

# Sequía intraestival en La Reserva de la Biosfera El Cielo y su entorno, Tamaulipas, México

**Norma Sánchez-Santillán<sup>a</sup>**  
**Gilberto Sven Binnqüist Cervantes<sup>b</sup>**

Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Ciudad de México - México

**René Garduño López<sup>c</sup>**

Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México - México

## Resumen

Se evaluó la intensidad y frecuencia de la canícula en la Reserva de la Biosfera El Cielo y se comparó su variabilidad interanual, usando registros pluviométricos mensuales entre 1922 y 2012. La canícula se cuantificó como la disminución relativa del polígono mensual de precipitación durante la temporada de lluvias. El 86% de los veranos analizados en las once estaciones estudiadas presentó canícula. De ellos, en el 55,6% la canícula fue de intensidad débil, en el 23,1%, media, y en el 5,7%, severa. La canícula tiene un comportamiento cíclico, con periodo de nueve años: comienza con intensidad débil, aumenta a media o severa y disminuye a débil. El análisis de tendencia no muestra un incremento del fenómeno.

**Palabras clave:** canícula, ENSO, México, Oscilación del Atlántico Norte, Reserva de la Biosfera El Cielo.



doi: 10.15446/rcdg.v27n1.56485

RECIBIDO: 28 DE MARZO DE 2016. ACEPTADO: 2 DE MAYO DE 2017.

Artículo de investigación sobre la ponderación de la sequía intraestival mediante la intensidad y la frecuencia del déficit pluvial de verano en La Reserva de la Biosfera El Cielo (México) de 1922-2012.

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO: Sanchez-Santillan, Norma, Gilberto Sven Binnqüist Cervantes, y René Garduño López. 2018. "Sequía intraestival en La Reserva de la Biosfera El Cielo y su entorno, Tamaulipas, México." *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 27 (1): 146-163. doi: 10.15446/rcdg.v27n1.56485.

- 
- a Dirección postal: Calz. del Hueso 1100, col. Villa Quietud, Coyoacán, 04960, Ciudad de México - México.  
Correo electrónico: santilla@correo.xoc.uam.mx - ORCID: 0000-0002-1548-1519.
- b Dirección postal: Calz. del Hueso 1100, col. Villa Quietud, Coyoacán, 04960, Ciudad de México - México.  
Correo electrónico: gsvan@correo.xoc.uam.mx - ORCID: 0000-0002-8263-7405.
- c Dirección postal: Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, Ciudad de México - México.  
Correo electrónico: rene@atmosfera.unam.mx - ORCID: 0000-0003-4648-1017.

## Seca intraestival em La Reserva da Biosfera El Cielo e seu entorno, Tamaulipas, México

### Resumo

Avaliaram-se intensidade e frequência da canícula na Reserva da Biosfera El Cielo e comparou-se sua variabilidade interanual usando registros pluviométricos mensais entre 1922 e 2012. A canícula foi quantificada como a diminuição relativa do polígono mensal de precipitação durante a temporada de chuvas. 86% dos verões analisados nas onze estações estudadas apresentou canícula. Deles, em 55,6%, a canícula foi de intensidade fraca, em 23,1%, média e, em 5,7%, severa. A canícula tem um comportamento cíclico, com período de nove anos: começa com intensidade fraca, aumenta a média ou severa e diminui a fraca. A análise de tendência não mostra aumento do fenômeno

**Palavras-chave:** canícula, ENSO, México, oscilação do Atlântico Norte, Reserva da Biosfera El Cielo.

## Summer Drought in the El Cielo Biosphere Reserve and its Environment, Tamaulipas, Mexico

### Abstract

The study evaluated the intensity and frequency of droughts in the El Cielo Biosphere Reserve and compared their inter-annual variability using monthly rainfall records between 1922 and 2012. Droughts were quantified as the relative decrease of the monthly precipitation polygon during the rainy season. 86% of the summers analyzed by considering eleven stations featured droughts. The intensity of the drought was low in 55.6% of those summers, medium in 23.1%, and severe in 5.7%. The droughts have a cyclic behavior, with periods of nine years: they begin with low intensity, increase to medium or severe intensity, and then decrease to low. Trend analysis does not show an increase the phenomenon.

**Keywords:** canícula, ENSO, Mexico, North Atlantic Oscillation, El Cielo biosphere reserve.

## Introducción

México cuenta con diecinueve reservas de la biosfera, como parte del programa de protección y conservación de flora y fauna en diversas áreas naturales protegidas distribuidas en distintas regiones de México, dentro de ellas se encuentra la Reserva de la Biosfera El Cielo —en adelante RBC—, ubicada en la región suroeste del estado de Tamaulipas (Gómez-Pompa y Dirzo 1995). Sus límites al E son la planicie costera nororiental, la porción W se localiza a sotavento de la Sierra Madre Oriental. Limita al N con una porción del río Guayalejo y al S con la Sierra Cucharas. Cartográficamente está entre los paralelos 22°55'03" y 23°26'30" N y los meridianos 99°05'00" y 99°26'30" W (figura 1).

La RBC se decretó en julio de 1985 y forma parte de la Red Mundial de Reservas de la Biosfera de la UNESCO (Periódico Oficial 1985). A partir de 1986, la ONU les otorgó a todas las reservas el título de Reservas de la Humanidad. La RBC cubre un área de 144.530,51 ha, de las cuales el 56% pertenece al municipio de San Vicente (Jaumave) (80.936,80 ha), 16% al municipio de Ocampo y 16% al de Gómez Farías (entre estos dos lugares suman 23.124,80 ha), y 12% a Llera de Canales (17.343,60 ha).

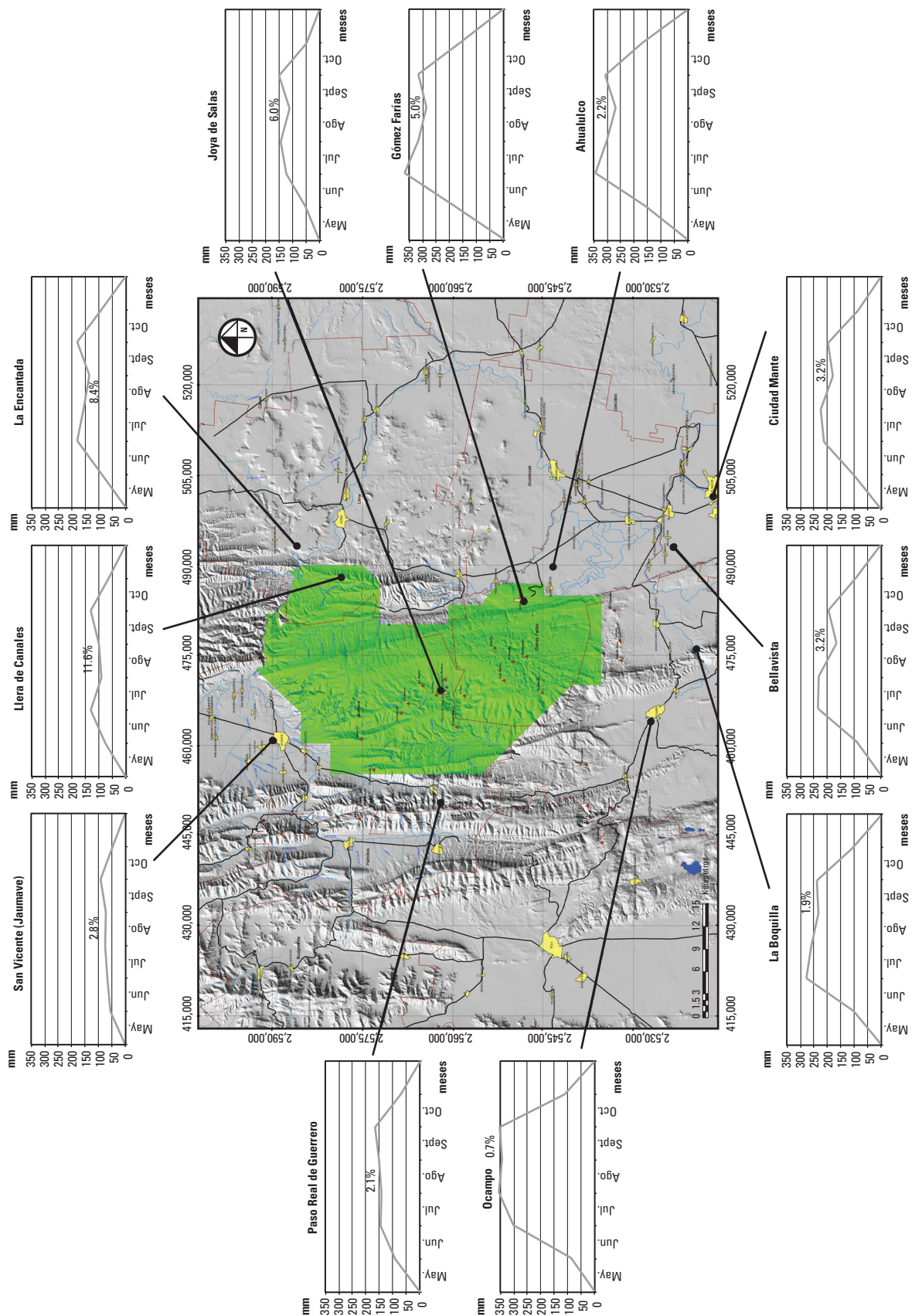
En la RBC hay cuatro zonas vegetales núcleo, una de 28.894,75 ha, con vegetación de bosque mesófilo de montaña y de pino-encino; otra de 7.844,31 ha, con selva mediana subperennifolia, selva baja subperennifolia y bosques de pino-encino; la tercera es una porción semiárida, con matorral xerófilo y bosque espinoso; en la cuarta, se efectúan actividades forestales, cinegéticas y agrícolas de manera controlada (Vargas-Contreras y Hernández-Huerta 2001).

