

# Climatic characterization of watersheds with a scanty rainfall regime

Caracterización climática en cuencas de escaso régimen pluvial

Martínez-Burciaga, Oscar Ulises <sup>1</sup>; Ávila Flores, Diana Yemilet <sup>1</sup>; Velásquez-Valle, Miguel Agustín <sup>2</sup>; Sánchez-Cohen, Ignacio <sup>2</sup>; Gutiérrez-Luna, Ramón <sup>3</sup>; Bueno-Hurtado, Palmira <sup>2</sup>; Ezquivel-Arriaga, Gerardo <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Saltillo. Carretera Saltillo-Zacatecas km 342+119, Saltillo, Coahuila. C.P. 25315. Tel: (618)1456089. Correo-e: dyemilet@gmail.com

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. Canal Sacramento km 6.5, Gómez Palacio Durango. C.P. 35140.

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Zacatecas. Carretera Zacatecas-Fresnillo km 24.5, Calera, Zacatecas. C. P. 98500.

## Abstract

In recent years both the frequency and severity of droughts have increased and it is expected that areas affected by them will increase in size. The most notable effects of drought are the constant threat to food production, increased pests and diseases, forest fires, land degradation and soil erosion, hence the importance of analyzing and quantifying them in order to proceed with actions to mitigate their effects. In this context, the aim of this paper is to describe how climate variables are monitored and how they can be applied to characterize droughts and identify areas vulnerable to the occurrence of this phenomenon, by presenting a case study for the southeast region of Coahuila state. To do this, weather data from the network of automatic agroclimatic stations operated by the National Institute for Forestry, Agricultural and Livestock Research (INIFAP) were used and analyzed using climate indices.

Keywords: weather stations, precipitation, evapotranspiration

## Resumen

En los últimos años se ha incrementado tanto la frecuencia como la gravedad de los episodios de sequía, y se prevé que las zonas afectadas por ella aumenten en extensión. Entre los efectos de la sequía, se destaca la amenaza constante para la producción de alimentos, aumento de plagas y enfermedades, incendios forestales, degradación de tierras y la erosión del suelo, entre otros. De ahí que se deriva la importancia de su análisis y cuantificación para proceder con acciones de mitigación de dichos efectos. En tal contexto, el objetivo del presente trabajo es mostrar una descripción del monitoreo básico de variables climatológicas y su aplicación para caracterizar las sequías y la determinación de áreas vulnerables a la ocurrencia de dicho fenómeno, mediante la presentación de un estudio de caso para la región sureste del estado de Coahuila. Para ello, se emplearon datos climáticos provenientes de la red de estaciones agroclimáticas automáticas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), los cuales fueron analizados mediante índices climatológicos.

Palabras clave: estaciones climáticas, precipitación, evapotranspiración

## Introduction

In recent years, drought has acquired great significance for the damage it causes, which is often greater than that produced by other hydrometeorological phenomena, and is becoming more threatening due to the atmospheric warming associated with global climate change (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2013).

Drought is a temporary phenomenon, during which precipitation at a particular location falls below the average (Palmer, 1965; Russell, Arey, & Kates, 1970). Precipitation anomalies are generally associated with changes in meteorological systems that control the climate at different geographic levels. Consequently, some droughts are localized in nature and last only short periods while others are spread across large areas and persist for long periods of time (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales [INETER], 2005).

Drought is a normal component of climate that happens almost every year in many parts of the world. Therefore, it is important to differentiate between aridity and drought; the first refers to the characteristic that defines a particular climate, the permanent state of low precipitation in some areas of the earth, whereas a drought is a temporary state, outside of what is considered climatologically normal for a given area (Dai, Trenberth, & Qian, 2004; Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2007). To better analyze the phenomenon of drought in a geographic region, it is desirable to employ techniques and procedures that enable us to properly assess and compare the effects of the different processes that cause it, especially rain (Carrillo, Cardona, Huízar-Álvarez, & Graniel, 2008).

In this context, the experimental watershed study approach stands out as an effective way of planning natural resource management (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2007). This approach is based on analyzing the systemic behavior among water resources, soil and vegetation in a terrestrial system with common hydrological characteristics (López, Castro, Camas, Villar, & López, 2013), where it is also possible to have control over the behavior of its elements, so that the relationships among them can be determined and, according to a specific purpose, modified.

The most dynamic component within a watershed system is the water, and as such it has inputs (flows) entering the system to be processed and outputs (water use for various purposes) (López et al., 2013). The inputs and outputs of water to a hydrological system,

## Introducción

En los últimos años, la sequía ha adquirido una gran relevancia por los daños que ocasiona, que con frecuencia superan en magnitud a los que producen otros fenómenos hidrometeorológicos, y se torna más amenazadora por el calentamiento atmosférico asociado al cambio climático global (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2013).

