

03060



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

---

---

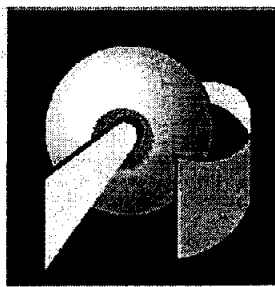
**POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

**ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA  
URBANIZACION Y CAMBIO DE USO DE  
SUELOS EN EL CLIMA Y CALIDAD DEL AIRE.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS  
(Física de la Atmósfera)**

**P R E S E N T A:  
I.Q. JOSE ABRAHAM ORTINEZ ALVAREZ**



MEXICO, D.F. NOVIEMBRE 2005



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>HIPÓTESIS CENTRAL .....</b>	<b>4</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
GENERAL.....	4
PARTICULARES .....	4
<b>OBJETIVOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>5</b>
<b>CAPITULO I DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO .....</b>	<b>6</b>
ANTECEDENTES .....	6
ESCENARIOS DE CRECIMIENTO URBANO .....	8
EL CLIMA URBANO.....	9
EL ACTUAL PATRÓN DE CRECIMIENTO URBANO .....	11
<b>CAPITULO II MODELADO DE CALIDAD DEL AIRE.....</b>	<b>12</b>
MODELO MCCM.....	12
LA METEOROLOGÍA DEL MCCM .....	13
DINÁMICA DEL MODELO .....	15
LA QUÍMICA DEL MCCM .....	19
<i>Química en la fase gaseosa</i> .....	19
FRECUENCIAS DE FOTOLISIS .....	22
EMISIONES BIOGÉNICAS .....	23
DEPOSITACIÓN SECA .....	23
<b>CAPITULO III DESCRIPCIÓN CLIMÁTICA DE ACAPULCO DE JUÁREZ.....</b>	<b>25</b>
<i>Temperatura media</i> .....	29
<i>Temperatura máxima</i> .....	30
<i>Temperatura mínima</i> .....	31
<i>Precipitación</i> .....	32
<i>Evaporación</i> .....	33
<i>Evapotranspiración</i> .....	34
<i>Humedad relativa</i> .....	34
<i>Radiación</i> .....	35
<i>Tormentas eléctricas</i> .....	36
<b>CAPITULO IV LA CONTAMINACIÓN FOTOQUÍMICA.....</b>	<b>37</b>
PRINCIPALES FUENTES CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DE ACAPULCO .....	37
LA QUÍMICA DEL SMOG FOTOQUÍMICO .....	38
EMISIONES DE LOS PRECURSORES DEL SMOG FOTOQUÍMICO .....	39
QUÍMICA DE LA PARTE BAJA DE LA TROPOSFERA .....	40
REMOCIÓN DE LOS ÓXIDOS DE NITRÓGENO.....	41
PRODUCCIÓN DE OZONO POR METANO.....	42

<b>CAPITULO V METODOLOGÍA Y RESULTADOS .....</b>	<b>43</b>
MÉTODO .....	43
<i>Escenarios Urbanos</i> .....	43
MODELO DE CALIDAD DEL AIRE .....	46
EMISIONES .....	46
OBSERVACIONES DE CAMPO .....	47
CALIBRACIÓN DEL MODELO .....	47
DATOS PARA INICIAR EL MM5 .....	50
SELECCIÓN DE LOS EPISODIOS DE SIMULACIÓN .....	56
CONDICIONES METEOROLÓGICAS Y DE CALIDAD DEL AIRE .....	57
RESULTADOS .....	59
<i>Gráficos de las simulaciones</i> .....	59
<i>Resultados de la Isla de Calor Urbana</i> .....	65
<i>Índice de Confort</i> .....	70
<i>Índice de Exposición potencial de Ozono</i> .....	74
<b>CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>76</b>
CONCLUSIONES .....	76
RECOMENDACIONES .....	77
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>78</b>

## Introducción

Este estudio incorpora el uso de modelos meteorológicos, de calidad del aire así como técnicas de geografía social por lo que tiene un carácter multidisciplinario. Haciendo uso de estas disciplinas se estudian los efectos del clima y calidad del aire de dos posibles crecimientos urbanos de Acapulco de Juárez, una las ciudades costeras más importantes de México. Acapulco, donde el turismo es la fuente principal de su economía, se ha expandido territorialmente y aumentado su población fuertemente en las últimas décadas. Haciendo uso de un modelo fotoquímico y meteorológico se evaluarán dos escenarios de crecimiento usando como variables la temperatura, humedad y niveles de exposición de la población a la contaminación por ozono.

