	712586	3032407	710,917	24,391	29,15	20,67
32	Suaqui Grande	26125	608986	3141463	478,443	23,657	20,22	14,22
33	Tesopaco	26100	660852	3079636	662,198	22,408	29,55	20,43
34	Tezocomá	26099	677569	3059557	730,100	22,970	31,78	22,14
35	Tres Hermanos	26102	679972	3007873	571,024	25,176	22,68	16,23
36	Trincheras	26103	448771	3363049	277,924	21,287	13,06	8,88
37	Yécora	26109	704167	3139415	1114,625	13,385	83,27	47,66

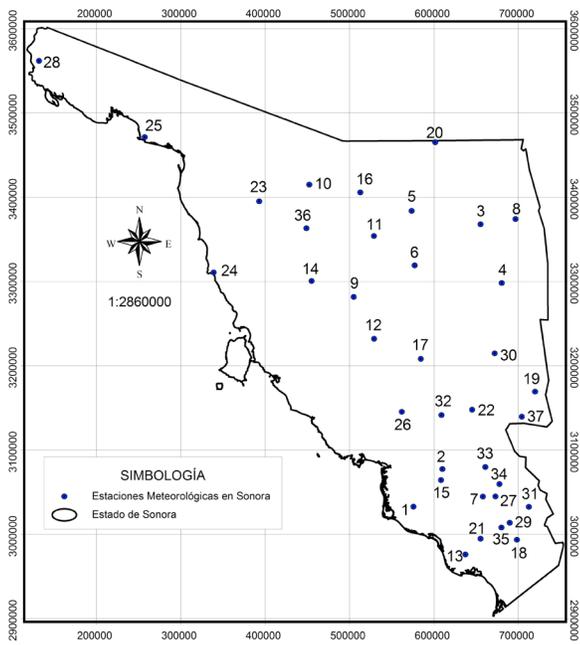


Figura 1. Ubicación de las Estaciones Meteorológicas seleccionadas en el Estado de Sonora.

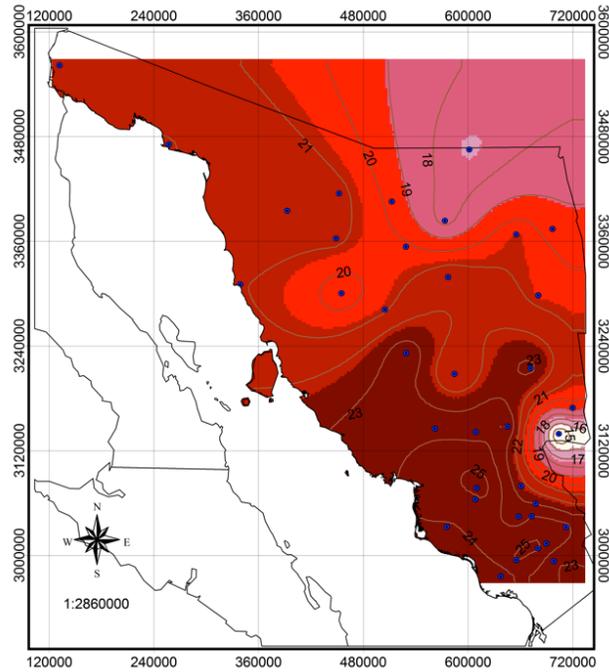


Figura 2. Isotermas medias anuales para el estado de Sonora calculadas en el periodo 1920-2011.

Se calcularon los índices de aridez de Lang(P/T) y de DeMartonne (P/(T+10)) (Almorox, 2003). La información de vegetación del estado se obtuvo de INEGI (2006). La interpolación de los contornos se hizo por el método de Krigging. Los mapas se crearon en SURFER y se editaron utilizando ArcView.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las Figuras 2 y 3 muestran la distribución espacial de las medias anuales de temperatura (Figura 2) y precipitación (Figura 3) en Sonora.

Las medias anuales más cálidas se observan en el sur del estado (Figura 2) mientras que las más frías se observan en la sierra, muy cerca de los límites con el estado de Chihuahua, en Yécora, al sureste de Sonora. En el norte del estado se aprecia una región templada intercalada con temperaturas altas hacia el sur. Este comportamiento coincide con lo reportado por Brito-Castillo *et al.* (2010) quienes emplearon datos menos actualizados.

La distribución de las lluvias muestra un patrón meridional con los lugares más secos (con menos de 100 mm x año) localizados al noroeste del estado y los más húmedos (con poco más de 1,000 mm x año) hacia el oriente de Sonora sobre la Sierra Madre Occidental (Figura 3).

