

Caracterización climática para la región de Bahía de Banderas mediante el sistema de Köppen, modificado por García, y técnicas de sistemas de información geográfica

Recibido: 14 de septiembre de 2011. Aceptado en versión final: 20 de febrero de 2012.

Antonio Velázquez Ruiz*

Luis Manuel Martínez R.**

Fátima Maciel Carrillo González*

Resumen. La identificación de diferentes zonas climáticas puede ser un factor importante para los tomadores de decisiones en diversos campos como el ordenamiento urbano o las alternativas agrícolas. Con el propósito de caracterizar los climas de la región de Bahía de Banderas, México, se adoptó una metodología que combina el uso de la Clasificación Climática de Köppen modificada por García para México y técnicas de sistemas de información geográfica (SIG). Se utilizó regresión simple entre temperatura (variable dependiente) y altitud como variable independiente. Se aplicó la ecuación de la regresión múltiple a la precipitación (variable dependiente) y datos geográficos como variables independientes (Índice de continentalidad termo-pluviométrica y pendiente). La información para temperatura y precipitación fue obtenida de la Comisión Nacional del Agua y de la base de datos ERICIII, 2006. La información de la pendiente

fue obtenida del Modelo Digital de Elevación y del Índice de Gorzynski para continentalidad. Los coeficientes de la regresión simple y múltiple fueron utilizados para construir los mapas digitales de temperatura y precipitación anual mediante SIG. Con estos mapas y aplicando la herramienta Köppen-García, se generó la carta final para la caracterización climática. Los coeficientes de determinación fueron de 0.82 y 0.39 para temperatura y precipitación, respectivamente. La clasificación resultante para cada una de las estaciones quedó localizada en su zona climática correspondiente en la carta final. Se identificaron zonas y límites climáticos para esta región de estudio.

Palabras clave: Bahía de Banderas (México), Clima, SIG, Köppen-García.

Climatic characterization of the Banderas Bay Region using Köppen's system modified by García and Geographic Information Systems techniques

Abstract. The identification of different climatic zones can be an important factor for decision-makers in various fields such as urban planning and agricultural alternatives. In order to characterize the climates of the region of Bahía de Banderas (BB) Mexico, we adopted a methodology that combines the use of the Köppen climate classification modified by García for Mexico and methods of Geographic

Information Systems (GIS). We used simple regression between temperature (dependent variable) and height as independent variable. Multiple regressions were applied for rainfall (dependent variable) and geographical data as independent variables (thermal continentality, thermopluviometric index and slope). The temperature and precipitation data were obtained from the Comisión Nacional del Agua,

* Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara, Campus Puerto Vallarta, Av. Universidad no. 203, delegación Ixtapa, 48280, Puerto Vallarta, Jalisco. E-mail: ingeantoniovr@yahoo.com.mx

** Centro Manantlán del Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara, Av. Independencia Nacional no. 151, Autlán, Jalisco.

and ERIC III, 2006 database. Information from geographical variables was obtained from a Digital Elevation Model and Gorzynski's Index of Continentality. The coefficients of simple and multiple regressions were used to construct digital maps of annual temperature and precipitation via GIS. With these maps and using the CCK-EG tool, we generated the final map of climatic characterization. The result was highly representative. The determination coefficients were 0.82 and

0.39 for temperature and precipitation respectively. The resulting classification for each of the stations was located in their corresponding climate zone on the final map. Zones and climatic limits were identified for this study region.

Key words: Bay of Banderas (Mexico), climate, GIS, Köppen-García.

INTRODUCCIÓN

La diferencia entre clima y el tiempo meteorológico es la exploración de la cronología necesaria para registrar datos sobre el clima. El clima se observa durante un periodo mínimo de 30 años, mientras que el tiempo se estudia en lapsos de hasta dos semanas (Dole, 2006). El estándar mundial para la clasificación del clima se denomina Clasificación Climática de Köppen (CCK), (Castro *et al.*, 2007), basado en la teoría de que la vida de las plantas nativas se ve directamente afectada por la distribución espacial de elementos climáticos (Lohmann, *et al.*, 1993). La CCK ha sido uno de los sistemas de clasificación climática más comúnmente usados desde su introducción (Essenwanger, 2001). Fue publicada por primera vez en 1884 por el climatólogo ruso-germano Vladimir (Wilhelm) Köppen, con varias modificaciones notables, en 1918 y 1936. Posteriormente el climatólogo alemán Rudolf Geiger colaboró con Köppen en ulteriores modificaciones, por lo cual algunas veces se le refiere como Sistema de Clasificación Climática Köppen-Geiger (Kottek *et al.*, 2006).

Köppen seleccionó límites de zonas climáticas como promedios de la distribución de la vegetación. Esto combina los promedios anuales de temperatura y precipitación junto con la estacionalidad de la precipitación con el fin de identificar fronteras climáticas coincidentes con zonas de vegetación bien definidas (*Ibid.*). Esta clasificación está basada en cinco grandes grupos de los climas terrestres, los cuales se representan por las letras mayúsculas: A (tropical lluvioso), B (seco), C (templado lluvioso), D (boreal) y E (frío o polar) y 12 tipos principales de clima: Af (selva), Aw (sabana), BS (estepa), BW (desierto), CW (sínico), Cs (mediterráneo), Cf (templado), Cfa (virginiano húmedo), Cfb (de las hayas), Dw (continental boreal), Df (ruso cana-

diense), ET (tundra) y EF (hielos perpetuos). Cada uno de los cinco grupos principales, excepto el B, están identificados por criterios de temperatura. El tipo B designa los climas en los que el factor de control sobre la vegetación es la sequedad (en lugar de la temperatura).

Desde entonces y, a partir de la serie de modificaciones realizada por Geiger, la CCK ha sido ampliamente utilizada para catalogar los climas mundiales. Lohmann *et al.* (1993) la utilizaron como herramienta de diagnóstico para validar modelos de circulación general y para análisis de simulaciones de riesgos de gases de efecto invernadero. Rubel y Kottek (2010) realizaron a partir de ésta, la proyección en un mapamundi del cambio climático para el 2100. También ha sido utilizado ampliamente en estudios de climas locales como en el análisis de las características climáticas de Krasno (Medvedovic' *et al.*, 2009), en la que estos resultados sirvieron para propósitos de investigación de las condiciones de vida en el área, parámetros ecológicos y para el manejo de unidades de sitios forestales.