La sequía es un fenómeno temporal, durante el cual, la precipitación de un determinado lugar cae por debajo de la media (Palmer, 1965; Russell, Arey, & Kates, 1970). Las anomalías de precipitación se asocian generalmente con alteraciones de los sistemas meteorológicos que controlan el clima a diferentes niveles geográficos. En consecuencia, algunas sequías son de naturaleza localizada y sólo duran periodos cortos o bien otras están extendidas por zonas muy grandes y persisten durante largos periodos de tiempo (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales [INETER], 2005).

La sequía es un componente normal del clima que ocurre casi todos los años en muchas partes del mundo. Por lo que resulta importante diferenciar entre aridez y sequía, la primera hace referencia a la característica que define a un clima concreto, el estado permanente de bajas precipitaciones de algunas áreas de la tierra, en cambio una sequía es un estado temporal, fuera de lo que se considera climatológicamente normal para una zona determinada (Dai, Trenberth, & Qian, 2004; Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2007). Para analizar mejor el fenómeno de la sequía en una región geográfica, es conveniente emplear técnicas y procedimientos que permitan apreciar y comparar adecuadamente los efectos de los distintos procesos causantes de la misma, particularmente sobre las lluvias (Carrillo, Cardona, Huízar-Álvarez, & Graniel, 2008).

En este contexto, el enfoque de estudio en cuencas experimentales, se destaca como una forma eficaz de planificación de manejo de los recursos naturales (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2007). Dicho enfoque se basa en el análisis del comportamiento sistémico entre los recursos agua, suelo y vegetación, en un sistema terrestre con características hidrográficas comunes (López, Castro, Camas, Villar, & López, 2013), donde además es posible tener un control sobre el comportamiento de sus elementos, de tal manera que se pueda determinar la relación entre ellos y de acuerdo a un determinado fin, pueda ser modificable.

El componente más dinámico dentro del sistema de las cuencas es el agua, y como tal, tiene entradas

from the climatological point of view, are determined by precipitation and potential evapotranspiration, the latter being a descriptor of utmost importance to classify spatially and temporarily climate regimes, particularly if related to rainfall, the main component of the water balance in the soil (Arora, 2002; Mundo & Martínez, 2002).

In this context, the aim of this paper is to present a description of the basic monitoring of climate variables and their application to characterize droughts that have occurred in watersheds representative of a scanty rainfall regime in the southeast region of Coahuila state, and identify areas vulnerable to the occurrence of this phenomenon.

## Materials and methods

### Basic monitoring of climate variables and database generation

The availability of quality, spatially-distributed climate information is important for research development in different disciplines such as hydrology, agronomy and ecology (Leal-Nares, Mendoza, & Carranza, 2010). Such information is an important reference to characterize the general weather conditions that normally occur in a region, enabling us to differentiate regions as decision-making elements for planning either productive or natural resource management activities.

In this context, and in order to monitor the climatic environment to provide information that can be used in various applications, the National Institute for Forestry, Agricultural and Livestock Research (INIFAP) currently has a network of 27 automatic weather stations in Coahuila state (Figure 1). Each station is equipped with sensors for measuring air temperature, relative humidity, precipitation, wind speed and direction, solar radiation, leaf wetness and evapotranspiration calculation. These stations provide readings updated every 15 minutes that are transmitted to a central base located at the Saltillo Experimental Station. The station information can be accessed via Internet at: <http://clima.inifap.gob.mx>.

Of the climate variables recorded by the stations, temperature and precipitation are the factors most commonly used and some parameters derived from them are mainly applied in the productive activities of the farming sector. The amount of precipitation is measured by means of rain gauges, which are equipped with a measuring system that stores and transmits information to a central station. The generated files contain the event date, time, and precipitation amount, as well as other recorded meteorological variables. Temperature depends mainly

(insumos o flujos) que ingresan al sistema para ser procesadas, así como salidas (uso de agua para varios fines) (López et al., 2013). Las entradas y salidas de agua a un sistema hidrológico, desde el punto de vista climatológico, están determinadas por la precipitación y la evapotranspiración potencial, siendo este último un descriptor de suma importancia para clasificar de manera espacial y temporal regímenes climáticos, en especial si se relaciona con la precipitación pluvial, componente principal del balance de agua en el suelo (Arora, 2002; Mundo & Martínez, 2002).

En esta línea, el objetivo del presente trabajo es presentar una descripción del monitoreo básico de variables climatológicas y su aplicación para caracterizar las sequías que se han presentado en cuencas representativas de escaso régimen pluvial de la región sureste del estado de Coahuila, así como la determinación de áreas vulnerables a la ocurrencia de dicho fenómeno.