Fisiográficamente, dos terceras partes de la RBC (centro y NE) están contenidas en una cuenca endorreica de la Sierra Madre Oriental, razón de su relieve abrupto, presenta laderas orientadas mayoritariamente en dirección norte-sur, con valles, hondonadas y cañadas, la porción baja de la cuenca es una planicie; el tercio SW se halla en una cuenca exorreica que drena hacia la planicie costera del Golfo de México; la complejidad en la fisiografía explica la amplia variación en las pendientes. El gradiente altitudinal va de 100 a 2.300 m.s.n.m. y regula la presencia de marcados pisos térmicos e hídricos, entre los 2.143 y 526 m.s.n.m., con una correspondencia de gradientes térmicos entre 12 °C y 22 °C, respectivamente (García y Sánchez-Santillán 1996).

La compleja fisiografía de la RBC y su entorno crea dos vertientes antagónicas por las que transitan los vientos alisios provenientes del Atlántico, en las que se forma un gradiente de humedad: la de sotavento, con características secas por el efecto de sombra orográfica, y la de barlovento húmeda, por incidencia del viento marino; como resultado, hay una gran variedad de climas y microclimas (Sánchez-Santillán et ál. 2012). De acuerdo con García y Sánchez-Santillán (1996), los cuatro grupos climáticos calculados durante el periodo 1960-1990 corresponden a los tipos Cb (templado), (A)Ca (semi-cálido), Aw (cálido) y BS (seco), de acuerdo con el sistema modificado de clasificación climática de Köppen adaptado para la república mexicana (García 1988); en los cuatro climas, el régimen de lluvias es de verano con una marcada canícula, que no fue cuantificada por García y Sánchez-Santillán (1996).

De acuerdo con Page (1930), Connor (1938), Wallén (1955), Jáuregui (1959) y García (1988), todos ellos pioneros en la descripción climática de México, y, en fechas más recientes, según Méndez, Návar y González (2008) y Karmalkar, Bradley y Díaz (2011), el régimen de lluvias en México —predominantemente en verano, es decir, de mayo a octubre— se debe al desplazamiento hacia el norte de la Zona Intertropical de Convergencia; con dicho desplazamiento, el corredor de los vientos alisios asciende en latitud y altura, por lo que prácticamente todo el país queda bajo su influencia; estos vientos soplan con gran intensidad en dirección de NE a SW en superficie y de E a W en las alturas, y recogen la humedad proveniente de las cálidas aguas superficiales del Golfo de México. De igual manera, la actividad ciclónica, con un grado máximo en septiembre, contribuye con un aporte significativo de precipitación durante el verano.

Una característica de la distribución temporal de la lluvia veraniega es su comportamiento bimodal. Este comportamiento se debe a un descenso en el volumen de la lluvia en los meses intermedios del verano (junio, julio, agosto y septiembre); en algunos veranos es mínimo y en otros alcanza un déficit significativo. Este fenómeno se denomina canícula (sequía de medio verano, sequía de agosto o inviernillo), no se trata de una sequía absoluta, sino que es, más bien, una reducción en el número de días con lluvia, que disminuye el volumen mensual y, en consecuencia, el acumulado anual. La denominación inviernillo fue asignada por Mosiño (1964) y se debe a que, cuando se registra la sequía de medio verano, ocurren cambios en la circulación del aire sobre la república mexicana que semejan un retorno a la circulación invernal.



**Figura 1.** Ubicación geográfica del entorno y la Reserva de la Biosfera El Cielo (área verde), Tamaulipas, México y representación de la canícula promedio en once localidades analizadas entre 1922-2012. Datos: elaborado a partir de los registros mensuales pluviométricos continuos de CONAGUA 1922-2012; INEGI 2000.

Estos cambios de la circulación del aire sobre México no influyen, empero, directamente sobre la temperatura ambiental, sino más bien en la cuantía de las precipitaciones. Meteorológicamente hablando, la sequía invernal obedece a la preponderancia de masas de aire seco que subsiden desde grandes alturas, en el seno de una celda de alta presión y que son una prolongación hacia el este del anticiclón oceánico del Pacífico septentrional.

Se nombra canícula porque durante los meses de julio y agosto predomina la constelación del Can en el Hemisferio Norte; la canícula afecta severamente el ecosistema, al incidir en la fisiología de la flora y fauna (Karmalkar, Bradley y Díaz 2011). Así mismo, con el descenso pluviométrico se incrementa la temperatura, desciende la presión barométrica y aumenta la capacidad de almacenamiento de humedad en forma de vapor en la troposfera; como resultado, baja la humedad relativa y al researse el ambiente se induce a una mayor evapotranspiración (Weiss, Castro y Overpeck 2009).

Las áreas más afectadas por la canícula en México son el istmo de Tehuantepec, las planicies costeras del Golfo de México, además de múltiples porciones ubicadas en el altiplano mexicano (Vidal 2005) como la RBC. Otras regiones del mundo que también registran canícula son el sur de los Estados Unidos (Brown, Warnecke y McKinney 2006), Centro América (Karnauskas et al. 2013), India (Mapes, Liu y Buenning 2005) y China (Geng et ál. 2011).

Entre las hipótesis más citadas para explicar el fenómeno de la canícula se encuentran la de Mosiño y García (1968), quienes señalan que durante esta hay un retorno al patrón atmosférico de invierno dentro de la época veraniega, con masas de aire seco que subsiden desde grandes alturas hacia el interior de la alta semipermanente de alta presión Bermuda-Azores —por donde pasan los vientos alisios que aportan lluvias al este y centro de México—; dicha subsidencia proviene de una vaguada de altura, frente a la costa este de los Estados Unidos, la cual divide el anticiclón de Bermuda-Azores y acarrea masas de aire seco continental hacia el Golfo de México en su rama latitudinalmente descendente. Dicho proceso podría detonarse por la alternancia periódica de la oscilación del Atlántico norte (OAN), vinculada por teleconexión climática con el ENSO (Sánchez-Santillán, Signoret-Polloin y Garduño 2006; Sánchez-Santillán et ál. 2007).

Otra hipótesis para explicar el fenómeno de la canícula, propuesta por Wang, Lee y Enfield (2008), señala la existencia simultánea de dos albercas de agua caliente, una en el Atlántico subtropical y otra en el Pacífico nororiental, que ocasiona que tanto la presión

barométrica en el nivel del mar como la precipitación muestren una respuesta significativa, de acuerdo con el siguiente patrón: bajas presiones con mayores precipitaciones y altas presiones con menores lluvias; así mismo, la respuesta de la precipitación sugiere que una alberca anormalmente grande reduce la intensidad de la sequía, mientras una pequeña incrementa el fenómeno.