Enriqueta García de Miranda hizo un trabajo exhaustivo sobre la aplicación de la clasificación de Köppen a las condiciones climáticas de la República Mexicana (García, 2004). Encontró que las designaciones originales de Köppen para su uso en diversos tipos de clima eran evidentemente inadecuadas cuando trató de aplicarlos a los climas de este país (*Ibid.*). Se dio a la tarea de agregar otras modificaciones, aumentando en diversos casos las designaciones originales de Köppen por otras más adecuadas y que no produjeran mayor confusión. Las modificaciones introducidas por García se anotaron con los símbolos entre paréntesis, por ejemplo: en la clave ACa(w₁)wi, el símbolo (w₁) es una modificación al original.

En este trabajo se emprende la tarea de llevar a cabo la caracterización climática espacial de la

región de Bahía de Banderas (BB), usando como herramienta el sistema de Köppen modificado por García (2004), con el fin de agrupar climas similares para identificar zonas climáticas que sirvan de base a futuros estudios para la investigación tanto de variabilidad climática como de cambio climático.

ÁREA EN ESTUDIO

La zona en estudio corresponde a la región de Bahía de Banderas (BB), la cual se encuentra en los límites entre los estados de Nayarit (suroeste) y Jalisco (noroeste), se ubica geográficamente entre los 29° 54' y 21° 5' de latitud norte y los 104° y 105° 46' de longitud oeste; y forma parte de la Planicie Costera del Pacífico Mexicano, y comprende parte de los municipios de Bahía de Banderas (Nayarit), Puerto Vallarta, San Sebastián del Oeste, Mascota, Talpa de Allende, Tomatlán y Cabo Corrientes (Jalisco), (Figura 1).

La penetración del efecto costero hacia el continente tiene como fronteras cuatro sistemas montañosos que la rodean: Sierra Vallejo al norte; Sierra El Cuale al este; Sierra El Tuito, al sureste; y Sierra Lagunillas al sur. Estas dos últimas por su gran altura (más de 2 000 msnm), permiten que gran parte de la costa sur y este de la zona, sirvan de sistemas de captación de la humedad durante la época de lluvias (Cupul, 2001-2002).

En esta región de la BB, Nayarit-Jalisco (Figura 1), se presenta en su parte baja, selva y bosque tropical sub-caducifolio (Ramírez *et al.*, 1999), además de bosque de manglar en los esteros El Quelele y Boca Negra, ambos de Nayarit y El Salado en Jalisco. Bosque tropical caducifolio se distribuye en la zona norte y sur de la Bahía, mientras que los bosques de encino y de pino-encino se presentan a partir de los 450 m de altitud (*Ibid.*).

Debido a que es zona costera el flujo de vientos dominante (brisa) es el terral; un flujo de viento diurno de mar a tierra ocasionado por el calentamiento desigual entre la superficie terrestre y el agua

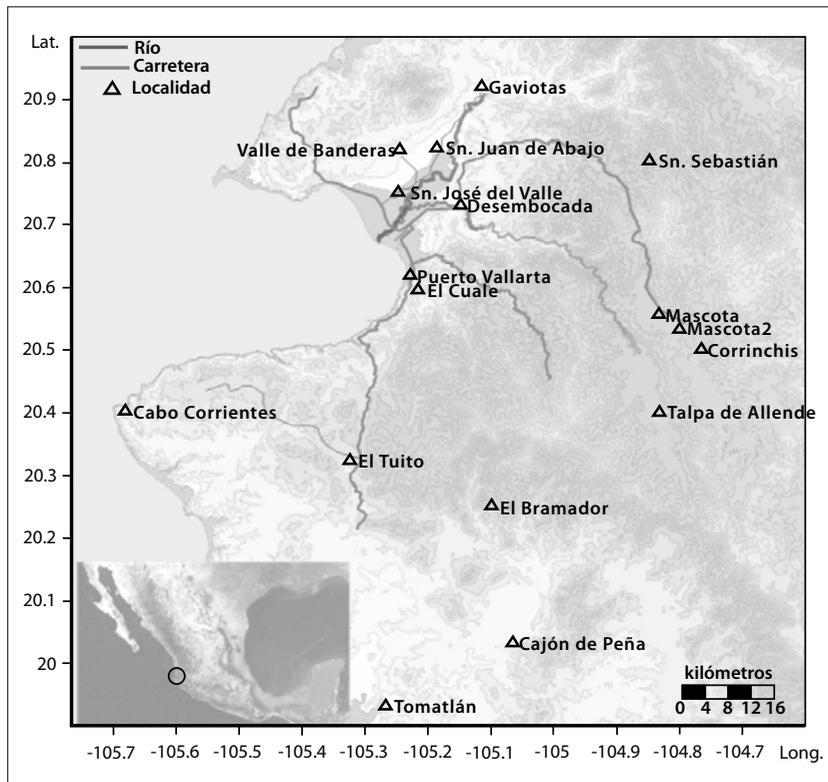


Figura 1. Localización de las estaciones meteorológicas en la región de Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit.

superficial del océano (durante el día la tierra se calienta más rápidamente que el agua), y un flujo de vientos vespertino de tierra a mar (después de la puesta del sol la superficie terrestre se enfría más rápidamente que el agua).

Su clima presenta un tipo cálido subhúmedo en la zona costera y por debajo de los 700 msnm, con temperaturas promedio anuales que van de los 22 a 28° C y con precipitación anual de 830 a 1 783 mm. Mientras que el clima semicálido subhúmedo se presenta en la sierra por encima de los 700 msnm con temperaturas promedio anuales que van de los 18 a 21° C y con precipitación anual de 940 a 1 350 mm. En ambas zonas la temporada de lluvia se presenta principalmente entre los meses de junio a octubre.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se basó en la combinación de dos métodos; la Clasificación Climática de Köppen

modificada por García (CCK_G) aplicada a las 17 estaciones meteorológicas localizadas en la región de BB (Figura 1) y la aplicación de técnicas de SIG, para la obtención de la caracterización climática de esta región.