Las Figuras 4 y 5 muestran la distribución de los valores de los índices de aridez de Lang (Figura 4) y de DeMartonne (Figura 5). Ambos índices muestran un comportamiento si-

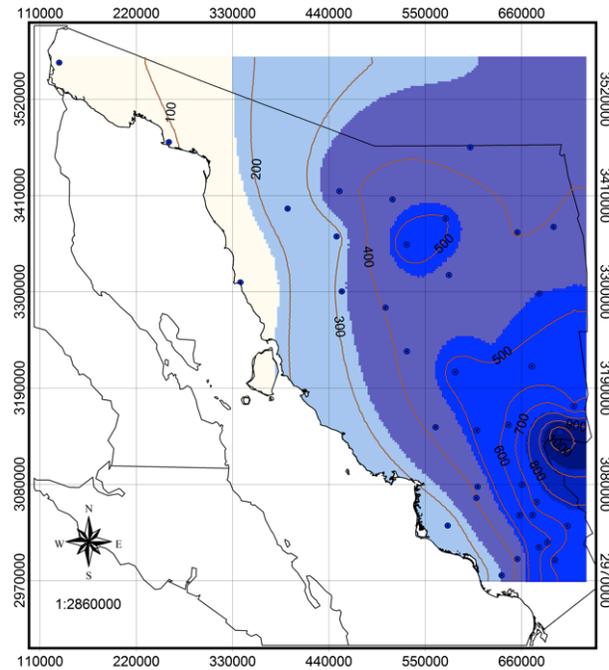


Figura3. Isoyetas medias anuales calculadas en el periodo 1920-2011

milar con áreas desérticas y áridas muy extensas en la mayor parte del territorio Sonorense, así como una pequeña región con características húmedas en el sureste del estado, muy cerca de los límites con Chihuahua, que coincide con la zona más lluviosa de Sonora (comparar mapa 3 con mapas 4 y 5). Sin embargo, la varianza explicada en las lluvias es mayor con el índice DeMartonne que con el índice de Lang (92

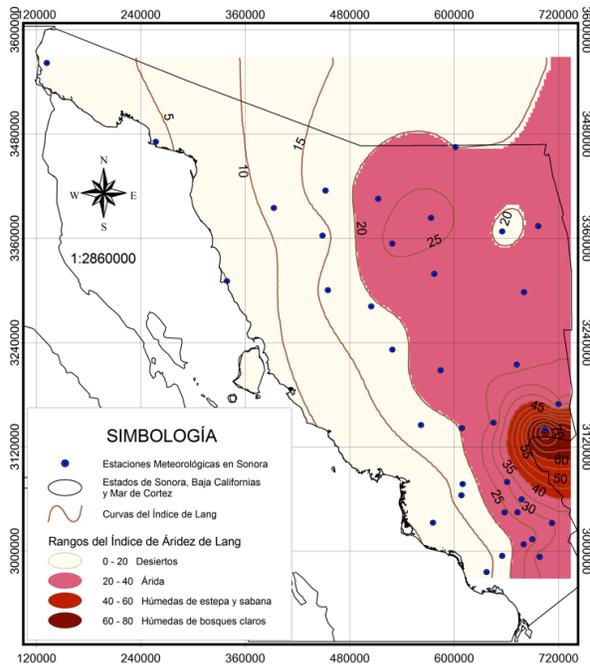


Figura 4. Distribución de los valores del Índice de Lang calculados para el estado de Sonora con datos entre 1920 y 2011.

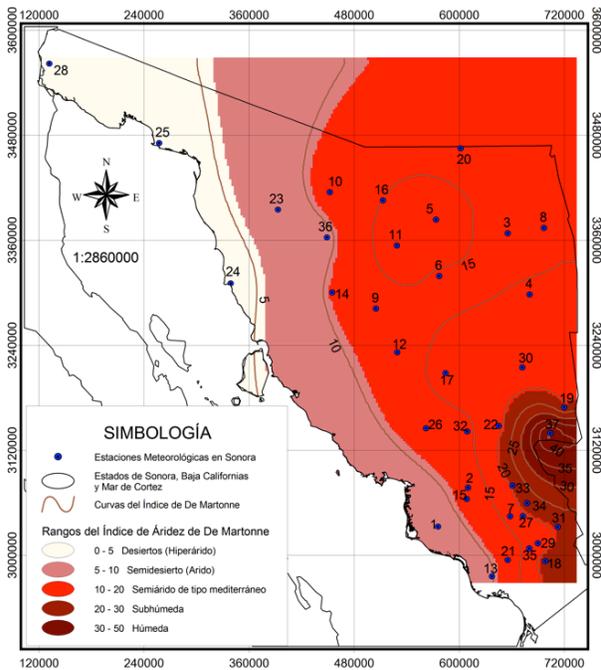


Figura 5. Igual que la figura 4, pero para el Índice de De Martonne

vs. 83 % respectivamente). Esto como resultado de la regresión entre el índice DeMartonne y las lluvias que conservan mejor el valor de la tendencia ajustada ante la existencia de sitios con valores extremos (Figura 6). Este resultado indica que el índice DeMartonne es un mejor predictor de la lluvia en Sonora que el índice de Lang.