Cualquiera de las hipótesis sobre la causa de la canícula requiere, en primera instancia, evaluar su intensidad. Este es el objetivo de este artículo y resulta de suma importancia para el estudio de los ecosistemas que componen la RBC, ya que existen indicios de vegetación sensible a la canícula, así como de respuestas ecofisiológicas particulares en plantas y animales.

## Métodos

Se seleccionaron las tarjetas del Servicio Meteorológico Nacional de la CONAGUA (1922-2012), con registros mensuales pluviométricos continuos, de once estaciones meteorológicas distribuidas en la RBC y su entorno, entre el periodo 1922-2012, cuya posición cartográfica y periodo de registro se presentan en la tabla 1. El total de registros mensuales obtenidos superó más de 1.000, lo que dio la pauta para efectuar una prueba de homogeneidad de datos, a través de una visualización gráfica para observar su comportamiento según el criterio de García (1988), posteriormente se determinó la confiabilidad de estos datos a través de una prueba de homogeneidad (depuración de datos) con el método de Sved-Eisen-Hart (Klein 1982; Wilkis 1995), el resultado del intervalo de confianza calculado para registros homogéneos fue del 95%. Con dichos datos se calcularon las fórmulas climáticas para cuantificar la canícula de acuerdo con García (1988). La intensidad de la canícula se estimó por el método de Mosiño y García (1968), para lo cual se dibujó un histograma, donde cada barra expresó el volumen de la lluvia durante los meses comprendidos de mayo a octubre. Posteriormente, se trazó un punto en la parte superior central de cada barra y se unieron los puntos para formar un polígono, luego se eliminaron las barras y quedó manifiesto el comportamiento bimodal de la lluvia, es decir, los dos máximos registrados en el periodo de mayo a octubre. A continuación, se trazó una recta de unión entre ambos máximos y en la parte central quedaron los meses que tuvieron una lluvia inferior a dichos máximos. El área formada entre los máximos constituyó el receso o déficit de la lluvia ocasionado por la canícula, el cual se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{Intensidad de la canícula (\%)} = \frac{\text{Área del polígono pluvial deficitario}}{\text{Cantidad total del polígono de lluvia de mayo a octubre}}$$

**Tabla 1.** Ubicación geográfica de las estaciones climatológicas en el entorno y la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, altitud, periodo de registro pluviométrico y total de veranos analizados entre 1922-2012

Estación	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud (m.s.n.m.)	Periodo con registros de lluvia	Total de veranos analizados
Ahualulco	23°01'	99°06'	150	1948-2012	65
Bellavista	22°49'	99°04'	90	1955-2012	58
La Boquilla	22°47'	99°14'	180	1960-2012	53
La Encantada	23°23'	99°04'	500	1954-2009	56
Gómez Farías	22°42'	99°30'	300	1972-2000	29
Jaumave	23°25'	99°23'	735	1922-2009	88
Joya de Salas	23°10'	99°18'	1.555	1960-2009	50
Llera de Canales	23°19'	99°07'	290	1942-1977	36
Ciudad Mante	22°45'	98°59'	90	1927-2011	85
Ocampo	22°51'	99°20'	325	1941-2011	71
Paso Real de Guerrero	23°10'	99°29'	1.300	1960-2011	52

Datos: elaborado a partir de los registros mensuales pluviométricos continuos de CONAGUA 1922-2012.

El déficit pluvial corresponde al área del polígono y se expresó en dos unidades (porcentaje y milímetros). La distribución mensual de la canícula se estableció a partir de un análisis de frecuencia. Para evaluar la intensidad del fenómeno, se delimitaron tres tamaños de clase: débil (0,1% a 33%), media (33,1% a 66,0%) y severa (66,1% a 99,0%). Mediante una regresión lineal se determinó la tendencia del comportamiento de la canícula a lo largo del periodo estudiado y con un análisis de frecuencia se estableció el número de meses caniculares (Wilks 1995). Finalmente, se vincularon los veranos con ENSO y la frecuencia por intensidad de la canícula.

## Resultados y discusión

Todos los grupos climáticos de la zona de estudio presentaron canícula en el 84,5% de los veranos analizados, la mayor intensidad promedio se registró en

Llera de Canales, seguida de San Vicente (Jaumave), localidad con clima seco (BS), ubicada en la porción de sotavento de la Sierra Madre. Este comportamiento se debe a los vientos descendentes secos. Los climas semicálidos (A)C se dan en Ahualulco, Bellavista, La Encantada, Gómez Farías, Ciudad Mante, La Boquilla, Ocampo y Paso Real de Guerrero. Por su parte, la menor intensidad del clima ocurre en la localidad Joya de Salas con clima templado (Cb) (figura 1 y tabla 2). La precipitación en la zona de estudio proviene, en gran medida, de los vientos alisios que tienen su origen en los mares tropicales del Atlántico septentrional e ingresan al Golfo de México bajo la influencia del gran anticiclón Bermuda-Azores; estos vientos describen una amplia curva alrededor de este centro de alta presión, hacia una faja térmica localizada en el SW de los Estados Unidos. La mitad caliente del año se caracteriza por el predominio del anticiclón oceánico o centro de

acción del Atlántico norte. La invasión del aire tropical adopta la forma de una “lengua de humedad” que penetra el territorio mexicano, bajo la influencia de la corriente alisia que en esta época del año adquiere un espesor considerable (García y Sánchez-Santillán 1996). Las diferencias registradas en el volumen de la precipitación dentro de la cuenca de estudio se deben al efecto de sombra orográfica ocasionado por la Sierra de Nogales, en el caso de la localidad de Jaumave, y la Sierra de La Maroma, en la localidad de Llera. En la porción sotavento de dichas sierras, se registraron mayores volúmenes de lluvia derivados de la corriente alisia, cuyos vientos son cálidos y húmedos, los cuales se enfrían por ascenso orográfico y descargan su humedad. Al traspasar la sierra en la porción de barlovento, tienen trayectorias descendentes y, por lo tanto, son de carácter seco. Existe un incremento de humedad en la porción central y SW de la Sierra Cucharas por efecto de ascenso orográfico, lo que explica el aumento de humedad tanto en la RBC, como en las partes ascendentes de dicha sierra.

Es importante señalar que las regiones secas son más susceptibles a la variabilidad interanual de la lluvia, dado el poco volumen de esta que se precipita allí; sin embargo, el impacto ecológico es más perjudicial en las regiones con climas templados y semicálidos, donde predominan los bosques mesófilos de montaña, las selvas mediana y baja subperennifolia y los bosques de pino-encino, vegetación que no cuenta con mecanismos fisiológicos para afrontar la sequía de medio verano, a diferencia de la vegetación xerófita propia de los climas secos, entre cuyas estrategias biológicas se destacan los sistemas radiculares anchos y profundos, los tejidos almacenadores de agua, las cubiertas protectoras (pelos o cubiertas cerosas), la reducción de la superficie foliar o caducifoliedad, los tallos fotosintetizadores y la tolerancia de los tejidos a la sequedad del suelo y del aire (durante la canícula); asimismo, los procesos osmóticos facilitan la extracción de humedad en suelos muy secos; además el crecimiento y la reproducción vegetal están sincronizados con los días en los que hay disponibilidad hídrica (González-Medrano 2012).