Las series de tiempo para calcular la temperatura y precipitación promedio anual se obtuvieron de la base de datos ERIC III (IMTA, 2006). Se eligieron estaciones meteorológicas con 20 años o más de datos (Tabla 1).

Se obtuvo a partir de la página de internet del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Historia (INEGI), el Modelo Digital de Elevación (MDE) escala 1:250 000, 90 m, en formato .bil para la región de BB localizada entre las coordenadas de latitud (19° 54' y 21° 01'), y longitud (-105° 46' y -104° 36'), (Figura 1). Se implementó un SIG para digitalizarlo (Figura 2).

Mapas de distribución espacial de temperatura

La temperatura es una variable que está íntimamente asociada a la altitud o altura sobre el nivel del

Tabla 1. Estaciones meteorológicas utilizadas para el estudio climatológico de la región de Bahía de Banderas

ID	Ciudad	Longitud	Latitud	Altitud en m	Años datos	Periodo
1	Puerto Vallarta	-105.230	20.617	10	58	28-88
2	San José del Valle	-105.250	20.750	20	22	69-01
3	Tomatlán	-105.267	19.933	30	50	40-03
4	San Juan de Abajo	-105.189	20.820	32	24	85-09
5	Gaviotas	-105.117	20.917	60	40	55-01
6	Desembocada	-105.150	20.730	60	41	49-04
7	Valle de Banderas	-105.250	20.817	73	25	59-89
8	El Cuale	-105.218	20.593	93	24	80-04
9	Cajón de Peña	-105.067	20.033	121	38	54-04
10	Cabo Corrientes	-105.683	20.401	150	20	65-85
11	El Bramador	-105.100	20.250	560	35	59-04
12	El Tuito	-105.326	20.322	600	42	50-04
13	Talpa de Allende	-104.833	20.400	1140	24	39-91
14	Mascota	-104.834	20.555	1235	74	23-04
15	Mascota2	-104.800	20.533	1220	47	46-03
16	San Sebastián	-104.850	20.800	1250	34	50-89
17	Corrinchis	-104.767	20.500	1450	41	61-04

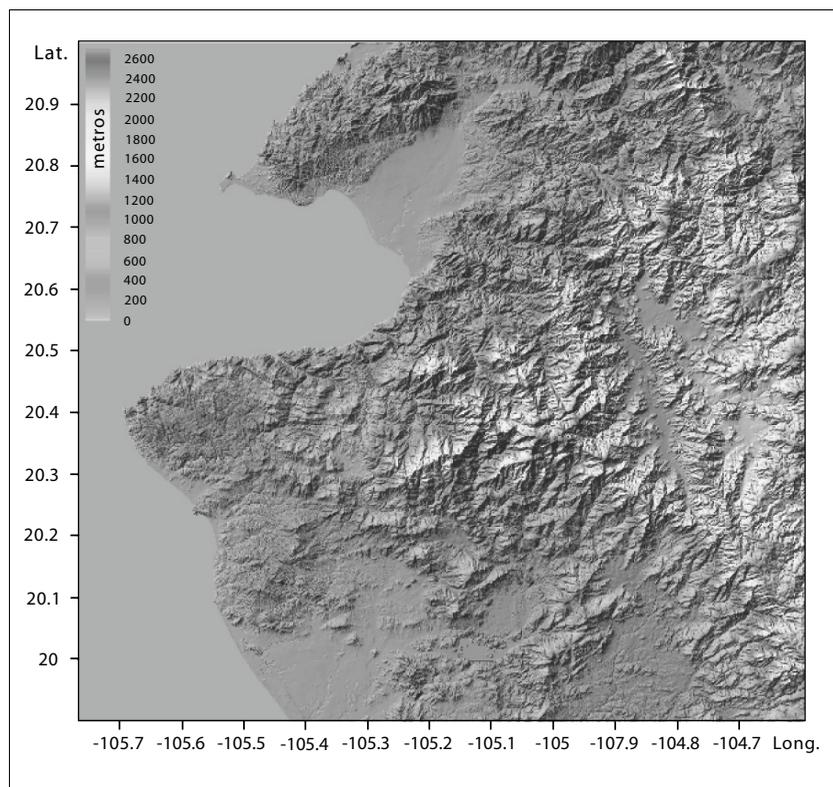


Figura 2. Mapa de elevaciones para Bahía de Banderas.

mar. El manual de Meteorología y Fenómenos Meteorológicos del IMTA (1998), establece que el gradiente térmico vertical en la tropósfera es de 6°C por cada 1 000 m de altura. En la región de BB, este valor es de 4.7°C por cada 1 000 m.

Para la representación espacial de la temperatura en la región en estudio se tomó como base la altitud de cada estación y su temperatura promedio anual. Se generó el modelo de regresión lineal anual de temperatura, tomando la altitud como la variable independiente y la temperatura como la variable dependiente. Con estos modelos de regresión lineal se generaron en SIG los mapas de distribución espacial de la temperatura promedio anual y de gradiente alto-térmico (Figura 3).

Elaboración de cartas de precipitación anual

A diferencia de la temperatura, la lluvia no tiene un gradiente definido con la altitud, ésta depende de muchos factores para poderla representar espacialmente. Debido a esto la lluvia tiene una de las mayores variabilidades espacio-temporales. En áreas

planas, con estaciones uniformemente distribuidas, el promedio aritmético (Te Chow *et al.*, 2000) o la interpolación por el método de Kriging, puede ser un método aceptable para estimar la distribución de la precipitación (Hutchinson, 1995); sin embargo, en áreas montañosas la distribución espacial de la lluvia puede alcanzar grandes variaciones debido a la influencia del terreno escarpado y en consecuencia, la presencia de mecanismos convectivos y efectos de sombra pluviométrica. Webster (1987) señala que los sistemas de circulación Monzónica que se desarrollan en regiones continentales de latitudes bajas en respuesta a contrastes térmicos y béricos entre el continente y las regiones oceánicas adyacentes, son los principales componentes de los regímenes de precipitación en la estación cálida continental. Y estos sistemas están caracterizados por inversiones estacionales de la circulación y regímenes de precipitación con muchos vínculos a fluctuaciones de tiempo y clima (Higgins *et al.*, 2002).