## Materiales y métodos

### Monitoreo básico de variables climatológicas y generación de bases de datos

La disponibilidad de información climática de calidad y espacialmente distribuida es importante para el desarrollo de investigaciones en distintas disciplinas como por ejemplo, la hidrología, agronomía o ecología (Leal-Nares, Mendoza, & Carranza, 2010). Tal información, es un referente importante para caracterizar las condiciones generales del clima que se presenta normalmente en una región, permitiendo diferenciar regiones como elementos de decisión para la planeación ya sea de actividades productivas o de manejo de recursos naturales.

En este contexto y con el objeto de monitorear el ambiente climático para disponer de información que pueda ser usada en aplicaciones diversas, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), actualmente cuenta con una red de 27 estaciones climatológicas automáticas en el estado de Coahuila (Figura 1). Cada estación consta de sensores de medición de temperatura del aire, humedad relativa, precipitación, dirección y velocidad del viento, radiación solar, humedad de la hoja y cálculo de la evotranspiración. Dichas estaciones proporcionan lecturas actualizadas cada 15 minutos y son transmitidas a una base central ubicada en el Campo Experimental Saltillo. La información de las estaciones puede ser consultada a través de internet en el sitio: <http://clima.inifap.gob.mx>.

De las variables climáticas registradas por las estaciones, la temperatura y la precipitación son los factores que

on the radiation balance, determined by the radiation entering and leaving (Garduño, 1994), quantified using thermometers, thermocouples and thermistors. All information recorded and sent to the central database is downloaded in text file format, making it available for handling and use. For the purposes of this study, the Hare and Ogallo indices (1993) and the Palmer Drought Severity Index (PDSI) were used to characterize drought episodes, and the Penman-Monteith equation was used for calculating evapotranspiration.

**Information generation for characterizing droughts in watersheds with a scanty rainfall regime: Southeast region of the state of Coahuila**

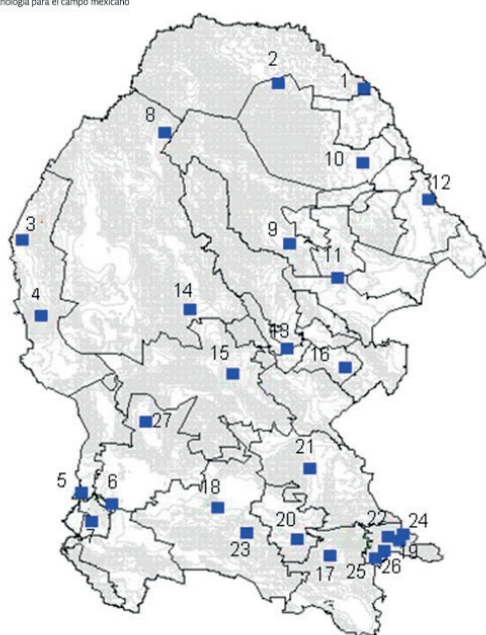
As an example of the use of climatological data files, zoning of the drought problem for the southeast region of Coahuila state is presented, based on the Hare and Ogallo indices (1993) and the Palmer Drought Severity Index (PDSI).

The basis for analyzing and characterizing droughts in small, partially-instrumented watersheds with a scanty rainfall regime in the southeast region of Coahuila was the monthly precipitation and potential evapotranspiration data. Evapotranspiration was calculated using the Penman-Monteith equation; variables used in this equation are solar radiation, air

más se utilizan y de ellos derivan algunos parámetros que en su mayoría, se aplican principalmente en las actividades productivas del sector rural. La cantidad de precipitación se mide por medio de pluviómetros, los cuales cuentan con un sistema de medición que guarda y transmite la información a una estación central. Los archivos generados contienen la fecha del evento, hora, cantidad de precipitación, así como el registro de las otras variables meteorológicas. La temperatura depende principalmente del balance de radiación: contabilidad de la radiación que entra y la que sale (Garduño, 1994) y para su cuantificación se utilizan termómetros, termopares y termisores. Toda la información registrada y enviada a la base central es descargada en formato de archivo de texto, quedando disponible para su manipulación y uso. Para fines de este estudio se emplearon los Índices de Hare y Ogallo (1993) y el Índice de Severidad de la Sequía de Palmer (ISSP) para caracterizar los episodios de sequía así como la ecuación de Penman-Monteith para el cálculo de la evapotranspiración.