**Tabla 2.** Fórmula climática, número de veranos con canícula, porcentaje promedio de la canícula, déficit pluvial promedio durante la canícula y lluvia total de verano en la Reserva de la Biosfera El Cielo y su entorno, Tamaulipas, México entre 1922-2012

Localidad	Fórmula climática	Total de veranos	Número de veranos con canícula	Canícula (%)	Lluvia total verano (mm)	Déficit pluvial durante la canícula (mm)
Ahualulco	$Aw_2(e)w''$	65	59	90,7	1.301,8	327,7
Bellavista	$Aw_0(w)(e)w''$	58	48	82,7	934,3	259,0
La Boquilla	$(A)Ca(w_2)(w)(e)w''$	53	47	88,6	1.140,3	267,2
La Encantada	$(A)Caw_1(e)w''$	56	51	91,0	772,8	201,4
Gómez Farías	$(A)Ca(w_2)(w)(e)w''$	28	24	85,7	1.522,1	329,0
Jaumave	$BS_1hx'(w)(e)w''$	88	78	88,6	407,8	109,4
Joya de Salas	$Cb(w_2)(e)gw''$	50	35	70,0	583,6	128,2
Llera de Canales	$BS_1(h')w(e)w''$	36	35	97,2	544,0	191,2
Ciudad Mante	$(A)Cam(f)(e)$	85	66	77,6	919,3	213,8
Ocampo	$(A)Caw_2(m)(w)(e)gw''$	57	42	73,6	1.253,7	203,7
Paso Real de Guerrero	$(A)Cb(w_2)(e)w''$	50	44	88,8	633,0	163,6

Datos: elaborado a partir de los registros mensuales pluviométricos continuos de CONAGUA 1922-2012.

Cabe destacar que las localidades de Jaumave y Llera de Canales tienen un clima seco por ubicarse a sotavento de la Sierra Madre Oriental, pero, por convección orográfica, la hondonada sobre la que están situadas a 735 m.s.n.m. reciben las descargas del río Guayalejo y sus tributarios, elementos hidrológicos que, en buena medida, moderan la temperatura ambiental, con lo cual la humedad relativa de la atmósfera aumenta y se reduce localmente el efecto de la canícula (Sánchez-Santillán et ál. 2012). En el caso particular de Ocampo, la intensidad de la canícula promedio fue la más baja (0,7%) de todas las localidades, pese a localizarse a sotavento de la Sierra Madre, lo anterior obedece a que en este municipio se efectúan actividades agrícolas de cultivo de maíz, frijol, chile, plátanos, aguacates y naranjos regadas con agua de pozo (Hernández-Pérez et ál. 2011; Ortega y Castillo 1996; Ravelero 2006; Velázquez 2002). Estos cultivos mantienen localmente la humedad en el suelo y en la tropósfera baja, lo que disminuye el efecto de la canícula. Así mismo, se observó que la canícula tiene una menor intensidad en aquellas localidades ubicadas en la porción de barlovento, ya que su altitud —Bellavista

(90), Cd. Mante (90), La Boquilla (180), Ocampo (325) y Ahualulco (150 m.s.n.m.)— permite el ingreso de humedad proveniente de los vientos húmedos del Golfo de México, lo que hace menos conspicuo el fenómeno canicular (figura 1). Los patrones de intensidad de la canícula en la RBC y su entorno concuerdan con los estimados en la regionalización climática de México elaborada por Karmalkar, Bradley y Díaz (2011), con base en las funciones empíricas ortogonales.

En promedio, en el periodo 1922-2012 la canícula abarcó los meses de julio y agosto en seis de las once localidades (Bellavista, La Boquilla, La Encantada, Gómez Farías, Llera de Canales y Paso Real de Guerrero), mientras que en Ahualulco, Jaumave, Joya de Salas, Ciudad Mante y Ocampo ocurrió solo en julio y coincide con los resultados reportados por Peralta-Hernández et ál. (2008). Sin embargo, cuando se analiza la variabilidad interanual de la canícula, a través de las frecuencias acumuladas en cada una de las once localidades, en el 27,4% de los veranos la duración fue de un mes, en el 34,5% de dos, en el 20,8% de tres y en el 36,7% se prolongó cuatro meses (tabla 3).

**Tabla 3.** Duración mensual de la canícula en el entorno y la Reserva Natural de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México entre 1922-2012

Duración	1 mes (%)	2 meses (%)	3 meses (%)	4 meses (%)
<b>Estación</b>				
Ahualulco	29,2	35,3	23,0	1,5
Bellavista	24,1	24,1	31,0	3,4
La Boquilla	33,9	37,7	15,0	1,8
La Encantada	19,2	38,5	24,5	3,5
Gómez Farías	25,1	46,4	17,8	3,5
Jaumave	25,0	27,2	28,4	12,5
Joya de Salas	36,0	24,0	12,0	0,0
Llera de Canales	25,0	47,2	25,0	5,5
Ciudad Mante	27,0	27,0	22,3	1,1
Ocampo	43,0	22,8	10,5	0,0
Paso Real de Guerrero	14,0	50,0	20,0	4,0
<b>Promedio</b>	<b>27,4</b>	<b>34,5</b>	<b>20,8</b>	<b>36,7</b>

Datos: elaborado a partir de los registros mensuales pluviométricos continuos de CONAGUA 1922-2012.



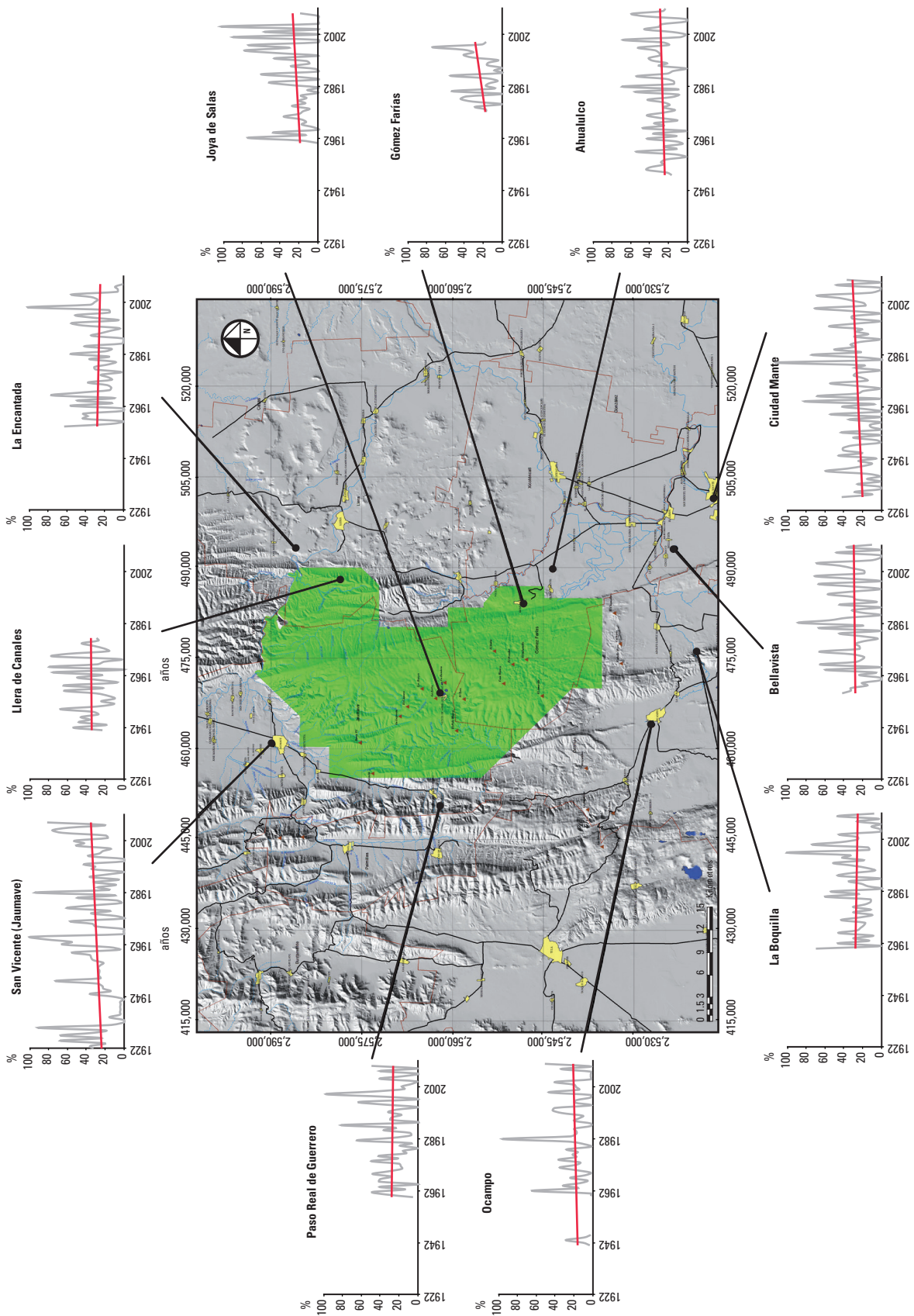
El 55,6% de los veranos analizados en las once estaciones tuvo una canícula de intensidad débil, el 23,1% media y el 5,7% severa. Las localidades con clima seco (Llera de Canales y Jaumave) registraron la mayor cantidad de veranos con sequías severas, seis y diez eventos en el periodo de estudio; en las localidades con climas templados, cálidos y semicálidos el número de sequías severas osciló entre uno y cinco eventos (tablas 4 y 5). Un aspecto sobresaliente de la variabilidad interanual de la canícula es su comportamiento cíclico, parecido a una gaussiana: inicia la canícula con intensidad baja, continúa ascendiendo durante los cuatro o cinco veranos siguientes hasta registrarse una canícula media o severa y comienza el descenso de la intensidad en los subsecuentes cuatro o cinco veranos, para de nuevo