Algunas variables como la proximidad a cuerpos de agua, pendiente, aspecto (dirección de máxima

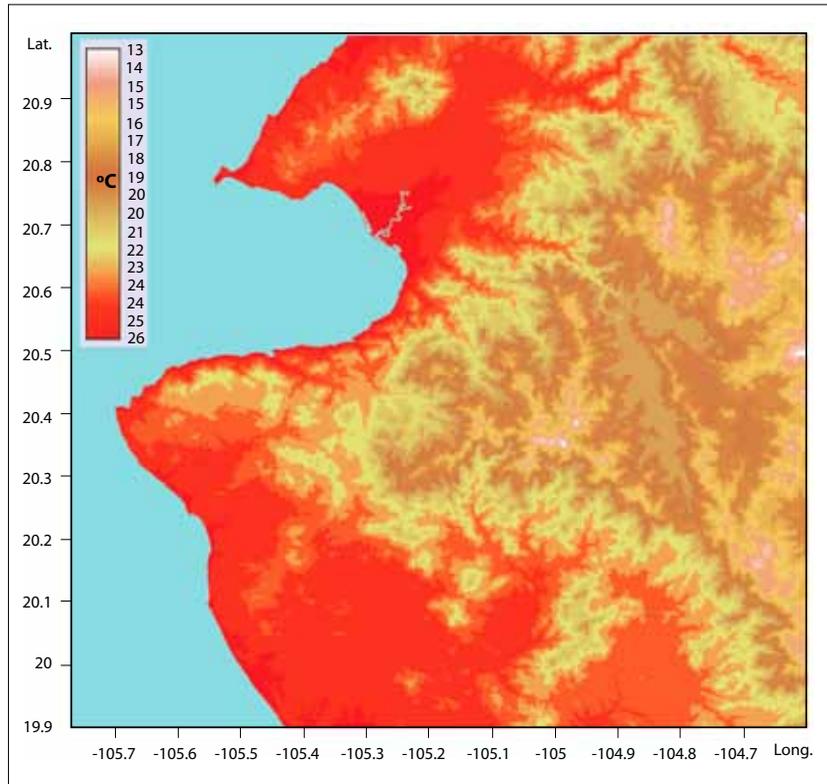


Figura 3. Gradiente alto-térmico de la temperatura promedio anual en la región de Bahía de Banderas.

pendiente) relativa a la dirección de barlovento (Whiteman, 2000), temperatura, continentalidad térmica o pluviométrica, determinan la distribución de la lluvia. Para esta región de BB, los mapas de distribución de la precipitación tienen gran importancia por los riesgos de erosión del suelo en la sierra cercana a la ciudad de Puerto Vallarta debido a los asentamientos humanos que se están estableciendo en las zonas altas de esa sierra.

Para generar los modelos de regresión lineal múltiple se eligieron variables independientes siguiendo algunos de los factores más reconocidos que contribuyen al clima (Ninyerola *et al.*, 2000). Se tomaron en consideración las siguientes variables: Pendiente (porcentaje de inclinación en cada punto de la región) e Índice de Continentalidad Termo-pluviométrica (ICtr-pl, añade un factor de humedad).

Se generó la capa 'grid' de la variable de ICtr-pl y en SIG se convirtió en capa raster. La capa para pendiente se obtuvo directamente del MDE, en SIG. Finalmente, con estas capas y la ecuación de regresión lineal múltiple se generó el mapa de precipita-

ción anual para esta región. También se construyó la carta de precipitación de acuerdo con la altitud.

Obtención de la Clasificación climática para cada estación de acuerdo con CCK-G

Las claves para cada una de las estaciones se determinaron mediante el software en CD que viene con el libro *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen* (edición 2004).

Caracterización climática para BB

En el SIG se aplicó una reclasificación de imagen raster sobre el mapa de temperatura promedio anual para identificar las zonas cálidas 'A' y zonas semicálidas A(C), mediante la clasificación de la Tabla 2.

Tabla 2. Climas cálidos (A), Climas semicálidos A(C)

	Grupo Inferior Superior	
A(C)	0	22
A	22	40

Enseguida, tomando las dos cartas raster de precipitación y temperatura promedio anual, se calculó en SIG el Índice de Lang (P/T), con lo que se generó la capa P/T (mm/°C).

Posteriormente mediante otra reclasificación de imagen en SIG, sobre la capa P/T, se generó una capa raster para identificar los climas subhúmedos (w₂)w, (w₁)w, (w₀)w, con los rangos de la Tabla 3.

Finalmente se aplicó una clasificación cruzada en SIG a las dos capas generadas de las Tablas 2 y 3, para obtener la caracterización climática de acuerdo con CCK-G, para esta región en estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución de temperatura

El modelo de regresión lineal ajustado para la temperatura-altitud, tiene un coeficiente de determinación de 82.99% (con 95% de confianza), que representa bastante bien la distribución espacial de la temperatura (ecuación 2). El gradiente de temperatura (GrT) para esta región de BB, es de 4.7° C por cada 1 000 m de altitud (ecuación 1).

$$GrT = (T_{mxAn} - T_{mnAn}) / Alt \quad (1)$$

GrT = Gradiente de temperatura en °C

T_{mxAn} = Temperatura máxima promedio Anual en °C.

T_{mnAn} = Temperatura mínima promedio Anual en °C.

Alt = Altitud en msnm.

Tabla 3. Climas subhúmedos

Subtipo	P/T inferior	P/T superior	
(w ₂)w	55.01	111	El más húmedo de los subhúmedos.
(w ₁)w	43.2	55.01	Subhúmedo intermedio.
(w ₀)w	0	43.2	El más seco de los subhúmedos.