**Generación de información para la caracterización de sequías en cuencas de escaso régimen pluvial: Región sureste del estado de Coahuila**

Como ejemplo de la utilización de los archivos de datos climatológicos, se presenta una zonificación



No / Núm	County / Municipio	Locality / Localidad	Location / Ubicación		Elevation (masl) / Altitud (msnm)
			Latitude (N) / Latitud (N)	Longitude (W) / Longitud (W)	
1	ACUÑA	Pasta 9	29° 14' 40.60"	100° 54' 00.20"	334
2	ACUÑA	Rancho Los Lobos	29° 13' 05.2"	101° 28' 27.0"	296
3	SIERRA MOJADA	Rancho Santa María	27° 55' 53.30"	103° 50' 58.70"	1252
4	SIERRA MOJADA	E. S. T. No. 32	27° 17' 34.40"	103° 40' 42.10"	1857
5	FRANCISCO I. MADERO	El Porvenir	25° 46' 58.90"	103° 19' 06.40"	1108
6	SAN PEDRO DE LAS COLONIAS	Rancho Las Mercedes	25° 41' 02.40"	103° 00' 04.00"	1099
7	MATAMOROS	CELALA-INIFAP	25° 31' 57.00"	103° 14' 36.60"	1096
8	VILLA OCAMPO	Los Pilares	28° 50' 44.90"	102° 37' 30.40"	1240
9	MUZQUIZ	Unión Ganadera Local	27° 54' 46.80"	101° 32' 18.10"	497
10	ZARAGOZA	CEZAR-INIFAP	28° 35' 56.00"	100° 54' 43.80"	343
11	PROGRESO	Rancho Las Cabras	27° 36' 18.40"	101° 07' 16.70"	369
12	GUERRERO	Rancho Santa Elena	28° 17' 23.80"	100° 19' 33.70"	230
13	NADADORES	Rancho El Cedral	27° 01' 54.00"	101° 32' 44.10"	535
14	VILLA OCAMPO	Ejido Ocampo (El Nogal)	27° 20' 22.5"	102° 23' 43.2"	1144
15	CUATRO CIENEGAS	Rancho PRONATURA	26° 48' 19.10"	102° 01' 04.40"	754
16	ABASOLO	Rancho El Paraíso	27° 06' 16.2"	101° 17' 20.8"	434
17	SALTILLO	Rancho El Padrino	25° 14' 11.40"	101° 10' 19.2"	1866
18	PARRAS DE LA FUENTE	Empacadora de Melón	25° 38' 50.30"	102° 08' 52.60"	1067
19	ARTEAGA	Rancho Roncevales	25° 23' 44.10"	100° 36' 21.30"	2534
20	GENERAL CEPEDA	Rancho La Gloria	25° 22' 20.90"	101° 28' 07.90"	1590
21	RAMOS ARIZPE	Los Pirules	25° 58' 49.10"	101° 21' 01.40"	1214
22	ARTEAGA	Rancho La Roista	25° 22' 09.60"	100° 38' 10.60"	2421
23	PARRAS DE LA FUENTE	Rancho Parras El Alto	25° 23' 17.6"	101° 53' 26.3"	1738
24	ARTEAGA	Rancho El Conejo	25° 16' 40.6"	100° 34' 58.6"	2195
25	ARTEAGA	Rancho Guadalupe	25° 12' 13.9"	100° 46' 13.1"	2013
26	ARTEAGA	CESAL-INIFAP	25° 16' 02.2"	100° 46' 27.3"	2039
27	CUATRO CIENEGAS	Tanque Nuevo	26° 35' 00.0"	102° 13' 08.00"	809

Figure 1. Network of INIFAP weather stations in Coahuila state.

Figura 1. Red de estaciones climatológicas del INIFAP en el estado de Coahuila.

temperature, relative humidity and wind speed (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 1998). The data analyzed in this study were provided by the INIFAP network of weather stations, located in Arteaga, General Cepeda, Parras de la Fuente, Ramos Arizpe and Saltillo counties.

Permanent drought conditions were determined using the Hare & Ogallo index (1993) and through GPS use the coverage index to obtain the classification map per region based on the index was generated. Temporary drought conditions were obtained by the Palmer Drought Index (PDI). Since this index assesses drought through the years, and due to the different climatic conditions present in the region, a representative station was selected based on its geographical location considering the amount and quality of the historical information recorded. For this reason, information from the General Cepeda weather station, located in the county of the same name, was selected for being very close to the geographical center of the region, and for having historical information from a greater number of years (33 years) that was both complete and highly reliable. With the monthly precipitation and evapotranspiration data, the serial water balance and the Palmer Drought Index (PDI) were calculated. Droughts were categorized according to the index values (Palmer, 1965).