En el año de 1940 la ciudad de Acapulco contaba con aproximadamente 100,000 habitantes, hoy en día es de 900,000. Esto ha propiciado un problema urbano y ambiental, en particular en la zona costera de Acapulco y Punta Diamante la cual está en proceso de urbanización en gran escala, y la ciudad comienza a ser un foco de contaminación atmosférica.

Para conocer los efectos en el clima y calidad del aire por el crecimiento de la población y la extensión urbana de Acapulco, se utilizó el modelo MCCM (Multiscale Climate and Chemistry Model) (Grell et al., 1994), capaz de reproducir el cambio en las variables climáticas así como el fenómeno de la contaminación fotoquímica en la región. Este modelo se le ha utilizado en estudios en varias partes del mundo en el Valle de México (Jazcilevich et al., 2001) y Chihuahua (Cortes, 2004). En este trabajo MCCM se aplica por primera vez en México en una zona costera.

Los escenarios de crecimiento urbano utilizados fueron construidos utilizando las proyecciones propuestas por el Plan Director Urbano de Acapulco de Juárez de 2000 (Gob Edo. Guerrero 2000). Estos fueron introducidos al modelo incorporando nuevos usos de suelo y sus respectivas emisiones antropogénicas precursoras del ozono. Para comparar los escenarios urbanos a partir de los correspondientes campos de temperaturas, humedad y concentraciones de ozono, se usaron índices como el de confort urbano y el de exposición potencial de la población a ozono. De esta manera, se desarrolló una metodología que permite comparar diferentes crecimientos urbanos desde el punto de vista climático y de calidad del aire. Las hipótesis fueron planteadas en base a las observaciones realizadas en campo, así como a los análisis de los propios antecedentes de la ciudad de Acapulco, los cuales llevan a plantearlos como siguen.

### **Hipótesis Central**

El crecimiento urbano produce cambios en el clima y calidad del aire de una ciudad en una zona costera.

### **OBJETIVOS**

#### ***General***

- Desarrollar una metodología basada en un modelo químico-meteorológico, para discernir a priori cual crecimiento urbano minimiza los cambios de clima y calidad de aire

#### ***Particulares***

- Comprender el efecto de la Isla de Calor Urbana en una zona costera (caso de estudio Acapulco de Juárez).
- Estudiar el efecto directo del cambio de uso de suelo en el clima y calidad del aire de la zona costera de Acapulco de Juárez.

## ***Objetivos Metodológicos***

- Comprobar la hipótesis planteada al problema
- Desarrollar un método de evaluación de escenarios urbanos con base en calidad del aire y clima local
- Centrar el problema a los límites físicos y temáticos de Acapulco de Juárez
- Aplicar de manera científica herramientas como el modelo MCCM (Multiscale Climate and Chemistry Model) para el análisis que permita demostrar y explicar las relaciones causa efecto entre la variables del problema

## Capítulo I Descripción del Caso de Estudio

### ***Antecedentes***

Uno de los 76 municipios del Estado de Guerrero es Acapulco de Juárez, el cual cuenta con una superficie de 1882.6 kilómetros cuadrados que representa el 2.6% de la superficie del estado y su litoral tiene 62 kilómetros que representan el 12.3% de la costa del estado.

El municipio de Acapulco colinda al norte con los municipios de Coyuca de Benítez, Chilpancingo y Juan R. Escudero; al este con San Marcos, al sur con el Océano Pacífico y el de Coyuca. Las coordenadas de ubicación del municipio son: 17° 14' al sur, 16° 41' de latitud norte, al oeste 99° 29', al oeste 100° 00' de longitud oeste. Existen otras tres ciudades de importancia en el estado: Chilpancingo, capital de estado que cumple funciones administrativas; Iguala centro agrícola industrial, Taxco antigua ciudad minera de gran afluencia turística.

La población de Acapulco en los tiempos de la llegada de Alejandro Humbolt (siglo XIX) (Bassols et al. 1979) era de 4000 habitantes a los que se sumaban otros tantos con la llegada de la Nao de China. En número no vario mucho sino un siglo después, cuando se abrió la carretera México-Acapulco.