Ecuación de regresión lineal para temperatura promedio anual:

$$T_x = 26.0972 - 0.00473617 * Alt \quad (2)$$

T_x = Temperatura promedio anual en °C

Alt = Altitud en msnm (MDE).

El valor del coeficiente de correlación (Pearson); r_{xy} ≈ -1, (-0.911), indica que son inversamente proporcionales, la temperatura y la altitud (Anexo 1).

R-cuadrada = 82.99% (Anexo 2).

R-cuadrado (ajustado para 1 g.l.) = 81.862%, o grado de confianza en el modelo

El gradiente alto-térmico para la región de BB muestra una amplitud térmica promedio anual de 13° C, con temperaturas de 26° C en la zona cálida costera (cota 20 m) y de 14° C en la zona templada de montaña (cota 2 000+m), Figura 3.

La región de BB presenta una temporada cálida en los meses de junio a septiembre, siendo junio en el que más comúnmente se presentan las temperaturas promedio más cálidas de 22 a 29° C, respectivamente (Tabla 4, Anexo 3), salvo la estación de San José del Valle donde el mes más cálido es agosto con 31° C. La estación más fría o menos cálida se presenta principalmente en enero con temperaturas de 14 hasta 23° C.

Gran parte de esta región presenta poca oscilación térmica (entre los 5 y 7° C), sólo la estación de San Sebastián presenta un clima Isotermal de alrededor de 4° C. Por otro lado, las estaciones de Talpa de Allende Mascota² y Corrinchis presentan oscilaciones térmicas extremosas con temperaturas entre 7 y 8° C. De acuerdo con el Índice de Lang (P/T), la región de BB se encuentra entre la zona desde los subhúmedos más húmedos a los subhúmedos más secos (Tablas 3 y 4, Anexo 3).

Distribución de precipitación

Uno de los elementos más importantes principalmente para aspectos agrícolas es la precipitación, debido a que la mayor parte de las hectáreas cultivables son de temporal y no de riego, correspondientes a las zonas agrícolas del Valle de Banderas (Nayarit) y de Las Palmas (Puerto Vallarta), (INEGI, 2011).

El área de BB se localiza en una zona con climas cálidos y semicálidos subhúmedos (Tabla 4, Anexo 3). Esto le confiere un régimen de lluvias de más de 600 mm promedio anuales en las zonas menos húmedas que se localizan al noreste (NE) de la Bahía (recuadro blanco, Figura 4). El aporte de lluvias para la zona agrícola del Valle de Banderas y de Las Palmas es entre 700 y 1 100 mm promedio anual (recuadro amarillo, Figura 4). De manera contrastante la distribución de lluvias más abundante se manifiesta hacia la Sierra de El Cuale al sur de BB, con precipitaciones superiores a los 1 400 mm anuales (recuadro azul Figura 4).

La precipitación se presenta con una alta variabilidad espacio-temporales, especialmente en áreas montañosas donde, además, hay información escasa. Esto tiene implicaciones en los procesos de interpolación para la determinación de su distribución espacial.

En el modelo de regresión múltiple para caracterizar la precipitación espacial (ecuación 3), se utilizaron variables topográficas como las más

determinantes de la distribución espacial de la lluvia y temperatura (como variable atmosférica) incluida en el IC_{tr-pl} (ecuación 4). El índice de determinación fue de 39.85. Se calculó la ecuación de regresión múltiple con otras variables pero el valor de 'P' dio mayor a 0.05 (no estadísticamente significativo con un nivel de confianza de 95%), por lo que se eliminaron.

Ecuación de regresión lineal múltiple para precipitación acumulada anual:

$$Pan = 471.987 + 3.28772*IC_{tr-pl} + 7.00553*Pendiente \quad (3)$$

Pan = Precipitación acumulada promedio anual en mm

Pendiente = Porcentaje de inclinación del punto considerado con respecto a la horizontal.

IC_{tr-pl} = Índice de Continentalidad termopluiométrica.

$$IC_{tr-pl} = \left(\frac{1.7*OS}{SenLat} - 20.4 \right) * \frac{\% P.V.}{\% P.I.} \quad (4)$$

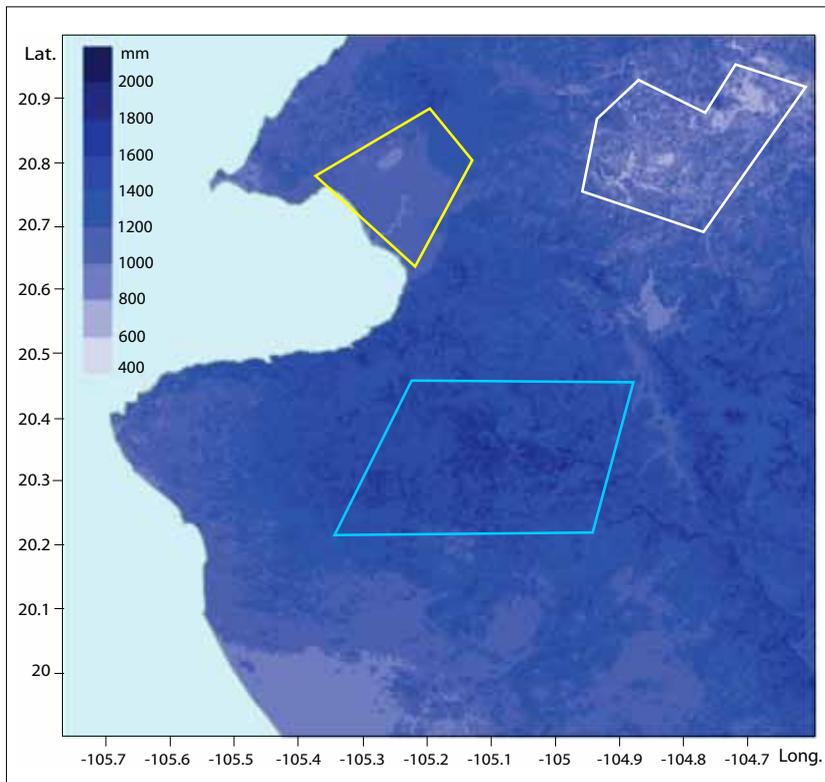


Figura 4. Gradiente altitudinal de precipitación promedio anualizada.