comenzar el ciclo. Dicho comportamiento se observó en las once localidades. En algunos años, todas ellas parecen compartir la sincronía del máximo canicular en 1964, 1971, 1977, 1982, 1984 y 2000, durante este último año la sequía fue severa en seis de las once localidades (Bellavista, La Boquilla, La Encantada, Joya de Salas, Cd. Mante y Paso Real de Guerrero); mientras que ocurrió un desfase de un año, entre los veranos con canícula media y severa, en 1966-1967, 1983-1984, 1993-1994, 2004-2005 y 2009-2010 (tabla 5). Este comportamiento gaussiano de la canícula explica la amplia varianza observada en el análisis de la tendencia, expresado gráficamente como una señal de ruido (figura 2), por lo que no se puede apreciar claramente un incremento o disminución del fenómeno durante el periodo analizado.

**Tabla 4.** Límites porcentuales de los intervalos de intensidad (débil, media y severa) en el entorno y la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México entre 1922-2012.

Localidades	Intensidad leve (0,1 a 33,0%)	Intensidad media (33,1 a 66,0%)	Intensidad severa (66,1 a 99,0%)
Ahualulco	61,5%	27,6%	1,5%
	243,3 mm	580,2 mm	869,1 mm
Bellavista	53,4 %	24,1%	5,1%
	143,8 mm	501,7 mm	810,0 mm
La Boquilla	62,0 %	20,7%	5,6%
	189,2 mm	548,4 mm	777,6 mm
La Encantada	52,6%	31,5%	3,5%
	112,0 mm	366,3 mm	691,6 mm
Gómez Farías	60,7%	21,3%	3,5%
	211,5 mm	680,3 mm	1.111,1 mm
Jaumave	54,5 %	26,1%	10,2%
	58,3 mm	183,9 mm	332,7 mm
Joya de Salas	46,0%	14,0%	10,0%
	58,3 mm	276,0 mm	471,5 mm
Llera de Canales	61,1%	25,0%	11,1%
	58,3 mm	276,0 mm	471,5 mm
Ciudad Mante	50,5%	18,8%	7,0%
	131,4 mm	421,0 mm	763,9 mm
Ocampo	57,8%	14,0%	1,7%
	156,7 mm	542,8 mm	1.201,0 mm
Paso Real de Guerrero	52,0%	32,0%	4,1%
	91,1 mm	281,6 mm	577,2 mm

Datos: elaborado a partir de los registros mensuales pluviométricos continuos de CONAGUA 1922-2012.



**Figura 2.** Análisis de la tendencia de la canícula en once localidades estudiadas en el entorno y la Reserva de la Biosfera El Cielo (área verde), Tamaulipas, México entre 1922-2012. Datos: elaborado a partir de los registros mensuales pluviométricos continuos de CONAGUA 1922-2012; INEGI 2000.

**Tabla 5.** Canícula para las estaciones del entorno y la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas durante 1922-2012

	Ahuatlulco		Bellavista		La Boquilla		La Encantada		Gómez Farías		Jaumave		Joya de Salas		Llera		Ciudad Mante		Ocampo		Paso Real de Guerrero		
	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	
1922											32,2	153,2											
1923											35,4	156,8											
1924											20,4	78,7											
1925											67,8	397,0											
1926											23,6	78,6											
1927											67,4	357,4					41,2	474,3					
1928											33,4	166,9					8,6	64,1					
1929											19,9	59,9					27,2	262,2					
1930											91,6	332,1					0,0	0,0					
1931											15,7	87,4					0,0	0,0					
1932											0,0	0,0					24,2	168,3					
1933											0,0	0,0					0,0	0,0					
1934											15,1	93,1					13,8	170,9					
1935											3,8	24,0					0,0	0,0					
1936											3,8	27,8					14,0	238,1					
1937											3,2	21,2					58,1	371,5					
1938											3,6	24,4					35,4	348,2					
1939											3,1	21,2					18,2	104,5					
1940											3,5	24,2					8,7	34,5					
1941											0,0	0,0					23,2	344,4	1,0	17,1			
1942											12,0	29,5					22,6	97,7	4,5	41,4	8,4	83,3	
1943											36,0	95,7					53,1	249,0	44,4	410,7	27,1	405,8	
1944											14,1	35,9					18,5	165,7	19,1	181,2	7,3	119,5	
1945											21,4	57,2					47,1	199,3	39,0	329,0	0,0	0,0	
1946											22,6	66,1					36,0	191,0	39,6	281,8			
1947											28,5	72,5					45,2	292,2	29,2	322,7			
1948	14,8	181,7									72,8	267,7					27,0	117,5	0,0	0,0			
1949	20,2	288,1									24,9	64,7					32,9	153,5	3,8	37,2			
1950	40,9	307,5									26,4	93,2					66,8	198,5	28,7	136,8			
1951	37,7	463,0									26,1	89,9					28,4	166,2	0,0	0,0			
1952	24,2	267,6									25,7	90,9					10,4	60,0	41,7	319,9			
1953	26,0	265,1									27,4	99,2					23,9	67,5	0,0	0,0			
1954	20,9	308,7									24,9	79,5					9,8	62,0	9,3	71,8			
1955	0,0	0,0									63,5	519,6					16,2	49,2	10,5	129,1			
1956	11,9	147,6									13,2	109,3					29,4	183,5	0,0	0,0			
1957	52,1	539,2									43,0	180,8					62,8	408,0	33,2	279,4			
1958	10,5	156,0									38,3	288,7					22,3	140,5	0,0	0,0			
1959	23,0	367,8									42,6	270,3					63,4	342,5	53,1	505,4			
1960	3,6	39,5									4,4	14,1					0,0	0,0	0,0	0,0			
1961	11,1	164,5									15,3	50,9					8,3	38,5	0,0	0,0			
1962	40,8	567,3									65,1	258,2					25,2	131,0	14,7	110,4	0,0	0,0	
1963	9,9	82,8									55,4	120,6					49,1	279,0	40,4	240,2	63,8	584,0	
1964	34,1	560,9									83,5	453,7					23,3	137,5	6,8	62,4	14,3	200,0	
1965	0,0	0,0									99,0	236,1					74,4	326,7	81,1	584,3	30,1	422,8	
																	0,0	0,0	0,0	0,0	11,3	139,5	
																	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	26,5
																	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,3	217,4
																	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	48,8	303,5
																	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,5	61,0
																	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0	287,7



Cuando los valores porcentuales se expresaron en volúmenes de lluvia, el déficit pluvial resultó mucho más notable (tablas 2 y 5), ya que la eficiencia de la precipitación no solo depende de la cantidad, sino de la relación con la temperatura, pues a una menor altura sobre el nivel del mar, la temperatura es mayor y se incrementa la evaporación, lo que genera una deficiencia en la humedad del suelo; por esta razón existen áreas dentro de la RBC y su entorno donde hay un desarrollo de la vegetación xerófila, particularmente en la zona más cálida (González-Medrano 2012).