La distribución de la población en la región se ha caracterizado por su desequilibrio, provocando excesiva concentración en la ciudad de Acapulco la cual crece, a partir de 1940, a un ritmo elevado. Sin embargo, nuevamente sobrevino un estancamiento, hasta que en los años 50's recupero su dinámica. La tendencia migratoria del área rural a la urbana se manifestó de manera creciente desde 1950 que inicia el despegue turístico de Acapulco. En 1950 la población rural de Acapulco representaba el 43.9%. Vemos que en el censo de 1960 encuentra una población de 50,000 habitantes en el puerto, un 60% fue lo que daba el anterior censo de población. Para ese momento, Acapulco era la ciudad más importante del estado a partir de ese momento, ya sobre cifras realmente significativas, el crecimiento de Acapulco se acelera, pasando de tener un incremento



anual de 5.6% en el período de 1950-1960 al de 13.5% en los diez años siguientes alcanzando la cifra de 174,378 habitantes.

En 1960 el anfiteatro<sup>1</sup> de Acapulco concentraba una gran cantidad de población de la zona metropolitana, en 1970 alcanza un 88.2% y se estima que en 1970, cerca del 50% de la población era inmigrante, disminuyendo para 1975 a 30%, el 80% de la población provenía del mismo estado de Guerrero. El Distrito Federal y Oaxaca aportaban principalmente la cuota de inmigrantes provenientes del interior del país.

En general los datos indicaban que si bien la tendencia a la concentración poblacional en Acapulco se inicio con claridad entre 1960 y 1970 fecha en que se situó en población entre la 15 principales ciudades del país. Dentro del municipio, es la ciudad de Acapulco la que daba cuenta del aumento en su importancia en la población del estado. Ya que paso de un 30% de población en 1930 a un 70% en 1970.

En 1970 la zona de la Emiliano Zapata-La Sabana alojaba al 5.3% de la población de la zona metropolitana y para 1987 con ciudad renacimiento cuadruplica su participación al alojar al 20%. La ciudad de Acapulco concentraba casi a la quinta parte del total de la población del estado de tal manera que la población fija en 1984 se estimaba aproximadamente en 800,000 habitantes, observándose una tasa de crecimiento anual del 7.7% durante el periodo de 1980-1984; en tanto lo población flotante, en el mismo periodo mostró una tasa de crecimiento anual negativo del 3.3%.

Las tendencias expuestas hacen suponer que entre 1970-1980 el ritmo de crecimiento poblacional de Acapulco debió acelerarse por lo menos en la misma proporción en que se aceleró el crecimiento del municipio y en una visión menos conservadora, seguramente mucho más. En 1980 la zona metropolitana de Acapulco alcanzo una población de 624,727 habitantes de los cuales el 82.6% se asentó en el anfiteatro.

---

<sup>1</sup> forma redonda u oval con población circúndate a la costera Miguel Alemán

La reubicación de la población asentada en las zonas altas a ciudad Renacimiento ocasionó con esta acción que el anfiteatro perdiera cerca de 68,000 habitantes que fueron trasladados a la zona de Emiliano Zapata-La Sabana en donde se ubica ciudad Renacimiento. Sin embargo, la falta de nuevas áreas urbanizadas propiciaron de nueva cuenta la ocupación de las partes altas del anfiteatro, que volvió a absorber la mayor parte de los incrementos de población, ya que se estimó que en 1987 la población de la zona metropolitana era de 977,917 habitantes, de los cuales 685,591 habitantes se asentaron en el anfiteatro, dicha zona continuó teniendo problemas de congestionamiento y desarticulación de la estructura urbana.

Para el año de 1993 la participación porcentual de habitantes dentro del anfiteatro representaba el 86.2% de la población dentro de la zona de estudio, la cual indicaba el aumento en la densidad de población en el anfiteatro, con lo que hubo una tendencia en el aumento de la cantidad de habitantes hacia las orillas de la zona de estudio, una muestra de eso fue el aumento de la participación de los extremos del área de estudio que paso de 8.9% en 1987 al 12.3% en 1993. En la ciudad de Acapulco según conteo de 1995, Acapulco con 592,576 habitantes, de los cuales 305,997 habitantes son mujeres, representando el 51.6% y 286,531 eran hombres representando el 48.4% para el año 1997 se estimo una población de 749,482 habitantes dentro de la zona de estudio (Gomezjara et al., 1976).

### ***Escenarios de crecimiento urbano***

Se propusieron dos diferentes distribuciones urbanas con la finalidad de estudiar los posibles efectos del clima y calidad del aire siguiendo los criterios propuestos por los planes directores urbanos. Para estudiar estos efectos las urbanizaciones se desarrollaron solo con distribución espacial, sin tomar en consideración la temporal.