%P.V. = Porcentaje de precipitación de verano respecto al total anual.

%P.I. = Porcentaje de precipitación de invierno respecto al total anual.

OS = Amplitud térmica. Temperatura del mes más cálido (TC) – Temperatura del mes más frío (TF).

SenLat = función seno de la latitud

Estadísticos para la regresión lineal múltiple de precipitación acumulada anual.

$R^2 = 39.8555$ por ciento (Anexo 2)

R^2 (ajustado para 2 g.l.) = 31.2634% (Anexo 2).

Caracterización climática

De acuerdo con los resultados de la clasificación CCK_EG, esta región presenta principalmente dos tipos de climas.

Los climas cálidos subhúmedos (Aw), en las zonas costeras por debajo de los 700 m de altitud, con estación seca en invierno y lluvias en verano. Aquí el subtipo menos húmedo de los subhúmedos (Aw₀), se presenta en las estaciones cercanas a la

costa y en el Valle de Banderas (Figura 5), mientras que el subtipo más húmedo de los subhúmedos (Aw₂), se localiza en toda la región de la sierra baja (Figura 5).

Los climas semicálidos subhúmedos se presentan en la sierra (por arriba de los 700 m), con temperaturas medias del mes más frío por encima de los 14° C y la temperatura del mes más cálido mayor de 30° C (Tabla 4), subgrupo (A)C. Todas las estaciones ubicadas en altitudes menores a los 700 msnm, presentan poca oscilación térmica (entre los 5 y 7° C). De las estaciones ubicadas por arriba de los 1 000 msnm, San Sebastián presenta oscilación menor a los 5° C, Mascota presenta oscilación entre los 5 y 7° C y el resto presenta oscilación térmica entre los 7 y 14° C (Figura 5).

De acuerdo con el grado de humedad, las estaciones con clasificación Aw₀(w)i' son: San José del Valle, Tomatlán, Desembocada, Valle de Banderas y Cabo Corrientes, que corresponden al subtipo cálido subhúmedo el menos húmedo de los subhúmedos (Tabla 4).

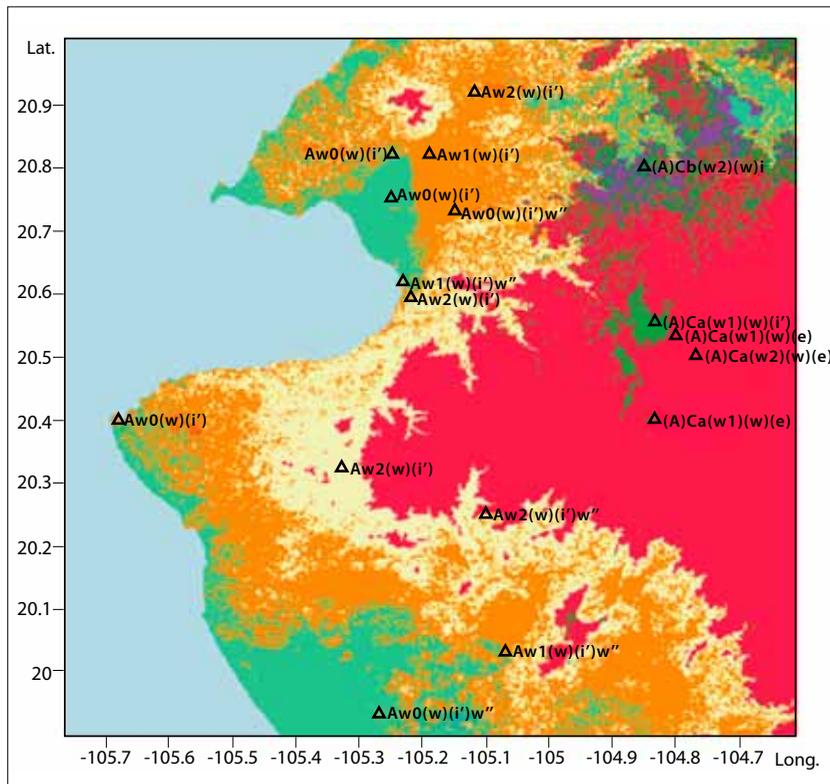


Figura 5. Distribución de las estaciones climáticas con su clasificación CCK-EG y la caracterización climática espacial.

Las estaciones con clasificación $Aw_1(w)i'$, son: Puerto Vallarta, San Juan de Abajo y Cajón de Peña, con clima cálido subhúmedo, húmedo intermedio (Tabla 4).

Las estaciones con clasificación $Aw_2(w)i'$, son: Gaviotas, Cuale, Bramador y Tuito corresponden al subtipo cálido subhúmedo, el más húmedo de los subhúmedos (Tabla 4).

Las estaciones Talpa de Allende, Mascota y Mascota2 están presentes en el área del subtipo climático (A)Ca(w_1)w (Figura 5), corresponden a climas semicálidos subhúmedos con lluvias en verano y con temperatura media anual mayor a 18° C. De estas estaciones Talpa de Allende y Mascota presentan una oscilación térmica extremosa (e), entre 7 y 14° C (Tabla 4).

Las estaciones de Talpa de Allende, Mascota, Mascota2 y Corrinchis corresponden al subtipo climático (A)Ca (Figura 5), esto es clima semicálido de los cálidos (temperatura del mes más caluroso mayor a 22° C). Mientras que San Sebastián corresponde al subtipo (A)Cb, clima semicálido de los templados (temperatura del mes más caluroso menor a 22° C).

