

3. DESCRIPCIÓN METODOLOGICA

Para evaluar los efectos del cambio climático, se caracterizó el clima del país con el Sistema de Clasificación Climática de Thornthwaite modificado (Dunne, 1978), aplicando los escenarios obtenidos por Magaña et al. (2000) a partir de Modelos de Circulación General de la atmósfera para las 18 regiones climáticas definidas por A. Douglas (2001).

Las salidas interpoladas de los GCMs empleados fueron la del Geophysical Fluids Dynamics Laboratory (GFDL-R30) y la del Canadian Climate Centre (CCC) ambos usados en el marco del programa de Estudio de País, estos modelos son atmosféricos, es decir, el océano y la atmósfera no interactúan durante el experimento (Magaña et al., 1997).

A. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE C.W. THORNTHWAITE.

Considera un nuevo concepto en la clasificación climática, como es la eficiencia de los parámetros meteorológicos precipitación y temperatura. La evaluación del primero se determina a través de un balance de humedad con la finalidad de determinar que tan seco o que tan húmedo es el clima en relación con el crecimiento de las plantas. En la evaluación del segundo parámetro se estima que tan caliente o que tan frío es el clima para el crecimiento de las plantas.

Para cada parámetro se calcula un valor global así como las variaciones estacionales, por lo que se usan cuatro valores que corresponden a los cuatro símbolos de la fórmula climática, como se muestra a continuación: **B4 r C1' c2**

Los dos primeros (B4,r) corresponden a la eficiencia de la precipitación, siendo el primero (B4) el valor global y el segundo (r) la variación estacional o distribución de la eficiencia a través del año, los dos últimos (C1',c2') corresponden a la eficiencia de la temperatura con similar significado en cuanto al valor global anual (C1') y la variación estacional (c2'), resultando en un modelo de clasificación climática casi completamente racional.

Eficiencia de la temperatura. La influencia de la temperatura en la vegetación se expresa como la reacción de las plantas a la energía disponible, misma que es considerada como la cantidad de evapotranspiración dado que este parámetro esta directamente relacionado con el crecimiento de las plantas. Entonces la cantidad de evapotranspiración potencial se usa como el índice para la eficiencia de la temperatura, misma que se expresa como milímetros de agua.

Eficiencia de la precipitación. Depende de la sequía o el déficit de agua para el crecimiento de las plantas y de las demasías de agua disponible para el escurrimiento. Estos parámetros se calculan a través de un balance de agua en el cual la precipitación se considera como la entrada de agua y la evapotranspiración potencial como el agua que aporta la superficie terrestre a la atmósfera bajo condiciones de disponibilidad de agua superficial y en una superficie con cubierta vegetal. Así mismo se determina la evapotranspiración actual que corresponde a la cantidad de agua total que aporta la superficie terrestre a la atmósfera de acuerdo a la disponibilidad de agua que se tiene. Otro aspecto considerado es el escurrimiento o demasías que se tienen para que al final del balance de humedad la eficiencia de la precipitación se exprese en términos de déficit de agua para el crecimiento de las plantas y de demasía de agua disponible para el escurrimiento, lo cual da origen a índices que se utilizan para la clasificación climática.

El sistema considera además la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo, que es la cantidad máxima de agua disponible en las capas del suelo ocupados por las raíces y que puede ser tomada por las mismas cuando la planta lo requiera para la evapotranspiración. Las unidades que se usan son mm o $l\ m^{-2}$. La capacidad de almacenamiento del suelo es partiendo de la situación de un punto de marchitez permanente hasta capacidad de campo. Este parámetro depende de la textura del suelo y de la vegetación o cultivo, lo que se muestra en el cuadro siguiente:

Capacidad de almacenamiento de humedad del suelo

Textura/Usos	1	2	3	4	5	Usos:
Gruesa	62.5	112.5	125	200	275	1. Hortalizas, Frijól, Chicharo
Media	112.5	200	250	275	400	2. Maíz, Tabaco, Cereales
Fina	75	150	200	200	350	3. Arbustos, Pastizales 4. Árboles, bosque o selva 5. Selva alta, bosque cerrado.

B. REGIONES CLIMÁTICAS DE DOUGLAS.

Las regiones climáticas definidas para México por el Dr. Arthur Douglas fueron obtenidas a partir de información mensual de 280 estaciones meteorológicas para precipitación y 92 estaciones meteorológicas para temperatura.

Los límites para cada región fueron establecidos con base en la densidad de estaciones observadas. Se partió de estaciones que contaban con información de más de 15 años y todos los datos de toda la información disponible fue analizada de acuerdo al siguiente criterio: 1) similitud en rangos de pendiente y elevación sobre el nivel del mar de cada estación, 2) mínimo de información para cada estación de un 95% para el periodo comprendido entre 1947-1988, y 3) total anual de lluvia dentro de un margen de 20% dentro de la media anual.

El criterio seguido fue similar al usado por Englehart y Douglas (1985) para el desarrollo de 60 regiones para los Estados Unidos, logrando definir 18 regiones para México.