Las diferencias más importantes entre los escenarios de urbanización, es el crecimiento de Punta Diamante, considerando los antecedentes de Acapulco, sabemos que la población que se ubica en el anfiteatro, fueron en su época gente que se dedicó a las actividades asociadas al turismo de la zona, así en este nuevo desarrollo se empieza

nuevamente a observar este crecimiento, pero con una dirección relativamente más ordenada.

Por lo anterior en este trabajo veremos dos escenarios una con un aumento de población hacia la zona de punta diamante y la otra orientada hacia la zona de renacimiento y la parte trasera del anfiteatro de Acapulco, en esta última se considera que la población seguirá su crecimiento en la zona ya que de acuerdo al plan director se dotará de más infraestructura urbana, generando nuevos asentamientos humanos.

### ***El clima urbano***

Estudios observados (Jáuregui et. al. 1993) han demostrado que el clima de las ciudades y de las áreas urbanas es significativamente diferente en comparación con las áreas rurales de los alrededores. El área urbana es generalmente más caliente, seco y con menos vientos, las propiedades atmosféricas contrastantes son básicamente el resultado de las diferencias en las características de las superficies de la tierra y las fuentes de contaminación.

En este sentido se nota que el área urbana es caracterizada por su enorme extensión, por sus calles pavimentadas (de asfalto y concreto), por sus edificios de concreto y sus enormes superficies. En contraste las áreas rurales poseen mucha vegetación, estas condiciones generan diferencias en la intensidad del calentamiento solar.

Este fenómeno se le conoce como la isla de calor urbana, esta se desarrolla mejor cuando los vientos prevalecientes son más ligeros y los cielos son muy despejados. Durante tales condiciones de temperatura urbana-rural se alcanzan diferencias hasta de 10 grados centígrados.

El efecto de la isla de calor urbana es un importante factor en el incremento de la lluvia sobre el área urbana y zonas adyacentes. Otro factor es la enorme fricción del aire en estas áreas urbanas, esto se debe al incremento en la rugosidad de la superficie de la tierra de las ciudades debido a las infraestructuras urbanas como son los edificios, estructuras y hasta la topografía. Estos dos factores generan movimientos ascendentes en el área urbana y sus alrededores, bajo condiciones favorables, los movimientos

ascendentes resultan en condensaciones, nubes y lluvias. Un tercer factor el cual puede contribuir al incremento de la lluvia es la generación de nubes de condensación en la atmósfera por efecto de las industrias y otras fuentes de emisión en las áreas urbanas.

Muchos estudios (Pielke et, al., 1999) se han desarrollado con la finalidad de detectar el incremento de las lluvias por efecto de la urbanización, esta detección es muy difícil porque la lluvia es altamente variable en espacio y tiempo. Por ejemplo los patrones de lluvia urbana en Tulsa (Oklahoma) muestran un gradual incremento en la lluvia de verano, cerca del 10% en cinco décadas (Lansberg et. al., 1956). Durante este incremento el área urbana creció desde una pequeña villa india de apenas unos cientos de habitantes a una ciudad de miles de habitantes. Un subsecuente estudio indicaba un incremento en la lluvia en Edwardsville un suburbio de la ciudad de St Louis (Missouri) en el se comparó la lluvia durante dos períodos de 1910-1940 y el otro de 1941-1970, se encontró un incremento de la lluvia de cerca del 4.25% debido a la urbanización.

Así también un estudio (Stohlgren et. al.,1998) realizado en Tel-Aviv(Israel) se encontraron que estaciones con tres décadas de datos muestran un incremento del 5 al 17% de lluvias. Finalmente un estudio de datos de precipitación realizados por el mismo autor en Palombo y Mazzarella(1980) en Napoles (Italia) indicaban interesantes tendencias, durante el período de 1886-1945 ellos encontraron patrones no definidos, esto se presume sea debido al hecho de que no hay incrementos significativos en la urbanización durante ese período.

Por otro lado en este estudio se encontró un incremento del 17% durante el último período de 1946-1975, este período fue caracterizado por un rápido incremento en la industrialización de la ciudad, dejando claro que el crecimiento urbano resulta en un aumento sustancial en las lluvias.