Information analysis consisted of determining the number of months per year with a defined moisture condition, the annual moisture condition, the months in which drought occurred the most, continuous drought periods and precipitation anomalies with respect to each category. To determine the probability of drought occurrence, the annual drought index data were fitted to a normal distribution function and the occurrence probabilities of each value were estimated. A risk map was developed by estimating drought probability values from rainfall values. This model was determined by simple linear regression analysis.

## Results and discussion

The permanent climatic condition related to water availability represented by the Hare and Ogallo (1993) index for southeastern Coahuila is presented in Figure 2.

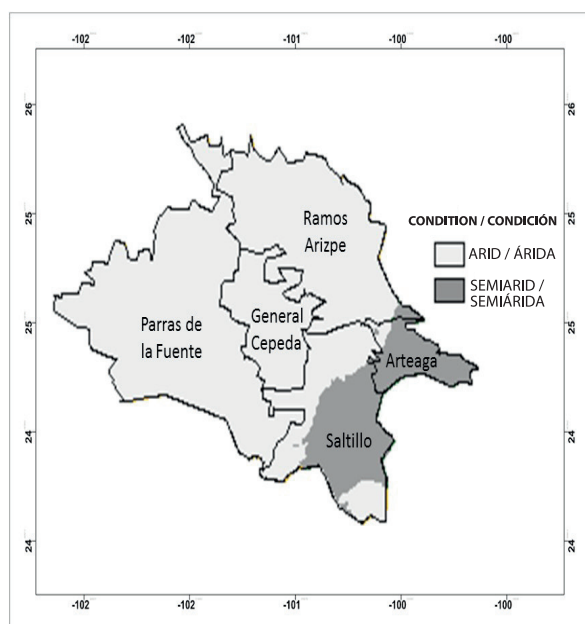
Temporary water conditions estimated by the Palmer index indicated that for the study period (1970-2003), drought conditions persisted in 42.4 % of the area, while normal conditions accounted for 30.4 % and wet conditions 27.2 %. On the other hand, analysis of the duration period, which determines the severity of the damage caused and is based on the consecutive months and years in which this climatic anomaly occurs, indicated that for the study period there were 35 drought events of varying length. The most frequent

del problema de la sequía para la región sureste del estado de Coahuila, considerando los Índices de Hare y Ogallo (1993) y el Índice de Severidad de la Sequía de Palmer (ISSP).

La base para el análisis y caracterización de las sequías en pequeñas cuencas de escaso régimen pluvial y parcialmente instrumentadas de la región sureste del estado de Coahuila, fueron los datos de precipitación y evapotranspiración potencial mensuales. Para el cálculo de la evapotranspiración se empleó la ecuación de Penman-Monteith, las variables utilizadas en esta ecuación son radiación solar, temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 1998). La información analizada en este estudio fue la proporcionada por las estaciones climatológicas de la red del INIFAP, ubicadas en los municipios de Arteaga, General Cepeda, Parras de la Fuente, Ramos Arizpe y Saltillo.

Se determinaron las condiciones de sequía permanente, mediante el índice de Hare y Ogallo (1993) y mediante el uso sistemas de información geográfica se generó la cobertura del índice para la obtención del mapa de clasificaciones por regiones con base al índice. Las condiciones de sequía temporal, se obtuvieron mediante el índice de sequía de Palmer (PDI). Dado que este índice evalúa la sequía a través de los años, y debido a la diversidad de condiciones climáticas que se presentan en la región, se seleccionó una estación representativa con base en su ubicación geográfica considerando la cantidad y calidad de la información histórica registrada. Para ello se tomó la información de la estación climatológica General Cepeda, ubicada en el municipio del mismo nombre, fue seleccionada por encontrarse muy cercana al centro geográfico de la región, y poseer información histórica de un mayor número de años (33 años), completa y de alta confiabilidad. Con los datos mensuales de precipitación y evapotranspiración, se calculó el balance hídrico seriado y el índice de Sequía de Palmer (ISSP). Según el valor del índice, las sequías se categorizaron de acuerdo a los valores del índice (Palmer, 1965).

El análisis de la información consistió en la determinación anual del número de meses con una definida condición de humedad, la condición de humedad anual, los meses en que más se presentó la sequía, los periodos continuos de sequía y las anomalías de la precipitación con respecto a cada categoría. Para la determinación de la probabilidad de ocurrencia de sequía, se ajustaron los datos del índice de sequía anual a una función de distribución normal y se estimaron las probabilidades de presentación de cada valor. Se elaboró un mapa de riesgos mediante la estimación de valores de probabilidad de sequía a partir de valores de precipitación pluvial. Este modelo fue determinado mediante análisis de regresión lineal simple.



