

Este trabajo presenta las características de modelación de condiciones climáticas en el estado de Puebla, los resultados han sido comparados con mediciones satelitales y se han obtenido resultados muy importantes para contribuir a las Ciencias Atmosféricas en el Estado de Puebla.

Las condiciones atmosféricas para el Estado de Puebla, están relacionadas con el sistema volcánico compuesto por el Popocatepetl e Iztaccíhuatl, está en la mesa central de la República Mexicana entre los 18°45' y 19°15' latitud Norte con una orientación Norte-Sur, además de la Malintzi al Noreste de la capital del Estado.

Los factores meteorológicos que afectan la región son: ondas tropicales u ondas del Este, ciclones tropicales y por último los frentes fríos o invasión de aire polar.

Las ondas tropicales son ondulaciones de la corriente básica de los alisios, se desplazan de Este a Oeste a una velocidad media de 15 km/h, produce movimiento ascendente con nubes de gran desarrollo vertical y fuertes precipitaciones, se presentan entre los meses de junio a octubre y con mayor frecuencia en el mes de agosto.

Los ciclones tropicales son la circulación de huracanes por las costas del Golfo o las costas del Océano Pacífico, introducen humedad a la región y en algunas ocasiones se internan provocando lluvias persistentes y aguaceros. La estación de huracanes es de mayo a octubre, siendo septiembre el mes con más recurrencia de estos sistemas meteorológicos.

Los frentes fríos son masas de aire polar continental, los efectos de estos sistemas en la región se traducen en un descenso brusco de temperatura acompañado en algunas ocasiones de precipitación pluvial.

Para modelar y graficar el comportamiento de estos fenómenos, se utilizó la información de temperatura media mensual y lluvia mensual de 24 estaciones climatológicas publicada en las normales climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional.

## Tipo de clima según la clasificación de Köppen modificada por García

La variación del clima en las zonas montañosas o llanuras de altitud superior a los 800 m o 1000 m depende de la altitud, de la latitud y de la exposición a los vientos húmedos.

El clima ET (clima frío), se caracterizan por tener una temperatura media anual entre -2° y 5 °C, se encuentran entre las curvas de nivel de 4000 m y 5272 m; en este rango de altitud se considera que la temperatura es de 0 °C en los meses más calientes del año, por lo que la continua formación de hielo impide el desarrollo de vegetación (véase figura 1 y 2).

El clima EF (clima muy frío), también conocido como de nieves perpetuas, tiene una temperatura media anual menor de -2 °C, están a una altitud mayor de 5272 m.

Descendiendo en altitud después de los 4000 m está el clima C(w' '2)(w) semifrío subhúmedo con lluvias en verano, temperatura promedio mensual mayor de 10 °C. Después de este clima y rodeando los volcanes a una altitud de 2500 m está el clima C(w' '2)(w)(b') semifrío húmedo, cuyo límite térmico superior son los 12 °C de temperatura media anual, y el inferior de 5 °C, con más de cuatro meses con temperatura promedio de 12 °C y temperatura media del mes más caliente de 22 °C. La vegetación predominante son los bosques de oyameles (ver figura 3).

Al Oriente como al Poniente se observan los climas: C(w' '2)(w) templado subhúmedo con verano fresco largo, lluvia anual mayor a los 55.3 mm por cada grado de temperatura media anual; el C(w' '1)(w) templado subhúmedo con verano fresco largo, lluvia anual entre 43.2 y 55.3 mm por cada grado de temperatura media anual, y finalmente el clima tipo C(w' '0)(w) templado subhúmedo con verano fresco largo, lluvia anual menor a 43.2 mm por cada grado de temperatura media anual.

Las comillas en la letra w representa la presencia de canícula, el símbolo i (isotermal) menos de 5 °C día

oscilación térmica e (i') con poca oscilación entre 5 y 7 °C de oscilación térmica.

Hacia el Suroeste están los climas (A)C semicálidos del grupo C, A(C) semicálidos del grupo A, hasta el grupo Aw' '0(w) (i') cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22 °C y con poca oscilación térmica.

Esta variación del clima en las laderas sureste y suroeste es el efecto de la exposición directa a los vientos procedentes del Océano Pacífico y Golfo de México que en verano son cálidos y húmedos.

## Radiación Solar

El sol provee alrededor del 99.71% de la energía calorífica requerida para los procesos físicos que se presentan en la atmósfera, cada minuto es radiada una cantidad de calorías de energía denominada constante solar.