### ***El actual patrón de crecimiento urbano***

El crecimiento urbano de Acapulco de Juárez, se debe esencialmente por los desarrollos turísticos de la zona, siendo este el principal motor económico (Ramírez et. al., 1981), Nuevas áreas naturales fueron urbanizadas, la expansión urbana propia de las condiciones económicas y sociales se hicieron presentes. En la actualidad Acapulco vive un nuevo desarrollo enfocado a las nuevas súper estructuras habitacionales, grandes fraccionamientos, están en busca de nuevas áreas de urbanización, con fines turísticos-comerciales, estos nuevos desarrollo esta volviendo a generar nuevos patrones de crecimiento que en el corto plazo generarán nuevos problemas de agua, suelo y calidad del aire en las nuevas áreas urbanizadas. Es aquí donde los actores políticos deben de apoyarse de todas las herramientas a su alcance para tomar decisiones más sustentables con menores repercusiones naturales.

## **CAPITULO II Modelado de Calidad del Aire**

### ***Modelo MCCM***

El modelo empleado para el estudio de Acapulco fue el Multiscale Climate and Chemistry Model, con sus siglas en ingles (Modelo Químico Climático de Multiescala) este modelo permite determinar la calidad del aire a escala regional y ha gran escala, para poder llevar a cabo esto, el modelo debe tener la capacidad de modelar diferentes tipos de escalas. El MCCM (Grell et, al., 1994) permite modelar áreas a gran escala con celdas grandes y con una resolución fina en las áreas de estudio, lo cual permite tener una buena descripción de la zona de estudio. El modelo MCCM tiene la capacidad de poder tener múltiples anidamientos con la finalidad de estudiar problemas locales con resoluciones menores a 8 km.

Este modelo trabaja con una parte meteorológica y otra química, los cuales al trabajar acoplados generan el modelo completo MCCM. El modulo meteorológico fue desarrollado por Penn State y NCAR y es conocido con sus siglas MM5, es un modelo de mesoescala de quinta generación (Grell et al., 1994). Esta conjunción permite que en el MCCM se conserven todas las capacidades del MM5, lo cual permite utilizar el modelo de forma no-hidrostática (Dudhia, 1993) y tiene capacidades de asimilación de datos en cuatro dimensiones (ADCD), tanto de análisis como de observaciones (Stauffer y Seaman, 1994). Además con la posibilidad de inicializar el modelo MM5 con los mejores datos de entrada. (Zou et, al., 1995). Otra de las ventajas del modelo es su capacidad de anidamiento de forma unidireccional o bidireccional en sus diferentes niveles. Posee parametrizaciones microfísicas que permiten diferentes niveles de sofisticación.

## ***La meteorología del MCCM***

### Modelo de mesoescala MM5

El modelo de PSU/NCAR (Pennsylvania State University/Nacional Center For Atmospheric Research) conocido como MM5, es un modelo de área limitada, no hidrostático diseñado para simular o predecir la circulación atmosférica de mesoescala<sup>2</sup>. Esta conformado por varios programas de procesamiento y posprocesamiento que son referidos colectivamente como el sistema de modelación MM5. Por ser un modelo de dominio público para la comunidad de las Ciencias Atmosféricas, sus cambios y adecuaciones son probados por numerosos usuarios, por ello el MM5 se ha convertido en un modelo cada vez mas confiable y robusto. La quinta generación del modelo de mesoescala de PSU/NCAR (MM5), es el resultado de diversos desarrollos a partir del modelo de mesoescala usado por la Universidad de Pennsylvania a principios de los años setenta (Anthes y Warner 1978) los módulos de preprocesamiento y posprocesamiento se describen a continuación.

**TERRAIN:** Preprocesamiento que define los dominios madre y anidados, la resolución y el tipo de proyección del mapa. Además, asigna los valores de la topografía y las características del terreno.

**REGRID:** Preprocesamiento que lee los niveles de presión los análisis globales dispuestos en puntos de malla regular. Interpola a partir de la resolución de malla y proyección original, a la definida por TERRAIN. Cuenta con la entrada del programa de preprocesamiento TERRAIN, y crea los archivos para los módulos LITTLE\_R o INTERPF. Estos archivos son usados generalmente como una primera conjetura para el análisis objetivo (LITTLE\_R), ó como análisis que son directamente interpolados a los niveles establecidos por INTERPF.

---

<sup>2</sup> Mesoescala- Aplica a procesos que tienen dimensiones espaciales de 2 km a 2000 km, y escalas temporales de 1 hora a 3 días.