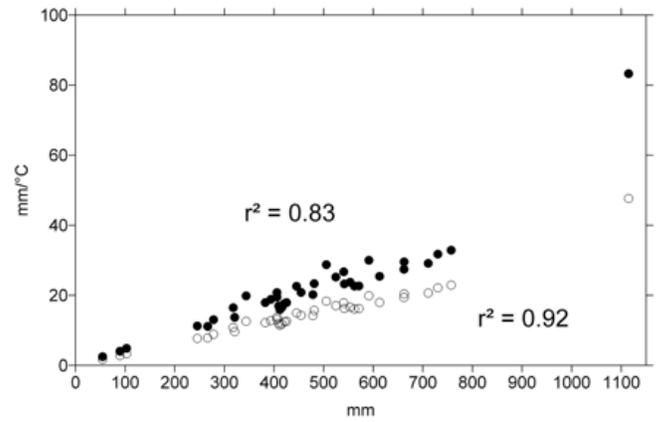


Figura 6. Regresión entre la lluvia media anual de Sonora (eje X) y sus correspondientes valores de los índices de aridez de Lang (puntos) y DeMartonne (círculos) (eje Y). Los coeficientes de determinación para cada par de series (siendo mayor el coeficiente entre el índice DeMartonne y la lluvia) se indican en la figura.

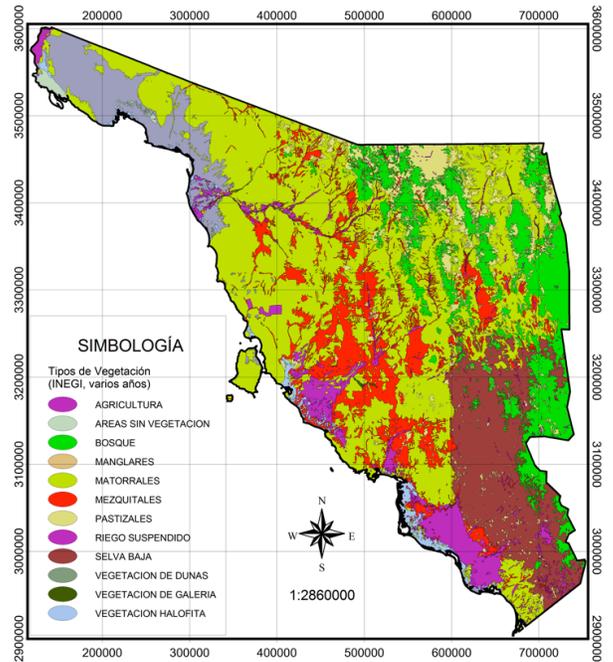


Figura 7. Vegetación del estado de Sonora según información de INEGI (2006).

En la Figura 7 se muestra la distribución espacial de la vegetación según datos de INEGI (2006). Se observa un gradiente de este a oeste y de norte a sur donde la vegetación de dunas, los torrales y los mezquiales se distribuyen en las áreas menos lluviosas mientras que la selva baja caducifolia y los bosques, en las zonas más lluviosas. Este gradiente ya ha sido reportado y discutido por Martínez-Yrizar *et al.*, 2010. Debido a las condiciones de aridez prevalecientes en la mayor parte del estado, las plantas xerófilas son las mejor adaptadas y por lo tanto, son las que abundan. Aunque resulta difícil establecer una relación robusta entre el tipo de

clima y el tipo de vegetación, es conocido que esta última cambia conforme a las condiciones de humedad, elevación y tipo de suelo. Pero en ocasiones sucede que en climas similares, las pequeñas diferencias en la periodicidad de eventos extremos son causas limitantes para la distribución de algunas especies (Brito-Castillo *et al.*, 2010). Por lo tanto, basados en los gradientes de precipitación y tipos de vegetación mostrados en las Figuras 3 y 6, se deduce que la distribución de la lluvia explica gran parte de la variabilidad espacial de la vegetación en Sonora. Como se mostró anteriormente el índice DeMartonne explica por sí solo el 92 % de la varianza en las lluvias, podemos concluir que este índice es un mejor indicador de la distribución de vegetación en Sonora, que el índice de Lang.

CONCLUSIONES

La distribución espacial de temperaturas medias y precipitación en el Estado de Sonora es altamente variable. El gradiente longitudinal es más fuerte que el latitudinal, forzado por la posición de la Sierra Madre Occidental que cruza al estado en su porción oriental provocando temperaturas medias anuales más bajas y mayor acumulación de lluvia, principalmente sobre las laderas occidentales.