La constante solar es normalmente conocida como el flujo de la radiación solar en la alta atmósfera recibida sobre una superficie en forma perpendicular a la distancia media tierra sol.

La constante solar para el Estado de Puebla podemos denominarla por S:

$$S = \frac{56 \times 10^{26} \text{ cal/min}}{4\pi(1.5 \times 10^{13} \text{ cm})^2} = 2.0 \text{ cal/cm}^2 \text{ min}$$

Siendo  $56 \times 10^{26}$  cal/min la energía que el sol irradia en su superficie, por su temperatura que es alrededor de 5 750 °C.

$1.5 \times 10^{13}$  cm es la distancia media tierra sol.

1 Langley = ly = 1 cal/cm<sup>2</sup>

Si esta energía es uniformemente rociada sobre la superficie de la tierra, la cantidad recibida por unidad de área y tiempo en la alta atmósfera es:

$$Q_s = \frac{\pi a^2 S}{4\pi a^2} = 0.5 \text{ ly/min}$$

a = radio terrestre =  $6.37 \times 10^8$  cm

La energía solar total interceptada por la tierra en unidad de tiempo es: St

$$St = \pi a^2 S = 2.55 \times 10^{18} \text{ cal/min} = 3.67 \times 10^{21} \text{ cal/día}$$

Si  $3.67 \times 10^{21}$  cal/día = k

La energía liberada por un ciclón sería =  $1 \times 10^{-3}$  de k

La energía liberada por un huracán sería =  $1 \times 10^{-4}$  de k

La energía liberada por una bomba nuclear sería =  $1 \times 10^{-8}$  de k

La energía liberada por una lluvia moderada sería =  $1 \times 10^{-8}$  de k

Si se considera la radiación solar que llega a la alta atmósfera, como el 100%, primeramente se dispersa, el 16% es absorbida por la atmósfera, el 1% lo absorben las nubes; la tierra absorbe el 26% como radiación directa, 14%, como radiación difusa y un 11% como radiación dispersa, el 25% es devuelta al espacio exterior por nubes y polvo y 7% reflejada por la superficie terrestre conocida como albedo. Todas estas cantidades varían de acuerdo al ángulo de incidencia de los rayos solares así como de la nubosidad, estación del año, latitud, etc.

## Metodología para calcular la temperatura reducida

Suponiendo que se desea calcular la temperatura reducida de la Estación A cuya altura es de 2320 m sobre el nivel del mar (recordemos que la ciudad de Puebla tiene una altitud sobre el nivel del mar de 2162 m), y presenta una temperatura media anual de 16.4 °C, se aplicará la siguiente fórmula:

$$T_R = (h \times gt) + t$$

Donde  $T_R$  = Temperatura reducida

H = Altitud en m

gt = Gradiente térmico normal

t = Temperatura de la estación.

Sustituyendo valores:

$$T_R = (2320 \text{ m} \times 0.0065) + 16.4 = 31.48 \text{ °C}$$

Por lo tanto 31.48 °C es la temperatura de la estación A si estuviera al nivel del mar.

El valor del gradiente térmico normal no se aplica cuando se trabaja con precisión en estudios regionales por lo que a veces es necesario calcular dicho gradiente procediéndose de la manera siguiente:

Suponiendo que se tiene una estación A cuya altitud es de 1050 m con una temperatura de 18.5 °C y otra estación B a una altura de 128 m y una temperatura de 23.8 °C. Se desea conocer el gradiente entre la estación A y B.

Primero se determina la diferencia de altura entre las estaciones y la diferencia de temperaturas.

$$\text{Diferencia de temperatura} = 23.8 - 18.5 = 5.3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Diferencia de altura} = 1050 - 128 = 922 \text{ m}$$

Esto indica que en 922 m la temperatura varía 5.3 °C por lo tanto en 1 m variará:

$$922 \text{ m} - 5.3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$1 \text{ m} - x = \frac{5.3}{922} = 0.0057483 \text{ }^\circ\text{C/m}$$

El valor 0.0057483 °C/m es el gradiente térmico entre las estaciones A y B.

Este valor nos sirve para calcular temperaturas o alturas que se encuentren entre los puntos A y B.

Por ejemplo, nos interesa saber la temperatura del punto Z del cual sólo se conoce la altura y se encuentra localizado ente los puntos A y B.