LITTLE\_R: Preprocesamiento donde se realiza un análisis objetivo de la información.

Interpola los campos de la primera conjetura con datos observados de radiosondeos y de superficie.

INTERPF: Preprocesamiento donde se interpola de los datos iniciales de coordenadas de presión a coordenadas vertical sigma. Este tipo de datos de conversión de coordenadas permite una mejor representación de la orografía. (Yong-Fu y Zhong, 1987).

$$\sigma = \frac{p - p_t}{p_s - p_t}, \quad (1)$$

la coordenada vertical es  $\sigma$ , donde  $p$  es la presión atmosférica,  $p_s$  es la presión en superficie y  $p_t$  es la presión en el tope de la atmósfera definida en el modelo. Este sistema de coordenadas sigue el terreno permitiendo que el tope del modelo sea puesto a cualquier superficie de presión

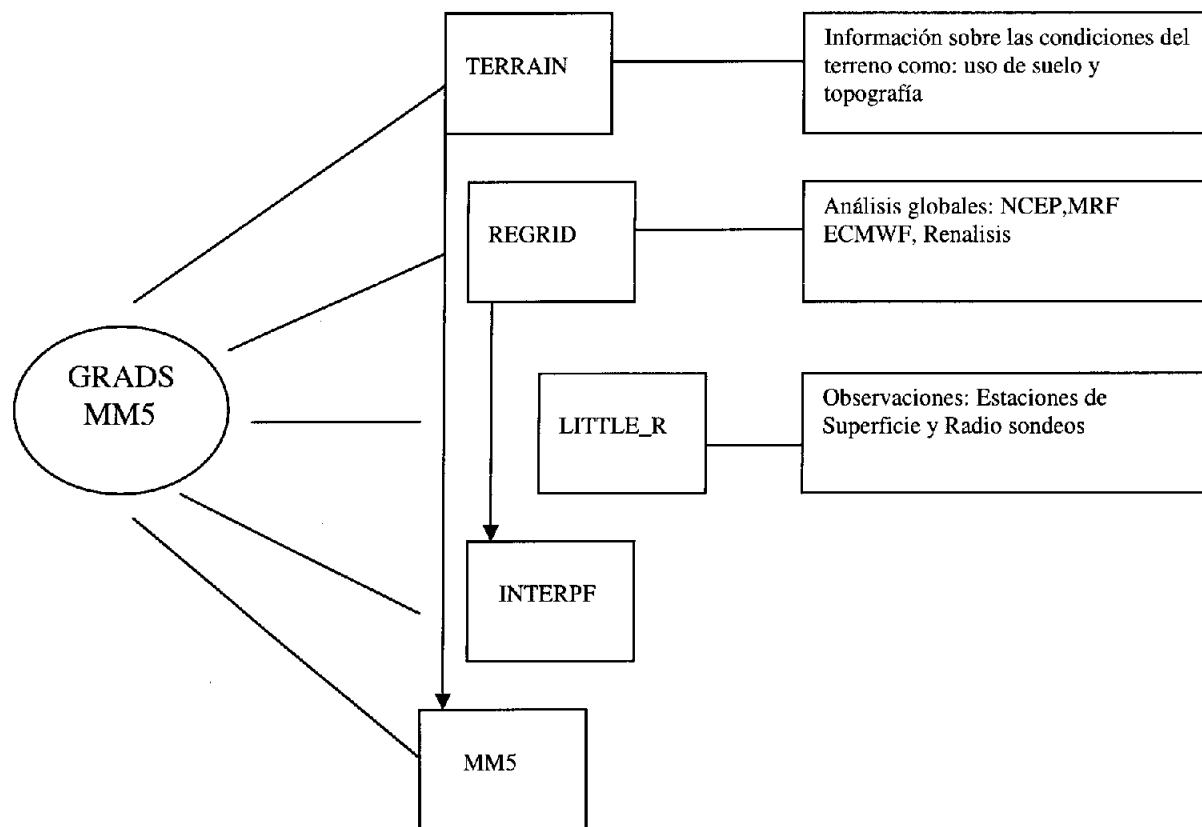
MM5: Es la parte de predicción numérica del tiempo del MM5. Se puede usar para un amplio espectro de estudios teóricos y en tiempo real. El MM5 puede ser utilizado para estudios que implican sistemas convectivos de mesoescala, frentes, brisas de tierra-mar circulación de montaña-valle e islas urbanas de calor. En términos de coordenadas que siguen el terreno  $(x,y,\sigma)$ , las ecuaciones para las variables básicas del modelo no-hidrostatico-excepto humedad- son las ecuaciones señaladas de la 1 a la 11.