Nomenclatura (Figura 5)

$Aw_0(w)i'$: Clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (temperatura media anual mayor a 22° C y del mes más frío mayor a 18° C); el más seco de los subhúmedos, diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el mes más seco, bajo porcentaje de lluvia invernal menor a 5. Cociente P/T menor que 43.2 mm/°C y con poca oscilación térmica (5 a 7° C).

$Aw_1(w)i'$: Clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (temperatura media anual mayor a 22° C y del mes más frío mayor a 18° C); subhúmedo intermedio, diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el mes más seco, bajo porcentaje de lluvia invernal menor a 5. Cociente P/T entre 43.2 y 55.3 mm/°C, con poca oscilación térmica (5 a 7° C).

$Aw_2(w)i'$: Clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (temperatura media anual mayor 22° C

y del mes más frío mayor a 18° C); el más húmedo de los subhúmedos, diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el mes más seco, bajo porcentaje de lluvia invernal menor a 5. Cociente P/T mayor que 55.3 mm/°C y con poca oscilación térmica (5 a 7° C).

(A)Ca(w_1)(w)(e): Clima semicálido de los cálidos, subhúmedo con lluvias en verano (temperatura media anual mayor a 18° C, del mes más frío menor a 18° C y del mes más cálido mayor a 22° C); diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el mes más seco y bajo porcentaje de lluvia invernal menor a 5. Cociente P/T entre 43.2 y 55 mm/°C, con oscilación térmica extremosa (7 a 14° C).

(A)Ca(w_1)(w)(i'): Clima semicálido de los cálidos, subhúmedo con lluvias en verano (temperatura media anual mayor a 18° C, del mes más frío menor a 18° C y del mes más cálido mayor a 22° C); diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el mes más seco y bajo porcentaje de lluvia invernal menor a 5. Cociente P/T entre 43.2 y 55 mm/°C, con poca oscilación térmica (5 a 7° C).

(A)Ca(w_2)(w)(e): Clima semicálido de los templados, subhúmedo con lluvias en verano (temperatura media anual mayor a 18° C, del mes más frío menor a 18° C y del mes más cálido mayor a 22° C); diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el mes más seco y bajo porcentaje de lluvia invernal menor a 5. Cociente P/T mayor a 55 mm/°C y con oscilación térmica extremosa (7 a 14° C).

(A)Cb(w_1)(w)i: con lluvias en verano (temperatura media anual mayor a 18° C, del mes más frío menor a 18° C y del mes más cálido menor a 22° C); diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el mes más seco y bajo porcentaje de lluvia invernal menor a 5. Cociente P/T entre 43.2 y 55 mm/°C, con oscilación isoterma (menor a 5° C).

w”: indica presencia de canícula o que la lluvia es bimodal en los climas con régimen de lluvias de verano. Se presenta como sequía (o merma en la cantidad de lluvia) en la mitad caliente y lluviosa del año. Este símbolo se pone al final de todas las letras de la clasificación. Este evento se presenta en la región de BB y por supuesto que requiere posterior investigación detallada.

CONCLUSIONES

Aun cuando se utilizó solamente información geográfica junto con datos de estaciones meteorológicas, fue suficiente para desarrollar los mapas tanto de temperatura promedio anual como los de precipitación, así como para la construcción final del mapa de la caracterización climática.

Los modelos de regresión lineal descritos en este trabajo representaron adecuadamente la distribución de la temperatura y precipitación con un alto grado de confianza ($R^2 = 83$ y 39% , respectivamente).

Las modificaciones al régimen de clasificación climática de Köppen realizadas por García (2004) facilitaron el trabajo de caracterización y clasificación climática para esta región en estudio y con un alto porcentaje de confianza. Esto permitió agrupar las zonas similares con las que se identificaron las zonas climáticas mediante la utilización de técnicas SIG, consiguiéndose la caracterización climática para la región de BB.

Es importante resaltar que el objetivo principal de este trabajo ha sido la construcción de un mapa digital de la caracterización climática para BB y que deja abiertas muchas líneas de investigación para múltiples propósitos, como por ejemplo la toma de decisiones en estudios de riesgo de erosión en la zona de sierra cercana a la ciudad de Puerto Vallarta y como investigación de alternativas de uso del territorio en zonas agrícolas.

REFERENCIAS

- Castro, M. De, C. Gallardo, K. Jylha and H. Tuomenvirta (2007), “The use of a climate-type classification for assessing climate change effects in Europe from an ensemble of nine regional climate models”, *Climatic Change*, no. 81, pp. 329-341.
- Cupul Magaña, F. G. (2001-2002), “Bahía de Banderas: un escaparate para la contemplación de las aves”, *Revista Mexicana*, vol. 3, no. 1-2, pp. 45-58.
- Dole Randall, M. (2006), “Linking weather and climate”, *Allen Press • DTP Pro System*, vol. 33, no. 55, cap. 15, pp. 297-348.
- ERIC III, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) (2006), banco de datos histórico nacional del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), contenida en la base de datos CLICOM tal como se encontraba en agosto 2005.
- Essenwanger, O. M., (2001), *Classification of Climates, World Survey of Climatology 1C, General Climatology*, Elsevier, Amsterdam.
- García, E. (1988), *Modificaciones al Régimen de Clasificación Climática de Köppen*, México.
- García, E. (2004), *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*, Serie Libros, núm. 6, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Higgins R., W., A. Douglas and A. Hahmann (2002), “Progress in Pan American CLIVAR Research: the North American Nonsoon System”, *Atmósfera*, no. 16, pp. 29-65.
- Hutchinson, M. F. (1995), “Interpolating mean rainfall using thin plate smoothing splines”, *International Journal of Geographical Information Systems*, no. 9, pp. 385-403.
- IMTA (1998), *Meteorología y fenómenos meteorológicos*, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.
- INEGI (2011), *continuo mexicano de elevaciones CEM 2.0*, consultado el 16 de mayo de 2011. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/Descarga.aspx>
- Kotteck, M., J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf and F. Rubel (2006), “World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated”, *Meteorologische Zeitschrift*, vol. 15, no. 3, pp. 259-263.
- Lohmann, U., R. Sausen, L. Bengtsson, U. Cubasch, J. Perlwitz and E. Roeckner (1993), “The Köppen climate classification as a diagnostic tool for general circulation models”, *CLIMATE RESEARCH*, vol. 3, pp. 177-193.
- Medvenovic', J., J. Milkovic' and M. Tomaic' (2009), “Some weather and climate features of Krasno and the surrounding area”, *Sumarski List*, vol. 133, no. 11/12, pp. 613-622.