La altura del punto es de 649 m.

Se determina la diferencia de altura entre A y Z o entre B y Z, lo tomaremos entre A y Z lo que da:

$$\text{Diferencia de altura entre A y Z} = 1050 - 649 = 401 \text{ m.}$$

Note que se pasa de un lugar alto a un bajo.

Si en un metro la temperatura varía 0.0057483 °C en 401 m variará:

$$401 \times 0.0057483 = 2.3050683 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Este valor se le suma a la temperatura del punto a debido a que se pasa a un lugar más bajo lo que ocasiona que la temperatura sea mayor.

Por lo que la temperatura calculada con el gradiente del punto Z será:

$$18.5 \text{ }^\circ\text{C} + 2.3 \text{ }^\circ\text{C} = 20.8 \text{ }^\circ\text{C.}$$

La constante solar o radiación solar recibida sobre una superficie en forma perpendicular es:

$$S = \frac{56 \times 10^{26} \text{ cal/min}}{(4)(\pi)(1.5 \times 10^{13} \text{ cm})^2} = 2.0 \text{ cal/cm}$$

Donde:

56 x 10<sup>26</sup> cal/min.- Energía que irradia el sol en su superficie (aproximadamente de 5750 °C)

1.5 x 10<sup>13</sup> cm.- Distancia media Tierra - Sol.

La cantidad de energía recibida por unidad de área y tiempo en la atmósfera es (ver figura 4):

$$Q_s = \frac{(\pi)(a^2 \times S)}{(4)(\pi)(a^2)} = 0.5 \text{ ly/min}$$

$$1 \text{ Langley (ly)} = 1 \text{ cal/cm}^2$$

Donde:

$$a.- \text{Radio terrestre} = 6.37 \times 10^8 \text{ cm}$$

La energía solar total interceptada por la Tierra en unidad de tiempo es St

$$St = \pi \times a^2$$

$$S = 2.55 \times 10^{18} \text{ cal/min} = 3.67 \times 10^{21} \text{ cal/día}$$

La energía liberada por una lluvia moderada (10 mm) será:

$$1 \times 10^{-8} \text{ cal/día}$$

$$\text{cal/día} = K$$

El gradiente térmico normal para la región de Puebla es:

$$\text{GTN} = 0.0065 \text{ }^\circ\text{C por metro}$$

El calentamiento del aire es medido de la superficie del suelo hacia arriba (la temperatura del aire disminuye con la altura)

$$1 \text{ ha} = 10,000 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ km} = 1,000,000 \text{ m}^2$$

La resolución por píxel en una imagen satelital HRPT o APT es de 1.1 km<sup>2</sup>, es decir 110 ha.