Existe cierta coincidencia entre algunos veranos con canícula, ya sea débil o severa, con años de ENSO, tanto en la fase cálida (Niño) como en la fase fría (Niña); sin embargo, no fue posible visualizar un patrón y se requiere una serie de registros meteorológicos mucho más larga para establecer una asociación más robusta. Un aspecto que se debe destacar es la coincidencia de la fase cálida de la oscilación del Atlántico sur (OS), más ampliamente conocida como Niño, con la canícula severa, tanto positiva como negativa, en dieciséis veranos; mientras que con la fase fría hubo correspondencia solo con cuatro eventos severos (tabla 6). Lo anterior sugiere que la RBC, inmersa en el estado de Tamaulipas, forma parte del corredor por el cual se da la teleconexión climática entre los eventos Niño y la OAN, y manifiesta una respuesta importante a las fases del ENSO, tal y como lo describen Sánchez-Santillán, Signoret-Polloin y Garduño (2006). Así mismo, al analizar el comportamiento estadístico de la precipitación, Bravo et ál. (2010) señalan que durante los años Niño ocurre un incremento significativo de humedad en la región del NE de México, área en la que se encuentra la RBC. Lo anterior difiere de lo reportado por Peralta-Hernández et ál. (2008), quienes afirman que si bien se registra un incremento térmico significativo en la época de verano durante el Niño, no hay un aumento en la intensidad de la canícula.

El vínculo entre la severidad de la canícula y el ENSO podría darse a través de mecanismos de teleconexión entre las señales climáticas a escala planetaria y son probablemente detonados, en el caso del presente estudio, durante dos de las cuatro fases del denominado *Seesaw*, en sus modalidades de presión barométrica positivo-negativo y negativo-positivo que ocurre en el Atlántico norte entre Noruega y Groenlandia. Es probable que la duración de la canícula esté asociada de manera directa con la intensidad de las fases del *Seesaw*. En cualquiera de las fases señaladas, la alta

presión Bermuda-Azores queda contenida dentro de la vaguada formada por la diferencia de presión barométrica y se debilita con la consecuente merma en la lluvia (Sánchez-Santillán, Signoret-Polloin y Garduño 2006). Lo anterior coincide con un patrón de circulación invernal, en el que predominan los vientos secos, como fue sugerido por Mosiño y García (1968). De igual modo, Méndez, Nívar y González (2008) analizan la lluvia a lo largo del año y detectan que la precipitación aumenta durante los meses invernales, cuando ocurren veranos con canículas prolongadas, lo que podría indicar un proceso de teleconexión climática con el consecuente efecto de retardo.

**Tabla 6.** Año de ocurrencia de los máximos y mínimos porcentuales de la canícula en el entorno y la Reserva de la Biosfera El Cielo, entre 1922-2012 (\*El Niño y \*\*La Niña)

Localidad	Mínimo (%)	Máximo (%)	Diferencia (%)
Ahualulco	3,6 (1960)	66,8 (1982)*	63,2
Bellavista	0,8 (1998)*	86,7 (1982)*	83,1
La Boquilla	1,5 (2010)	99,0 (1997)*	97,5
La Encantada	1,3 (1986)*	99,0 (2000)**	97,7
Gómez Farías	4,1 (1992)*	73,0 (1997)*	68,9
Jaumave	2,3 (1978)*	99,0 (1978)*	96,7
Joya de Salas	2,8 (1988)**	99,0 (2004)*	96,2
Llera de Canales	4,1 (1969)*	78,2 (1966)*	74,1
Ciudad Mante	3,8 (1949)**	99,0 (1979)*	95,2
Ocampo	1,0 (1941)*	95,8 (1982)*	94,8
Paso Real de Guerrero	1,1 (2005)*	99,0 (2000)**	97,9

Datos: elaborado a partir de los registros mensuales pluviométricos continuos de CONAGUA 1922-2012

Lo anterior difiere de la propuesta de Karnauskas et ál. (2013), quienes señalan que la canícula se relaciona con la dependencia latitudinal de los dos máximos de precipitación con el cruce semestral de la declinación solar, que determina la presencia de dos picos de inestabilidad convectiva y, por lo tanto, de lluvias. Además de este mecanismo local subyacente, convergen en la cuenca exorreica, donde se ubica la RBC y su entorno, el monzón de Norteamérica, la corriente en chorro de bajo nivel del Caribe y el anticiclón subtropical del Atlántico norte, procesos que en conjunto suprimen las lluvias a lo largo de la costa del Pacífico centroamericano y pueden generar variabilidad interanual en la intensidad o temporalidad de la canícula. Sin embargo, los hallazgos de Karnauskas et ál. (2013) contradicen este paradigma, tal y como ellos mismos lo concluyen, al decir que no hay un mecanismo supresor de la lluvia, por el contrario, la canícula resulta de un mecanismo de reforzamiento de la precipitación que sucede dos veces durante la temporada de lluvias. En el caso particular del Monzón de Norteamérica, si bien inicia entre junio y julio, puede extenderse hasta septiembre y es generado por los vientos cálidos y húmedos provenientes, por el este, del Océano Atlántico y el Golfo de México y, por el oeste, del Océano Pacífico y el Golfo de California. Estos vientos convergen en el noroeste de México. Es común que en otras partes de la república, como sería el NE, se experimente periodos de escasez de lluvias, al concentrarse la mayor parte de la humedad en el lado opuesto del país (CONAGUA 2012). Sin embargo, tal y como señalan Reyes, Douglas y Maddox (1994), persisten las siguientes incógnitas: 1) ¿cuáles son los mecanismos dinámicos y termodinámicos que controlan la precipitación en el NW de México?, 2) ¿cuál es la proporción de humedad hacia el NE del país que aportan el Golfo de México, el Océano Pacífico tropical y el Golfo de California?, 3) ¿qué importancia relativa en la precipitación se tiene entre la circulación monzónica, los sistemas convectivos de mesoescala, las tormentas tropicales y los huracanes?, 4) ¿cómo afecta la variabilidad interanual (ENSO) a los mecanismos generadores de lluvia?

En el análisis de la tendencia, el sentido de la pendiente fue positivo en ocho localidades y negativo en tres (figura 2, tabla 7); sin embargo, el comportamiento gaussiano de la canícula ocasiona que el ruido de la señal provoque una varianza alta, por lo que la pendiente resulta prácticamente imperceptible y coincide con los resultados hallados por Geng et ál. (2011) durante el periodo 1961-2008 en China.

**Tabla 7.** Tendencia de la canícula en la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, entre 1922-2012

Localidad	Pendiente	Valor inicial	Valor final
Ahualulco	0,07	22,4	27,2
Bellavista	0,02	26,6	27,9
La Boquilla	-0,05	23,9	26,6
La Encantada	-0,05	24,7	27,5
Gómez Farías	0,38	17,4	27,8
Jaumave	0,12	23,6	34,8
Joya de Salas	0,15	18,6	26,1
Llera de Canales	0,01	33,9	34,4
Ciudad Mante	0,13	18,5	29,5
Ocampo	0,06	14,5	19,1
Paso Real	-0,02	26,3	27,6

Datos: calculado a partir de los registros mensuales pluviométricos continuos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA 1922-2012).

Sea cual fuere la causa de la canícula, desde el punto de vista biológico resulta fundamental analizar su variabilidad interanual, ya que los ciclos reproductivos de la mayoría de las plantas y los animales son de carácter estacional y ocurren primordialmente en verano (temporada de lluvias), por lo que durante la canícula el déficit hídrico y los procesos ecofisiológicos de las plantas pueden resultar dañados, sobre todo cuando se combinan con un deterioro del suelo (Hultine, Bush y Ehleringer 2010), ya que, cuando se trata de reservas naturales, las áreas circundantes que soportan hidrológicamente a la RBC continúan siendo de manera significativa alteradas negativamente (De la Lanza, Gómez y Hernández 2010).