**Figure 2. Arid and semiarid regions in southeastern Coahuila state.**

**Figura 2. Regiones áridas y semiáridas del sureste del estado de Coahuila**

were in the range of one to five months, accounting for 63 % of cases. The estimated probability of having drought events that can cause problems was high, about 3.7 events of over six months are possible every ten years. These periods can be considered normal given the characteristics presented by rain in the region; however, what can be a problem are the periods of over five months that, in the case of some productive activities, can affect their development. Representation by years of moisture conditions that occurred during the study period is shown in Figure 3, where the continuous periods of both deficit and excess moisture can be observed and determined.

The distribution map of areas with different probabilities of having droughts is shown in Figure 4. In this map areas with three likelihood levels of drought occurrence are presented. The low level corresponds to areas with less than 30 % chance of drought occurring; at this level, the largest area of Arteaga county and only a very small part of Saltillo county are located. The mid-level corresponds to areas with between 30 and 60 % probability of occurrence, and are mainly located in Saltillo county and in small areas of other counties bordering it. The high level corresponds to areas with drought occurrence probabilities of more than 60 %. The location of these areas is mostly in Parras de la Fuente, General Cepeda, and Ramos Arizpe counties, plus in a small part of Saltillo county.

The climatic condition in the state of Coahuila that can be considered normal is aridity or semi-aridity, mainly

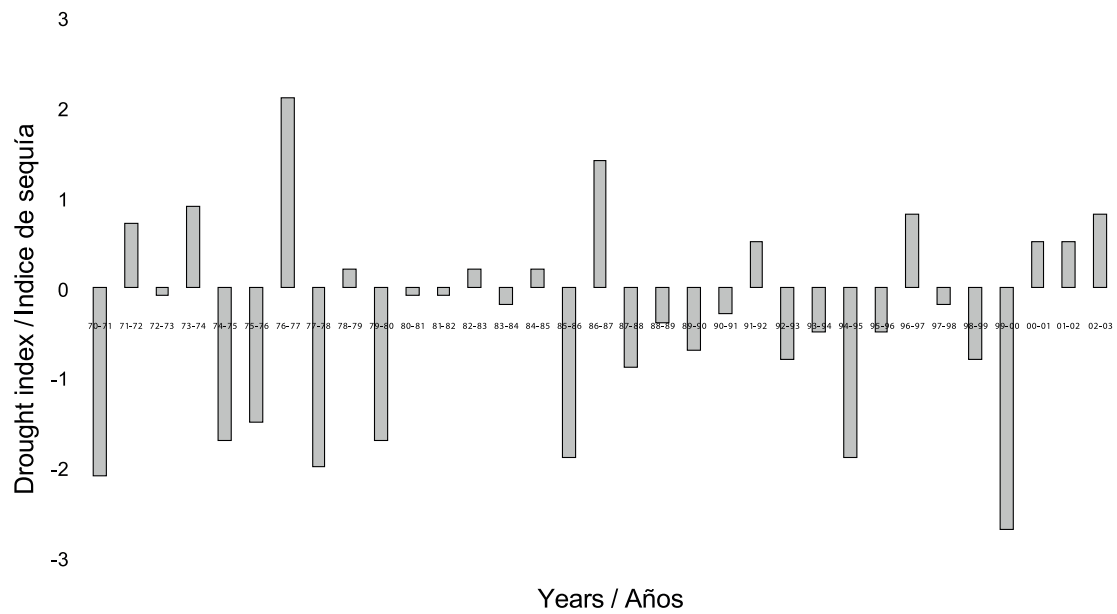
## Resultados y discusión

La condición climática permanente relacionada con la disponibilidad hídrica representada por el índice de Hare y Ogallo (1993) para el sureste de Coahuila se presenta en la Figura 2.

Las condiciones hídricas temporales estimadas mediante el índice Palmer, indicaron que para el periodo de estudio (1970-2003) persistieron las condiciones de sequía en un 42.4 %, en tanto las condiciones normales representaron el 30.4 % y las condiciones húmedas el 27.2 %. Por otra parte, el análisis del periodo de duración, que determina la gravedad de los daños que causa y que se basa en los meses y años consecutivos en que se presenta esta anomalía climática, indicó que para el periodo de estudio se presentaron 35 eventos de sequía de diferente duración. Los más frecuentes fueron en el rango de uno a cinco meses, en donde se presentó el 63 % de los casos. La probabilidad estimada de tener eventos de sequía que puedan causar problemas fue alta, aproximadamente 3.7 eventos mayores de seis meses se pueden presentar cada diez años. Estos periodos se pueden considerar normales dadas las características de presentación que tiene la lluvia en la región; sin embargo, lo que puede ser un problema son los periodos mayores de cinco meses que, en el caso de algunas actividades productivas, puede afectar su desarrollo. La representación por años de las condiciones de humedad que se dieron durante el periodo de estudio se presenta en la Figura 3, donde se pueden observar y determinar los periodos continuos, tanto de exceso como de déficit de humedad.