El Índice de aridez de DeMartonne es más sensible a las características climáticas de Sonora y corresponde mejor con la distribución espacial de la vegetación que el índice de Lang.

RECOMENDACIONES

Es posible mejorar este estudio mediante un análisis más detallado, mediante mediciones complementarias en sitios no monitoreados, por ejemplo, a lo largo de la costa y en el extremo noroccidental del estado, información que permitiría corroborar la sensibilidad del índice DeMartonne a condiciones extremas. Pero esto requiere de experimentos muy específicos que quedan fuera de los alcances de este estudio.

AGRADECIMIENTOS

Michel Bogan por la revisión del documento en inglés. Comisión Nacional del Agua por proporcionar los datos actualizados y la Red temática de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos de CONACYT (REDES-Clim) por el apoyo parcial otorgado a esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Almorox, J. 2003. Climatología aplicada al Medio Ambiente y Agricultura. UPM. E.T.S.I. Agrónomos. R-401. España.
- Brito-Castillo, L.; Crimmins, M. A.; Díaz, S. C. 2010. Clima. En: F. E. Molina-Freaner y T. R. Van Devender, eds. *Diversidad biológica de Sonora*, UNAM, México, pp. 73-96. ISBN 978-607-02-0427-2.
- Engelhart, P. J.; Douglas, A. V. 2005. Changing behavior in the diurnal range of surface air temperature over Mexico. *Geophysical Research Letters* 32: L01701, doi:10.1029/2004GL021139
- Gutiérrez-Ruacho O. G.; Brito-Castillo, L.; Díaz-Castro, S. C.; Watts, C. J. 2010. Trends in rainfall and extreme temperatures in Northwestern Mexico. *Climate Research*, Vol 42:133-142.
- INEGI. 2006. Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación, escala 1:25000, serie III (conjunto nacional). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes, México.
- INEGI. 2012. <http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?s=geo&c=124&e=26> consultada el 26 de junio de 2012.
- Lluch-Belda, D; Hernández-Vazquez, S.; Lluch-Cota, D. B.; Salinas-Zavala, C. A.; Magallón-Barajas, F.; Lachica-B., F. de. 1991. Variación climática y oceanográfica global: sus efectos en el noroeste de México. *Ciencia y Desarrollo*. Vol. XVII, Núm. 98, 79-88 pp.
- Martínez-Yrizar, A.; Felger, R. S.; Búrquez, A. 2010. Los ecosistemas terrestres: un diverso capital natural. En: F. E. Molina-Freaner y T. R. Van Devender, eds. *Diversidad biológica de Sonora*, UNAM, México, pp. 129-156. ISBN 978-607-02-0427-2.
- Mercado-Mancera, G.; Troyo-Diéguez, E.; Aguirre-Gómez, A.; Murillo-Amador, B.; Beltrán-Morales, L. F.; García-Hernández, J. L. 2010. Calibración y aplicación del Índice de Aridez de DeMartonne para el análisis del déficit hídrico como estimador de la aridez y desertificación en zonas áridas. *Universidad y Ciencia*. 26(1): 51-64.
- Municipios en Sonora. 2012. <http://www.municipios.mx/Sonora/> consultada el 26 de junio de 2012.
- Shreve, F.; Wiggins, I. L. 1964. *Vegetation and flora of the Sonoran Desert*. The University of Stanford California Press. USA Tomo I.
- Turner R. M.; Webb, R. H.; Bowers, J. E.; Hastings, J. R. 2003. *The Changing Mile Revisited*. University of Arizona Press, Tucson, AZ. USA
- Van Devender, T. R.; Felger, R. S.; Fishbein, M.; Molina-Freaner, F. E.; Sánchez-Escalante J.; Reina-Guerrero, A. L. 2010. Biodiversidad de las plantas vasculares. En: F. E. Molina-Freaner y T. R. Van Devender, eds. *Diversidad biológica de Sonora*, UNAM, México, pp.229-261. ISBN 978-607-02-0427-2.
- Vera C.; Higgins, W.; Amador, J.; Ambrizzi, T.; Garreaud, R.; Gochis, Gutzler, D.; Lettenmaier, D.; Marengo, J.; Mechoso, C. R.; Nogue-Paele, J.; Silva Dias, P. L.; Zhang, C. 2006. Toward a Unified View of the American Monsoon Systems. *J. Climate-special section*. Vol. 19: 4977-5000
- Weiss J. L.; Overpeck, J. T. 2005. Is the Sonoran Desert losing its cool? *Global Change Biology*. 11: 2065-2077
- WMO, 1992. *International meteorological vocabulary*. World Meteorological Organization, No. 182, pp 784. ISBN: 92-63-02182-1
- WMO. 2012. World Meteorological Organization, Climate Computing Project available information online: <http://www.wmo.ch/pages/prog/wcp/wcdmp/clicom/index.en.html> (2012).