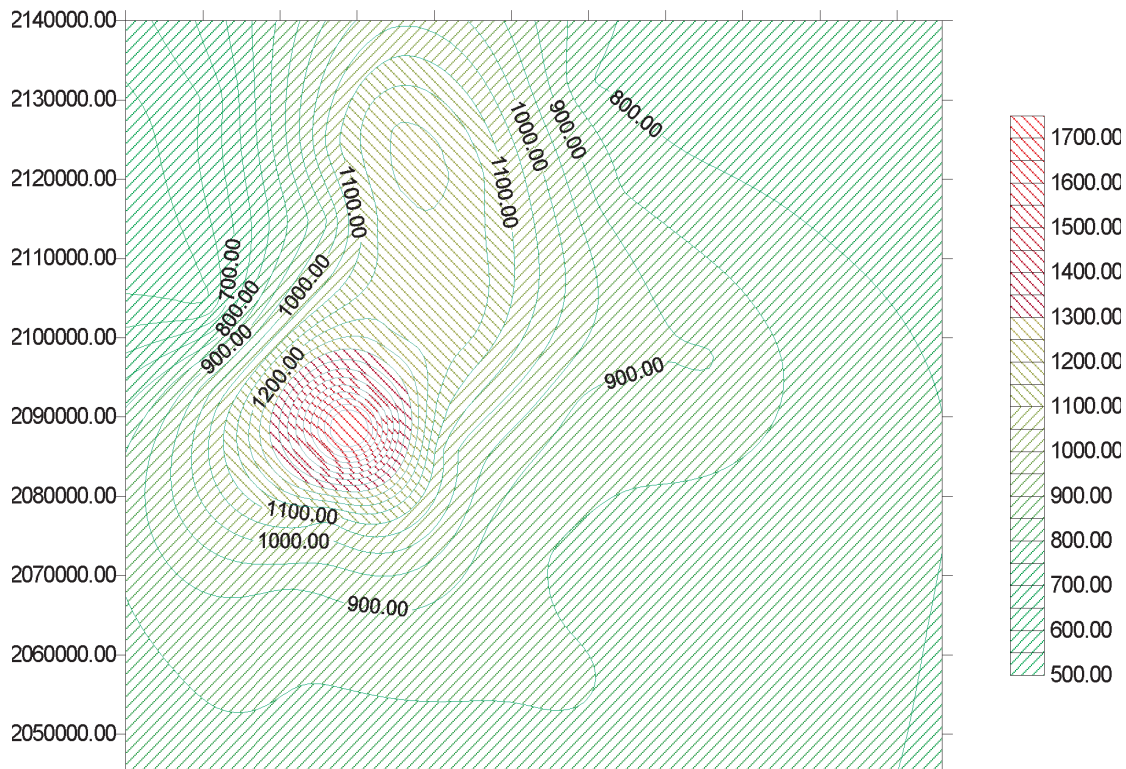


Fig. 1. Acumulación en milímetros de precipitación pluvial.