**SISTEMA DE DESPLIEGUE  
GRAFICO**

**MODULOS**

**DATOS**



*Figura 1 Esquema de la estructura del modelo meteorológico del MCCM*

***Dinámica del modelo***

El MM5 es un modelo de escala regional que utiliza un sistema de ecuaciones primitivas con configuración no hidrostática (Grell et al., 1993;), permite el uso de dominios múltiples y anidados, está desarrollado en coordenadas sigma, que sigue la superficie terrestre permitiendo así modelar en lugares con topografía compleja y resuelve las ecuaciones de diferencias finitas con un esquema de paso de tiempo.

Usando un esquema de salto de rana “leapfrog”, permite cualquier número de niveles en la vertical y tiene las siguientes opciones de proyección geográfica: Estereográfica polar, Lambert conformal y Mercator (Cox et al., 1997).

Cuenta con opciones adicionales para las parametrizaciones de convección, capa límite planetaria, radiación, procesos de superficie y condensación de gran escala. La derivación de las ecuaciones de movimiento, termodinámica y de continuidad para la proyección Lambert conformal es presentada por (Anthes *et al.* 1972). Como se menciona se necesita de un modelo que siga el contorno del terreno,. Las ecuaciones completas de movimiento en coordenadas  $\sigma$ , escritas para un mapa en coordenadas Lambert conformal en forma de flujo son

Momento horizontal:

$$\frac{\partial p^* u}{\partial t} = -m^2 \left[ \frac{\partial p^* uu/m}{\partial x} + \frac{\partial p^* vu/m}{\partial y} \right] - \frac{\partial p^* u \sigma}{\partial \sigma} - mp^* \left[ \frac{RT^*}{\left( P^* + \frac{P_t}{\sigma} \right)} \frac{\partial p^*}{\partial x} + \frac{\partial \phi}{\partial x} \right] + p^* v(f + \gamma) + p^* w \left[ r^{-1} 2\Omega(\cos\phi)y - \frac{u}{a} \right] + FU \quad (2)$$

(a)                      (b)                      (c)                      (d)                      (e)                      (f)

$$\frac{\partial p^* v}{\partial t} = -m^2 \left[ \frac{\partial p^* uv/m}{\partial x} + \frac{\partial p^* vv/m}{\partial y} \right] - \frac{\partial p^* v \sigma}{\partial \sigma} - mp^* \left[ \frac{RT^*}{\left( P^* + \frac{P_t}{\sigma} \right)} \frac{\partial p^*}{\partial y} + \frac{\partial \phi}{\partial y} \right] + p^* u(f + \gamma) + p^* w \left[ r^{-1} 2\Omega(\cos\phi)x - \frac{v}{a} \right] + FV \quad (3)$$

donde el primer término entre corchetes (a) representa la divergencia del flujo de momentum, (b) representa el momentum en la vertical, (c) se refiere a los efectos termodinámicos y representa la entrada de masa, (d) se refiere al parámetro de Coriolis, el término subrayado (e) es la componente horizontal de la fuerza de Coriolis y el último término (f) se refiere al término de la aceleración friccional.

Las cantidades  $m$ ,  $r$  y  $\gamma$  están definidas por

$$m = \frac{\text{sen } \psi_1}{\text{sen } \psi} \left[ \frac{\tan\left(\frac{\psi}{2}\right)}{\tan\left(\frac{\psi_1}{2}\right)} \right] \quad (4)$$

$$r = \frac{a}{n} \text{sen } \psi_1 \left[ \frac{\tan\left(\frac{\psi}{2}\right)}{\tan\left(\frac{\psi_1}{2}\right)} \right]^n \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{(\text{sen } \phi - n)}{a \cos \phi} \left( \frac{-uy}{r} + \frac{vx}{r} \right) \quad (6)$$

$m$  es un factor de escala de mapa,  $r$  y  $\gamma$  son parámetros que resultan de la proyección Lambert conformal,  $n=0.716$ ,  $\Psi_1=30^\circ$ ,  $\phi$  es la latitud y  $\Psi$  es la co-latitud. Para estos casos de  $n$  y  $\Psi_1$  la proyección es verdadera a  $30^\circ$  y  $60^\circ$  N.