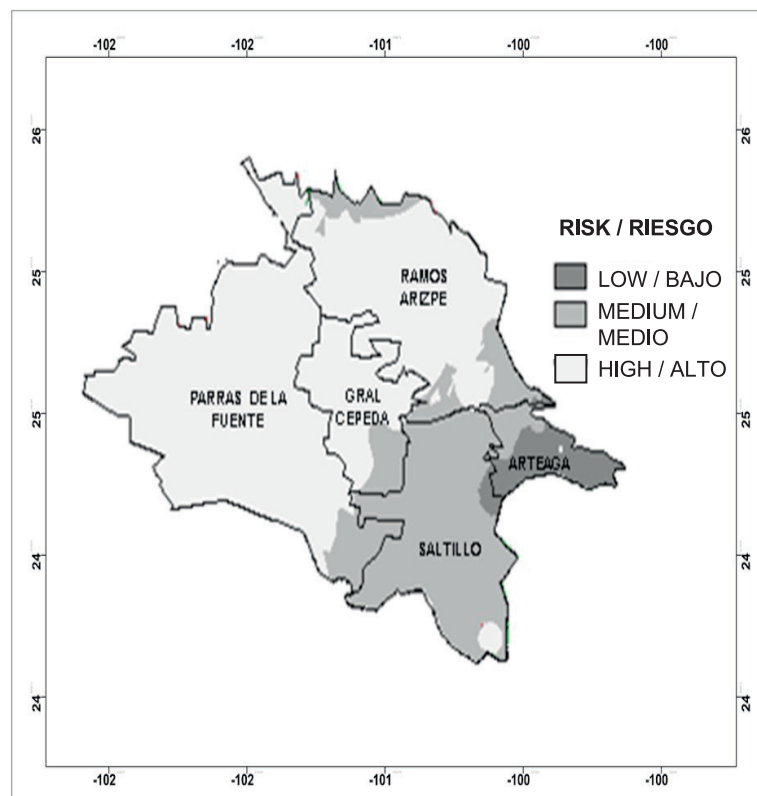
El mapa de distribución de áreas con diferentes probabilidades de presentación de sequías se encuentra en la Figura 4. En este mapa se localizan superficies en tres niveles de probabilidad de ocurrencia de sequía. El nivel bajo, corresponde a las áreas con menos del 30 % de probabilidad de que se presenten sequías, en este nivel, se encuentra la mayor superficie del municipio de Arteaga y solamente una muy pequeña parte de Saltillo. El nivel medio, corresponde a áreas entre el 30 y 60 % de probabilidad de ocurrencia y se localizan principalmente en el municipio de Saltillo y en pequeñas áreas de los demás municipios limítrofes con este municipio. El nivel alto, corresponde a superficies con probabilidades de ocurrencia de sequías superiores al 60 %. La localización de estas áreas es en su mayoría parte de los municipios de Parras de la Fuente, General Cepeda, Ramos Arizpe y en una pequeña porción del municipio de Saltillo.

La condición climática en el estado de Coahuila que puede considerarse normal es la de aridez o semiaridez, determinada principalmente por la escasa precipitación y las altas temperaturas que ocurren comúnmente durante el año o durante ciertos periodos. Debido



**Figure 3. Moisture conditions catalogued by the Palmer drought index in the period 1970-2003 in the southeastern region of Coahuila state.**

**Figura 3. Condiciones de humedad catalogadas mediante el índice de sequía de Palmer en el período 1970-2003 en la región sureste del estado de Coahuila.**



**Figure 4. Areas with drought risk in the southeastern region of Coahuila state.**

**Figura 4. Áreas con riesgo de sequía en la región sureste del estado de Coahuila.**

determined by the low rainfall and high temperatures that commonly occur during the year or during certain periods. Because of this condition, productive activities have been planned or carried out in rural areas in the state; most of them have been adapted to conditions prevailing through the years. This situation is being altered by climatic phenomena of an unpredictable nature that sometimes produce moisture excesses and other times, which are the majority, very marked moisture deficiencies.