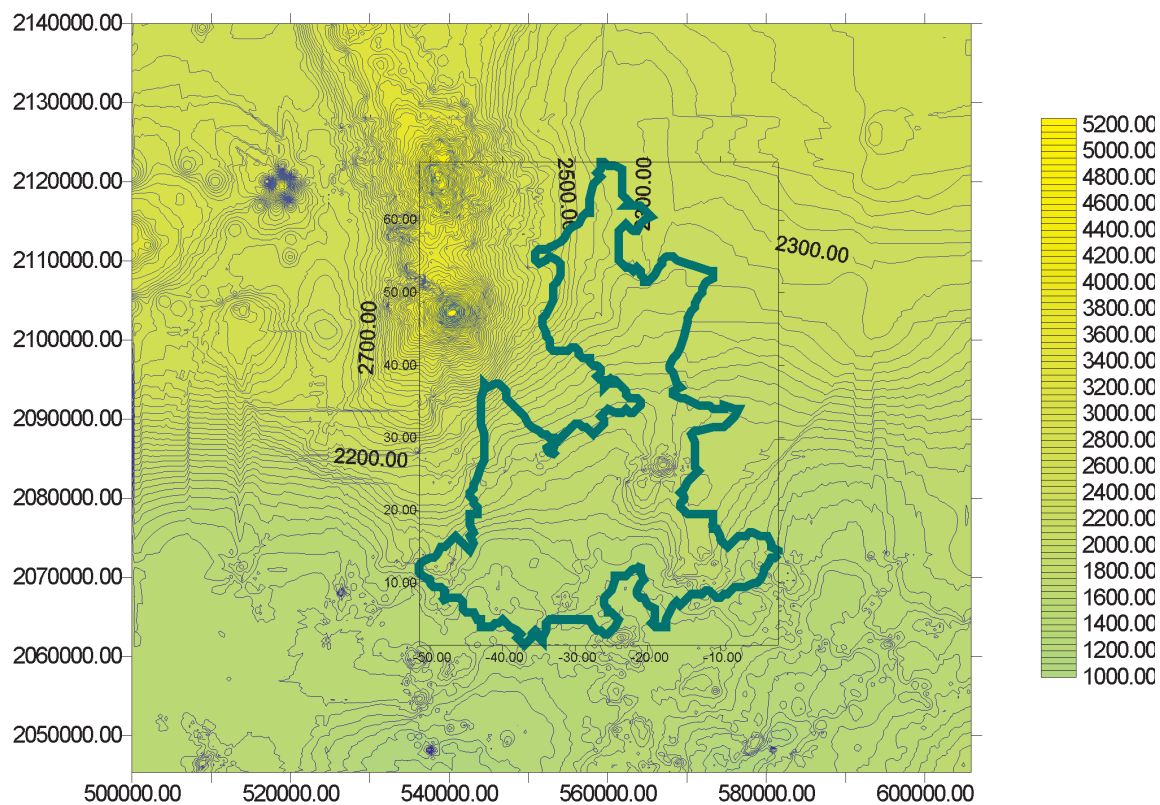


Fig. 2. Distribución de la altitud en el Estado de Puebla

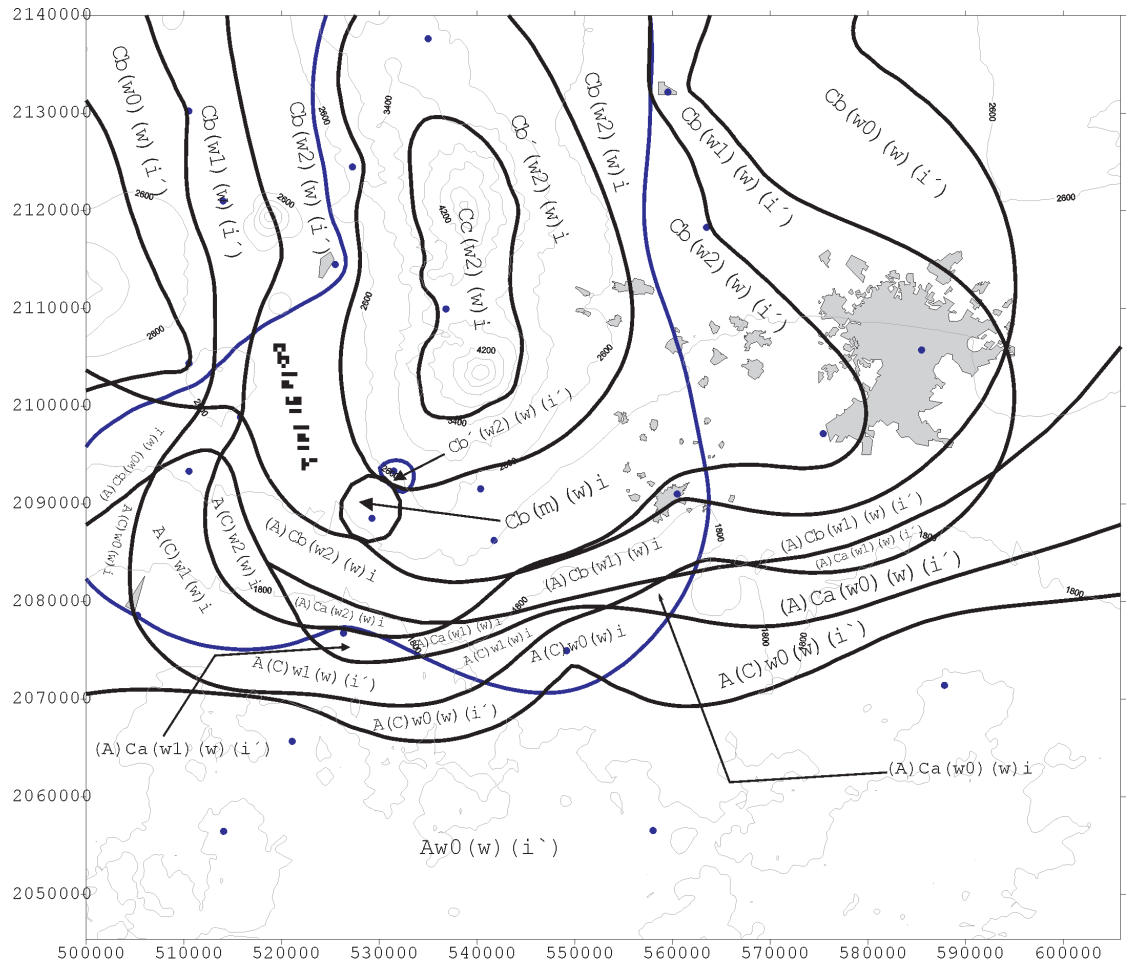


Fig. 3. Fig. 3. Zonificación de los diferentes tipos de climas en el estado de Puebla. La ciudad mantiene una distribución media de los climas: desde (A)C semicálidos hasta  $Aw_0(w)(i')$  cálido subhúmedo, con una temperatura media anual de 24 °C