Cabe sugerir, para los estudios de dinámica poblacional dentro de la RBC, una cuantificación del efecto de la canícula sobre la abundancia de los organismos que conforman las poblaciones asociadas de manera inmediata a los requerimientos hídricos, como los anfibios, organismos altamente sensibles y dependientes del tiempo meteorológico, es decir, de la humedad ambiental relativa, intrínsecamente asociada a la canícula, ya que la duración de esta podría coincidir con la época

reproductiva, incluso hasta el punto de ocasionar una extinción puntual, en un escenario de cambio climático, tal y como señalan Easterling et ál. (2000). En el caso de las plantas, cuando el estrés ambiental es alto (durante un verano de canícula severa), los cloroplastos, distribuidos en las paredes celulares de las plantas  $C_4$ , modifican su posición centrífuga o centrípeta, según el caso, a través de un proceso de migración celular con la finalidad de optimizar la actividad fotosintética (Yamada et ál. 2009), con el consecuente gasto energético.

Valladares y Pearcy (2002) señalan que los años con ENSO resultan anormalmente secos en el centro de California y que durante los días en los que se manifiesta la canícula se reduce significativamente la cobertura nubosa, lo que ocasiona que la vegetación xerófito de la zona disminuya tres procesos fisiológicos que tienen lugar en los estomas: el potencial hídrico foliar, el intercambio de gases y la fluorescencia de la clorofila. La disminución de dichos procesos merma la fotosíntesis neta y suscita un aumento de la disipación de la energía fotorespiratoria. Aunque se desconoce la respuesta fisiológica de la vegetación xerófito de la RBC, es probable que guarde una semejanza con lo descrito por estos autores.

Posiblemente los ciclos de intensidad de la canícula tengan un periodo de retorno que convendría estudiarse, tal y como sugieren Thompson et ál. (2013), ya que los efectos e impactos de los eventos climáticos extremos recurrentes inciden de manera directa y en escalas temporales a corto, mediano y largo plazo. Como un efecto derivado de las actividades y alteraciones por el uso del suelo, Easterling et ál. (2000) señalan además que existe un acuerdo general en la frecuencia e intensidad de eventos anómalos, los cuales podrían alterar negativamente ambientes naturales como la RBC.

Resulta fundamental acotar los factores que inciden con fuerza en el sistema climático y que conjugan más de un mecanismo supresor de la lluvia durante la canícula, evento meteorológico que incide de diversas y desconocidas formas en la fisiología animal y vegetal. En este sentido, los autores de este artículo incursionarán en el estudio de los patrones cíclicos aquí observados, así como en las tasas y velocidades de cambio en la intensidad de la canícula, con la finalidad de aportar elementos que apuntalen la propuesta de un comportamiento periódico de la canícula, donde se vinculan dos de los grandes patrones de circulación de la atmósfera que inciden directamente en la RBC y su entorno: la oscilación del Atlántico norte y el ENSO.

## Conclusiones

Las once estaciones en conjunto presentaron canícula en el 84,5% de los veranos analizados. La intensidad de la canícula fue mayor en los climas secos, seguida de los semicálidos y menor en los climas templados. En el 27,4% de los veranos la duración de la canícula fue de un mes, en el 34,5% de dos, en el 20,8% de tres y en el 36,7% de cuatro. En el 55,6% de los veranos la intensidad fue débil, en el 23,1% media y en 5,7% severa. Las localidades con clima seco (Jaumave y Llera de Canales) registraron la mayor cantidad de veranos con sequías severas, diez y seis eventos respectivamente en el periodo de estudio; mientras que en las localidades con climas templados, cálidos y semicálidos, el número de sequías severas osciló entre uno y cinco eventos. La variabilidad interanual de la canícula muestra un comportamiento gaussiano, la canícula inicia con intensidad débil, continúa ascendiendo durante los cuatro o cinco veranos siguientes hasta registrarse una canícula media o severa y comienza el descenso de la intensidad en los subsecuentes cuatro o cinco veranos, para de nuevo comenzar el proceso.

En algunos años, las once localidades parecen compartir una sincronía en el máximo canicular, durante 1964, 1971, 1977, 1982, 1984 y 2000, en este último año, la sequía fue severa en seis de las once localidades (Bellavista, La Boquilla, La Encantada, Joya de Salas, Cd. Mante y Paso Real de Guerrero). Por su parte, en 1966-1967, 1983-1984, 1993-1994, 2004-2005 y 2009-2010 ocurrió un desfase de un año entre las once localidades.

El comportamiento gaussiano de la canícula explica la amplia varianza observada en el análisis de la tendencia, por lo que no se puede afirmar un incremento o disminución del fenómeno durante el periodo analizado. Existe cierta convergencia entre algunos veranos con canícula, ya sea mínima o máxima, con años con ENSO; en su fase cálida (El Niño) coinciden dieciséis veranos con canícula extrema y en su fase fría (La Niña) solo cuatro eventos de canícula extrema.

## Referencias

- Bravo, José Luis, Enrique Azpra Romero, Víctor Zarraluqui Such, Carlos Gay García, y Francisco Estrada Porrúa. 2010. "Significance Tests for the Relationship Between 'El Niño' Phenomenon and Precipitation in Mexico." *Geofísica Internacional* 49 (4): 245-261.
- Brown, David, Dana Warnecke, y Ted McKinney. 2006. "Effects of Midsummer Drought on Mortality of Doe Pronghorn

- (*Antilocapra Americana*)." *The Southwestern Naturalist* 51 (2): 220-225. doi: 10.1894/0038-4909(2006)51[220:EOMDOM]2.0.CO;2.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 1922-2012. *Registros mensuales pluviométricos continuos*. México: Servicio Meteorológico Nacional (SMN).
- CONAGUA. 2012. "Reporte del clima en México." México: Servicio Meteorológico Nacional. Consultado en marzo del 2017. <http://smn.conagua.gob.mx>.
- Connor, John. 1938. *The Climates of North America: Canada*. Vol. 2 de la serie *Handbuch der Klimatologie*. Berlin: Gebruder Bornträger.
- De la Lanza, Guadalupe, Juan Carlos Gómez Rojas, y Salvador Hernández Pulido. 2010. "Vulnerabilidad de la zona costera: físico-química." En *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático*, editado por Alfonso Bottello, Susana Villanueva, Jorge Gutiérrez y José Luis Rojas, 15-36. México: SEMARNAT-INE, UNAM-ICMYL, Universidad Autónoma de Campeche.
- Easterling, David, Gerald Meehl, Camille Parmesan, Stanley Changnon, Thomas Karl, y Linda Mearns. 2000. "Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts." *Science* 289 (5487): 2068-2074. doi: 10.1126/science.289.5487.2068.
- García, Enriqueta. 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen adaptado a la República Mexicana*. México: Offset Larios.
- García, Enriqueta, y Norma Sánchez-Santillán. 1996. "Análisis climático de la Reserva de la Biosfera El Cielo." *Revista Geofísica* 45:181-199.
- Geng, Li, Liu Xiaoran, Liu De, Tang Hongyu, y Ye Zhao. 2011. "Spatial-Temporal Characteristics of Midsummer Drought Variation in Chongqing." *Meteorological Science and Technology* 39 (1): 27-32.
- Gómez-Pompa, Arturo, y Rodolfo Dirzo, coords. 1995. *Reservas de la biosfera y otras áreas naturales protegidas de México*. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología (INE), Secretaría de medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAP) y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- González-Medrano, Francisco. 2012. *Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación*. México D.F.: SEMARNAP, e INE.
- Hernández-Pérez, Mirna, Alfonso López-Benítez, Sergio Rodríguez-Herrera, Fernando Borrego-Escalante, Moisés Ramírez-Meraz, y Sandra López Benítez. 2011. "Análisis de conglomerado de 15 cruces de Chile para variables fenológicas y de rendimiento." *Agronomía Mesoamericana* 22 (1): 45-50.
- Hultine, Kevin, Susan Bush, y James Ehleringer. 2010. "Ecophysiology of Riparian Cottonwood and Willow Before, During, and After Two Years of Soil Water Removal." *Ecological Applications* 20 (2): 347-361. doi: 10.1890/09-0492.1.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2000. "Conjunto de datos vectoriales de Información topográfica." Escala 1:50.000 (Planchas: F14A27, F14A28, F14A29, F14A37, F14A38, F14A39, F14A47, F14A48, F14A49, F14A57, F14A58, F14A59, F14B21, F14B31, F14B41 y F14B51). México: INEGI.
- Jáuregui, Ernesto. 1959. "Notas sobre la precipitación en Tacubaya para el periodo 1900-1958." *Ingeniería Hidráulica en México* 13 (4): 29-36.
- Karmalkar, Ambarish, Raymond Bradley, y Henry Díaz. 2011. "Climate Change in Central America and Mexico: Regional Climate Model Validation and Climate Change Projections." *Climate Dynamics* 37:605-629. doi: 10.1007/s00382-011-1099-9.
- Karnauskas, Kristopher, Richard Seager, Alessandra Giannini, y A. J. Busalachi. 2013. "A Simple Mechanism for the Climatological Midsummer Drought Along the Pacific Coast of Central America." *Atmósfera* 26 (2): 261-281. doi: 10.1016/S0187-6236(13)71075-0.
- Klein, William. 1982. "Statistical Weather Forecasting on Different Time Scales." *Bulletin of the American Meteorological Society* 63:170-177.
- Mapes, Brian, Ping Liu, y Nikolaus Buenning. 2005. "Indian Monsoon Onset and the Americas Midsummer Drought: Out-of-Equilibrium Responses to Smooth Seasonal Forcing." *Journal of Climate* 18:1109-1115. doi: 10.1175/JCLI-3310.1.
- Méndez, Jorge, José de Jesús Nívar Cháidez, y Vladimir González Ontiveros. 2008. "Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México." *Investigaciones Geográficas* 65:38-55.
- Mosiño, Pedro Antonio. 1964. "Surface Weather and Upper-air Flow Patterns in Mexico." *Geofísica Internacional, Technical Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology* 4:117-168.
- Mosiño, Pedro Antonio, y Enriqueta García. 1968. *Evaluación de la sequía intraestival en la República Mexicana*. Serie de Sobretiros n.º 6 de Los Climas del Valle de México, editado por Enriqueta García. México: Colegio de Posgraduados, Escuela Nacional de Agricultura.
- Ortega, Fernando, y Gonzalo Castillo Campos. 1996. "El bosque mesófilo de montaña y su importancia forestal." *Ciencias* 43:32-39.
- Page, John L. 1930. *Monthly Weather Review: Climate of Mexico*. Suplemento n.º 33. Washington: United States Department of Agriculture Water Bureau.
- Peralta-Hernández, Ana Rosa, Luis Ramón Barba-Martínez, Víctor Magaña-Rueda, Allan Matthias, y José Luna Ruíz. 2008. "Temporal and Spatial Behavior of Temperature and Precipitation During the Canícula (Midsummer Drought)