### Conclusions

Climate information is of utmost importance in making technical decisions both in natural resource management and agriculture. In the latter, it enables designing seasonal management strategies to mitigate the effects of climatic variations and reduce the effect on food production. Likewise, by using this information in watersheds, considering them as a planning unit, the possibility of conducting comprehensive resource management is heightened. The methodology used properly characterized the climatic condition in a watershed with a scanty rainfall regime in the southeastern region of Coahuila state, deriving crucial information for the planning of farming activities in its rural areas.

a esta condición, se han planeado o se han llevado a cabo las actividades productivas del medio rural en el estado; la mayoría de ellas han sido adaptadas a las condiciones prevalecientes a través de los años. Esta situación se ve alterada por fenómenos climáticos de naturaleza impredecible que producen, algunas veces, excesos de humedad y otras, que son la mayoría, deficiencias de humedad muy marcadas.

### Conclusiones

La información climática es de suma importancia para fundamentar decisiones técnicas tanto en la gestión de recursos naturales como en la agricultura. En este último aspecto destaca ya, que permite proyectar estrategias de manejo estacional, permitiendo mitigar los efectos de las variaciones climáticas, disminuyendo la afectación en la producción de alimentos. Así mismo, al emplear dicha información en cuencas hidrográficas, considerándolas como unidad de planeación, se amplía la posibilidad de realizar una gestión integral de recursos. La metodología empleada caracterizó de manera adecuada la condición climática en una cuenca con escaso régimen pluvial del sureste del estado de Coahuila, derivando información que sustenta la planeación de las actividades productivas del medio rural en dicha región del estado.

#### End of English version

#### Fin de la versión en español

### References / Referencias

- Alley, W. M. (1984). *The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions*. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23 (7), 1100-1109. doi:10.1175/1520-0450(1984)023<1100:TPDSIL>2.0.CO;2
- Allen, R. G., Pereira L., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration- Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome, Italia: Autor. Obtenido de [https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/pdf/Allen\\_FAO1998.pdf](https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/pdf/Allen_FAO1998.pdf)
- Arora, V. K. (2002). *The use of the aridity index to assess climate change effect on annual runoff*. *Journal of Hydrology*, 265, 164-177. doi:10.1016/S0022-1694(02)00101-4.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2013). *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe: 2014* / CEPAL, FAO, IICA. San José, C.R.: IICA. Autor.
- Carrillo-Rivera, J. J., Cardona, A., Huizar-Álvarez, R., & Graniel, E. (2008). *Response of the interaction between groundwater and other components of the environment in Mexico*. *Environmental Geology*, 55 (2), 303-319. doi: 10.1007/s00254-007-1005-2.
- Dai, A., Trenberth, K. E., & Qian, T. (2004). *A global data set of Palmer Drought Severity Index for 1870-2002: Relationships with soil moisture and effects of Surface Warming*. *Journal of hidrometeorology*, 5,1117-1130. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JHM-386.1>.
- Food and Agriculture Organization (2007). *La nueva generación de programas y proyectos de gestión de cuencas hidrográficas*. Roma, Italia. Autor
- Garduño, R. (1994). *El veleidoso clima*. Fondo de Cultura Económica, S. A. DE C. V. Primera edición. México, D.F.
- Hare, F. K., & Ogallo, L. A. J. (1993). *Climate Variation, Drought and Desertification*. WMO-No. 653. Geneva
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Climate Change 2007: The Scientific Basis. Contribution of Working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon, S., Quin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt K. B., Tignor, M. and Miller, H. L. (eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, N.Y, USA. 9.
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). (2005). *Sequía meteorológica. Mapa de amenazas*.

- Recomendaciones técnicas para su elaboración.* Instituto Nicaragüense de estudios Territoriales, Agencia Suiza para el Desarrollo y Cooperación (COSUDE). Proyecto MET-ALARN. Nicaragua, Nicaragua.
- Leal-Nares, O. A., Mendoza, M. E., & Carranza G., E. (2010). *Análisis y modelamiento espacial de información climática en la cuenca de Cuitzeo, México.* *Investigaciones geográficas*, [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-46112010000200005](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112010000200005)
- López, B. W., Castro, M. I., Camas, G. R., Villar, S. B., & López, M. J. (2013). *El manejo de cuencas como herramienta para el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.* Folleto Técnico Núm.19. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental centro de Chiapas, Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas. México. Autor.
- Mundo, M. D., & Martínez, P. (2002). *Sistema computarizado para la gestión del agua en sistemas de riego por gravedad en México.* *Ingeniería del agua*, 9(2) ,171-181. Obtenido de <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/2586/92article5.pdf?sequence=1>
- Palmer, W. C. (1965). *Meteorological drought.* Res. Paper No. 45. Department of Commerce. Washington, D. C, E.U.A: Autor. Obtenido de <http://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/drought/docs/palmer.pdf>
- Russel, C. S., Arey, D. G., & Kates, R. W. (1970). *Drought and water supply.* Johns Hopkins University Press. Baltimore: E.U.A.