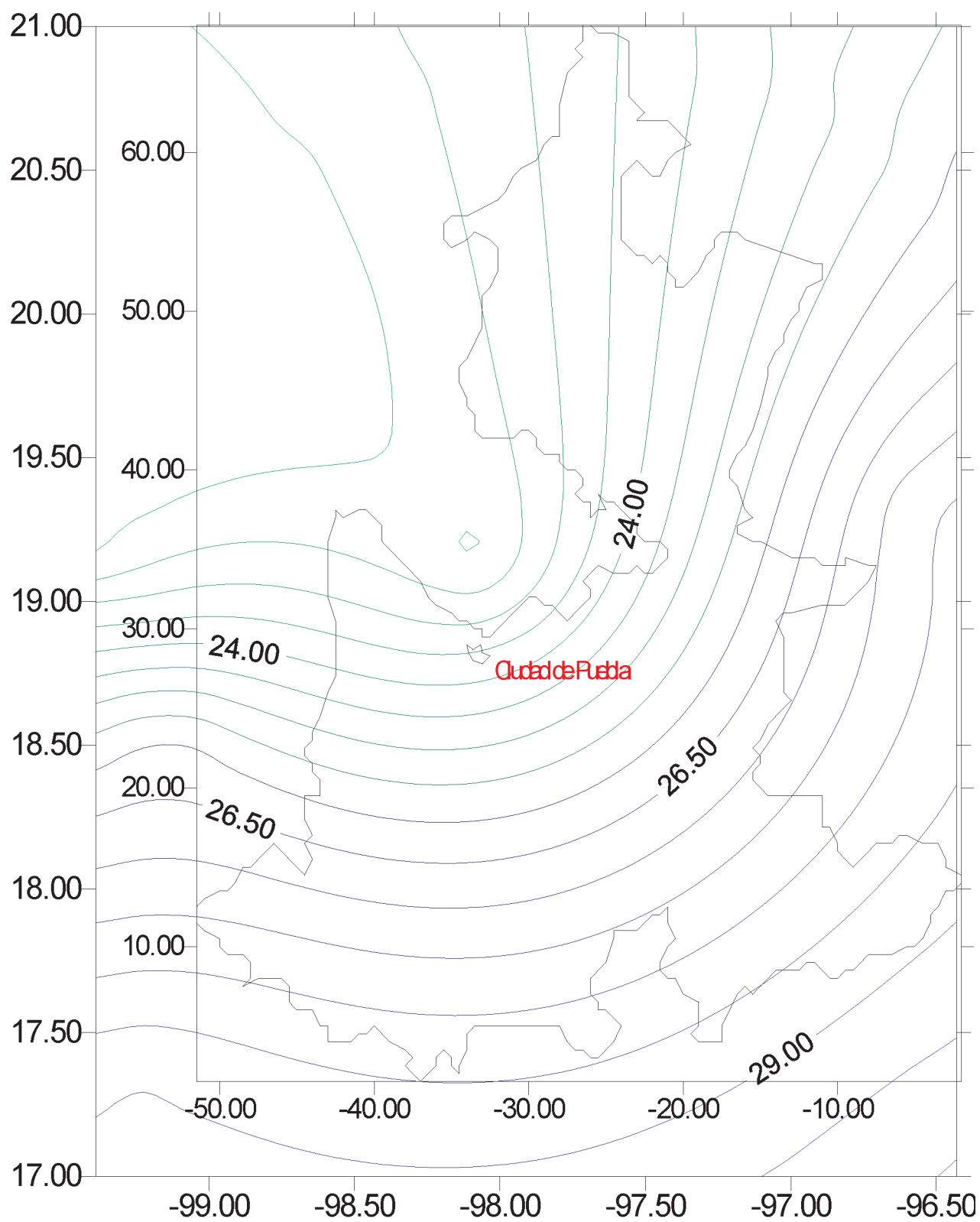


Fig. 4. Digitalización de las Isotermas en el Estado, la capital de Puebla con un rango promedio de 25 °C en Primavera.

## Bibliografía

CAMPBELL, R.

1996 Introduction to Remote Sensing. pp. 20-59.

GALILEI, A.

1998 Esa/Esrin

GODMAN, P.

1998 Principles of Geographical Information Systems For Land Resources.

LIRA, J.

1987 La Percepción Remota: Nuestros Ojos Desde el Espacio. CONACyT.

LENNON, R.

1999 Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction.

Rogelio Ramos Aguilar<sup>1</sup>

Alejandro Rivera Domínguez<sup>2</sup>

Raúl Mayorga Rapozzo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Puebla: Carrera de Electricidad y Electrónica Industrial

<sup>2</sup>Secretaría de Gobernación: Estación Terrena de Satélites

<sup>3</sup>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla: CUPREDER