- Ninyerola, M., J. Pons and J. M. Roure (2000), "A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation", *International Journal of Climatology*, 20, pp. 1923-1841.
- Ramírez Delgadillo, R. y F. G. Cupul Magaña (1999), "Contribución al conocimiento de la flora de la Bahía de Banderas, Nayarit-Jalisco, México", *Ciencia ergo sum*, vol. 6, núm. 2, pp. 135-146.
- Rubel, F. y M. Kottek (2010), "Observed and projected climate shifts 1901–2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification", *Meteorologische Zeitschrift*, vol. 19, no. 2, pp. 135-141.
- Te Chow, V., D. R. Maidment and L. W. Mays (2000), "Hidrología aplicada", Editorial Nomos, Bogotá, Colombia.
- Webster, P. J. (1987), in Fein, J. S. and P. L. Stephens (eds.), *The elementary monsoon. Monsoons*, John Wiley & Sons, pp. 3-32.
- Whiteman, C. D. (2000), *Mountain meteorology: fundamentals and applications*, Oxford University Press.

ANEXO 1

Coefficiente de Correlación (Pearson), r_{xy} .

Se aplica a variables cuantitativas y es un índice que mide el grado de co-variación entre distintas variables relacionadas linealmente, los valores oscilan entre -1 y +1. El valor 0 significa nula correlación, +1 significa fuerte correlación directa, -1 significa fuerte correlación inversa.

$$r_{xy} = \frac{\frac{\sum XY}{N} - \bar{X}\bar{Y}}{S_x S_y} \quad (5)$$

- x = valores de la variable altitud en msnm.
 y = valores de la variable temperatura en °C.
 \bar{x} = media de x.
 \bar{y} = media de y.
 S_x = desviación estándar de x.
 S_y = desviación estándar de y.
 N = número de registros.

ANEXO 2

Coefficiente de Determinación corregido por el número de grados de libertad, aplicado para validar la Regresión Múltiple.

$$\bar{R}^2 = 1 - (1 - R^2) \left[\frac{n-1}{n-(k+1)} \right] \quad \bar{R}^2 \leq R^2 \quad (6)$$

\bar{R}^2 = coeficiente de determinación corregido por el número de grados de libertad.

R^2 = coeficiente de determinación.

n = número de observaciones.

k = número de variables.

ANEXO 3

Tabla 4. Promedios anualizados de temperatura y precipitación y cálculo de índices para la Clasificación

ID	Ciudad	Temperatura Promedio anual en °C	Precipitación acumulada anual en mm	Mes más cálido	TC en °C	Mes más frío	TF en °C	OS	Mes más lluvioso	Valor en mm	Mes más seco	Valor en mm	P/T	CCK-EG
1	Puerto Vallarta	26.0	1405.2	ago	28.7	ene	22.9	5.8	sep	336.1	abr	4.8	54.1	Aw ₁ (w)(i')w''
2	San José del Valle	27.9	1035.6	ago	30.7	ene	24.5	6.2	ago	265.9	abr	0.1	37.2	Aw ₀ (w)(i')
3	Tomatlán	26.4	831.3	jul	28.8	feb	23.8	5.3	sep	204.3	may	3.4	31.5	Aw ₀ (w)(i')w''
4	San Juan de Abajo	24.9	1128.5	jun	27.9	ene	21.3	6.6	sep	304.5	abr	1.2	45.3	Aw ₁ (w)(i')
5	Gaviores	26.1	1586.3	jun	28.8	ene	22.9	6.0	sep	393.6	abr	5.0	60.8	Aw ₂ (w)(i')
6	Desembocada	26.1	1071.8	jun	28.7	ene	22.5	6.3	sep	260.3	mar	4.3	41.1	Aw ₀ (w)(i')w''
7	Valle de Banderas	25.9	1027.8	jul	28.8	ene	22.5	6.3	ago	291.3	may	6.6	39.7	Aw ₀ (w)(i')
8	El Cuale	22.6	1635.0	sep	25.7	ene	19.2	6.5	sep	448.5	may	5.1	72.3	Aw ₂ (w)(i')
9	Cajón de Peña	25.7	1317.7	jun	28.4	ene	22.6	5.9	sep	329.3	mar	3.4	51.3	Aw ₁ (w)(i')w''
10	Cabo Corrientes	25.6	900.0	jul	28.3	mar	23.0	5.6	sep	264.3	abr	1.0	31.2	Aw ₀ (w)(i')
11	El Bramador	25.3	1968.4	jun	28.0	ene	22.2	5.8	jul	501.0	abr	1.0	77.9	Aw ₂ (w)(i')w''
12	El Tuito	22.4	1782.8	jun	24.9	ene	19.0	6.0	sep	448.0	abr	5.8	79.8	Aw ₂ (w)(i')
13	Talpa de Allende	20.8	1014.2	jun	23.9	ene	16.7	7.2	jul	246.6	mar	9.9	48.8	(A)Ca(w ₁)(w)(e)
14	Mascota	21.4	939.6	jun	24.2	ene	18.0	6.2	jul	225.9	abr	4.6	43.9	(A)Ca(w ₁)(w)(i')
15	Mascota2	20.9	996.5	jun	24.1	ene	17.0	7.1	jul	236.1	abr	4.1	47.6	(A)Ca(w ₁)(w)(e)
16	San Sebastián	18.8	1348.0	jun	20.7	ene	16.3	4.5	jul	368.2	mar	5.6	71.6	(A)Cb(w ₂)(w)i
17	Corrinchis	18.6	1185.7	jun	22.1	ene	14.2	7.9	jul	277.7	abr	5.1	76.6	(A)Ca(w ₂)(w)(e)