Finalmente, fue necesario corregir los linderos propuestos por Douglas (Gómez, 2002) ya que se encontraron deficiencias en cuanto a la variabilidad fisiográfica dentro de los límites entre cada región.

C. MODELOS DE CIRCULACIÓN GENERAL DE LA ATMÓSFERA.

Las salidas interpoladas de los GCMs empleados fueron la del Geophysical Fluids Dynamics Laboratory (GFDL-R30) y la del Canadian Climate Center (CCC).

El modelo GFDL-R30 tiene una resolución espacial de 2.22° de latitud por 3.75° de longitud, lo que define una malla con 96x80 puntos. Tiene, además, 9 niveles verticales de altitud y arroja un incremento en la temperatura promedio de +4°C, para condiciones de duplicación de CO₂.

El modelo CCC tiene una resolución de 3.75° de latitud por 3.75° de longitud, con 10 niveles en la vertical y un total de 96x48 puntos de malla y pronostica un incremento global promedio de 3.5 °C en la temperatura para las mismas condiciones de incremento de CO₂ (Magaña, et al., 2000).

Cuando se comparan las anomalías climáticas en la temperatura y en la precipitación proyectadas por cada modelo, se advierte que difieren tanto en la magnitud como en escritura espacial. El modelo GFDL-R30 predice grandes cambios positivos, tanto en temperatura como en precipitación, especialmente en verano. Para el modelo CCC, se obtuvieron incrementos menores en temperatura y en general, decrementos en precipitación, pero en ambos modelos se aprecian cambios en la magnitud de las anomalías con la latitud, sobre todo en la temperatura (Magaña et al. (2000).

Los GCMs atmosféricos utilizados no incluyeron el efecto que los cambios en la temperatura de superficie del océano producen sobre el clima. Magaña y Quintanar (1995), han mostrado que la variabilidad interanual en la temperatura de superficie del océano, en la parte central del Pacífico Oriental, modula la variabilidad interanual de la precipitación en la mayor parte de México. Por lo tanto, los escenarios de precipitación, dentro del contexto del cambio climático, carecen de uno de los elementos importantes, lo que explica las diferencias substanciales de las salidas de ambos modelos.

La baja resolución de los GCMs usados no permite una simulación apropiada de los efectos regionales y/o locales, cuya área depende, en gran medida, de factores como topografía y uso del suelo. El método más completo físicamente para estudios de clima regional ha sido propuesto por Giori (1990), este método incluye el uso de un modelo de meso escala o de área limitada, anidado dentro de un GCM. De este modo, el GCM provee las condiciones de gran escala y el modelo de área limitada, con alta resolución espacial, genera la circulación de meso escala que puede ser asociada más adelante con el clima regional. Actualmente, el método se desarrolla en el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM (Magaña et al., 2000)

D. APLICACIÓN DEL SISTEMA.

Se partió de los mapas de precipitación media anual y temperatura media anual escala uno a un millón del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), determinándose áreas de influencia de precipitación y temperatura. Fueron ubicadas las estaciones meteorológicas en dichas áreas para utilizar su información en el cálculo del clima.

Para las áreas de influencia de precipitación y temperatura en los que no se encontró estación meteorológica, se estimaron los valores mensuales de temperatura y precipitación usando modelos desarrollados para cada zona climática. Para el caso de la precipitación se utilizaron los mapas de los estados (INEGI) para que en función de la circulación general de los vientos en cada zona y relacionando la vegetación en el espaciograma, se estimó la precipitación mensual.

Definidas las áreas y establecidos sus parámetros de precipitación y temperatura, se sobrepuso el mapa Edafológico así como el mapa de Uso de Suelo y Vegetación a similar escala para establecer las diferentes capacidades de almacenamiento de humedad del suelo y poder caracterizar el clima.

Una vez caracterizado el clima de la República Mexicana, se sobrepuso el mapa de regiones climáticas de Douglas, definiéndose las 18 zonas de influencia climática. A cada zona de influencia climática se le aplicaron los cambios en temperatura y las razones de cambio en precipitación señalados por cada modelo de cambio climático aplicado.

Con base en lo anterior se obtuvo un mapa de las zonas climáticas actuales del país, además de dos escenarios climáticos futuros, señalados en el presente documento como clima anual del país, tanto actual como futuros.

Debido al interés y la necesidad de ambas instituciones por contar con mayor información climática del país, se amplió la cartografía antes mencionada en dos periodos definidos por García (1988), como mitad fría del año y mitad

caliente del año. La mitad fría del año abarca el periodo comprendido entre los meses de noviembre a abril, mientras que la mitad caliente del año se refiere al periodo comprendido entre los meses de mayo a octubre.

Se definió entonces un escenario climático anual, un escenario climático para la mitad fría del año y un escenario climático para la mitad caliente del año. Lo anterior para las condiciones actuales (Thornthwaite modificado); para el escenario norteamericano (GFDL) y para el escenario canadiense (CCCM).

Finalmente y con base en los nueve escenarios señalados anteriormente, se obtuvo la cartografía para 18 estados de la República.