- under El Niño Conditions in Central Mexico." *Atmósfera* 21 (3): 265-280.
- Periódico Oficial. 1985. *Diario Oficial tomo CX n.º 56: Decreto expedido por el Ejecutivo del Estado, por medio del cual por causa de utilidad pública, se declara Área Ecológica Protegida, clasificada como Reserva de la Biosfera denominada "El Cielo"*. México.
- Ravelero, Arnulfo Pajarito. 2006. "Fenología y rendimiento de variedades de frijol en diferentes fechas de siembra y condiciones de humedad." *Agrofaz: Publicación Semestral de Investigación Científica* 6 (1): 7-16.
- Reyes, Sergio, Michael Douglas, y Robert Maddox. 1994. "El monzón del suroeste de Norteamérica (TRAVASON/SWAMP)." *Atmósfera* 7 (2): 117-137.
- Sánchez-Santillán, Norma, Martha Signoret-Poillon, y René Garduño López. 2006. "La oscilación del Atlántico norte: un fenómeno que incide en la variabilidad climática de México." *Ingeniería Investigación y Tecnología* 7 (2): 85-95.
- Sánchez-Santillán, Norma, René Garduño López, Ignacio Méndez Ramírez, Alfonso Esquivel, y Rubén Sánchez-Trejo. 2007. "Simultaneous Occurrence of the North Atlantic Seesaw and 'El Niño'." *Atmósfera* 20 (1): 45-56.
- Sánchez-Santillán, Norma, René Garduño López, Rosalía Vidal Cepeda, y Rubén Sánchez-Trejo. 2012. "Climate Change in NE Mexico: Influence of the North Atlantic Oscillation." *Investigaciones Geográficas* 78:7-18.
- Thompson, Ross, John Beardall, Jason Beringer, Mike Grace, y Paula Sardina. 2013. "Means and Extremes: Building Variability into Community-Level Climate Change Experiments." *Ecology Letters* 16 (6): 799-806. doi: 10.1111/ele.12095.
- Valladares, Fernando, y Robert Pearcy. 2002. "Drought Can be More Critical in the Shade than in the Sun: A Field Study of Carbon Gain and Photo-Inhibition in a Californian Shrub During a Dry El Niño year." *Plant, Cell and Environment* 25 (6): 749-759. doi: 10.1046/j.1365-3040.2002.00856.x.
- Vargas-Contreras, Jorge Albino, y Arturo Hernández-Huerta. 2001. "Distribución altitudinal de la mastofauna en la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México." *Acta Zoológica Mexicana* 82:83-109.
- Velázquez, Jaime. 2002. *Agrofenoclimatología*. México D.F.: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Vidal, Rosalía. 2005. *Las regiones climáticas de México. Serie Temas Selectos de la Geografía Mexicana*. México D.F.: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Wallén, Carl Christian. 1955. "Some characteristics of Precipitation in Mexico." *Geografiska Annaler* 37 (1/2): 51-85.
- Wang, Chunzai, Sang-Ki Lee, y David Enfield. 2008. "Climate Response to Anomalously Large and Small Atlantic Warm Pools During the Summer." *Journal of Climate* 21 (11): 2437-2450. doi: 10.1175/2007JCLI2029.1.
- Weiss, Jeremy, Christopher Castro, y Jonathan Overpeck. 2009. "Distinguishing Pronounced Droughts in the Southwestern United States: Seasonality and Effects of Warmer Temperatures." *Journal of Climate* 22 (22): 5918-5932. doi: 10.1175/2009JCLI2905.1.
- Wilks, Daniel. 1995. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Vol. 59 de la Serie *International Geophysics*. New York: Academic Press.
- Yamada, Masahiro, Michio Kawasaki, Tatsuo Sugiyama, Hiroshi Miyake, y Mitsutaka Taniguchi. 2009. "Differential Positioning of C<sub>4</sub> Mesophyll and Bundle Sheath Chloroplasts: Aggregative Movement of C<sub>4</sub> mesophyll Chloroplasts in Response to Environmental Stresses." *Plant Cell Physiology* 50 (10): 1736-1749. doi: 10.1093/pcp/pcp116.

**Norma Sánchez-Santillán**

Doctora en Ciencias, egresada de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Profesora-investigadora del Área Departamental “Estructura y Funcionamiento de los Recursos Naturales Renovables”, de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-Xochimilco). Sus líneas de investigación son la climatología dinámica, bioclimatología, reconstrucciones climáticas y paleoclimáticas, el efecto que las variabilidades climáticas ejercen sobre los ecosistemas terrestres y acuáticos. Coordina el proyecto “El cambio global del clima en México, sus teleconexiones climáticas y paleoclimáticas mundiales, sus efectos sobre áreas rurales y urbanas y las repercusiones socioeconómicas”.

**René Garduño**

Maestro en Geofísica, egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Actualmente es profesor en el Departamento de Física de la Facultad de Ciencias e investigador titular del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la misma universidad. Editor asociado de la revista especializada *Atmósfera*. Sus líneas de investigación son los cambios climáticos naturales y antropógenos, modelación del clima de Marte y Venus, disponibilidad de agua y vulnerabilidad de la Cuenca Hidrológica Lerma-Chapala y correlaciones estadísticas del clima regional y global.

**Gilberto Sven Binnqüist Cervantes**

Maestro en Sistemas de Información Geográfica, egresado de la Universidad de Girona, España. Actualmente es jefe del Departamento El Hombre y su Ambiente, en la División Ciencias Biológicas y de la Salud, de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-Xochimilco). Es profesor-investigador en el Área de Investigación Departamental “Conservación y Manejo de Recursos Naturales y Servicios Ambientales”. Su línea de investigación es la aplicación de la planificación ambiental en la conservación de los servicios ecosistémicos, ordenamiento y desarrollo territorial.