Por consistencia en la ecuación de energía cinética cuando la ecuación hidrostática es empleada en lugar de la componente vertical de la ecuación de movimiento, los términos multiplicados por  $w$  son despreciables en (2) y (3), por lo tanto,  $\gamma$  es dos órdenes de magnitud más pequeña que  $f$  en latitudes medias, y puede ser despreciable. Las ecuaciones de movimiento utilizadas en el modelo están por lo tanto dadas por (2) y (3) sin los términos subrayados.

$$\frac{\partial p^* u}{\partial t} = -m^2 \left[ \frac{\partial p^* uu/m}{\partial x} + \frac{\partial p^* vu/m}{\partial y} \right] - \frac{\partial p^* u \sigma}{\partial \sigma} - mp^* \left[ \frac{RT}{\left( P^* + \frac{P_l}{\sigma} \right)} \frac{\partial p^*}{\partial x} + \frac{\partial \phi}{\partial x} \right] + pvf + FU \quad (7)$$

$$\frac{\partial p^* v}{\partial t} = -m^2 \left[ \frac{\partial p^* uv/m}{\partial x} + \frac{\partial p^* vv/m}{\partial y} \right] - \frac{\partial p^* v \sigma}{\partial \sigma} - mp^* \left[ \frac{RT}{\left( P^* + \frac{P_l}{\sigma} \right)} \frac{\partial p^*}{\partial y} + \frac{\partial \phi}{\partial y} \right] + puf + FV \quad (8)$$

La ecuación de continuidad completa para la proyección Lambert conformal, en coordenadas sigma está dada por

$$\frac{\partial p^*}{\partial t} = -m^2 \left[ \frac{\partial p^* u/m}{\partial x} + \frac{\partial p^* v/m}{\partial y} \right] - \frac{\partial p^* \sigma}{\partial \sigma} - \frac{2wp^*}{a} \quad (9)$$

La ecuación termodinámica está dada por

$$\frac{\partial p^* T}{\partial t} = -m^2 \left[ \frac{\partial up^* T/m}{\partial x} + \frac{\partial vp^* T/m}{\partial y} \right] - \frac{\partial p^* T \sigma}{\partial \sigma} + \frac{RTw}{c_p \left( \sigma + \frac{P_l}{p^*} \right)} + \frac{p^* Q}{c_p} + FT \quad (10)$$

donde  $Q$  es el calentamiento diabático por unidad de masa,  $P$  es la presión atmosférica,  $T$  se refiere a la temperatura,  $c_p$  es la capacidad calorífica a presión constante,  $P^*$  es la diferencia entre la presión en la superficie y la presión en el tope de la atmósfera.  $FT$  es el índice de cambio de  $P^*T$  debido a la difusión horizontal y vertical de calor,  $\sigma$  es la coordenada vertical,  $u$ ,  $v$  y  $w$  son las componentes del viento.

y

$$w = \frac{dp}{dt} \quad (11)$$

donde  $Q$  es el calentamiento diabático por unidad de masa.

En conclusión, las ecuaciones antes mencionadas contienen las ecuaciones de pronóstico, así como las ecuaciones de vapor de agua y las variables microfísicas. Para resolverlas se emplea el método de diferencias finitas de segundo orden centrado para la solución numérica de las ecuaciones básicas del MM5.

## **LA QUIMICA DEL MCCM**

### **Química en la fase gaseosa**

En los modelos de calidad del aire, uno de los módulos más importantes es el químico, en el cual se representan la mayoría de las reacciones químicas presentes en la atmósfera. Uno de los mecanismos más importantes es el que ocurre en la fase gaseosa. Las emisiones, el transporte y la deposición así como las velocidades de reacción determinan la distribución de las especies químicas en esta fase.

En las nubes las reacciones en la fase acuosa son las que contribuyen más a la acidificación de la atmósfera, por lo que es muy importante que el mecanismo de la fase gaseosa prediga correctamente las concentraciones de las especies que se necesitan para la química de la fase acuosa. Las velocidades de oxidación en la fase acuosa dependen de las concentraciones, la solubilidad y la velocidad de transferencia de masa de agentes oxidantes tales como el peróxido de hidrógeno, ozono, ácido peroxiacético y los radicales hidroxilo (HO) y peroxi (HO<sub>2</sub>).

Para producir una descripción exacta de las transformaciones químicas en la atmósfera, los modelos de calidad del aire deben incluir un mecanismo químico que incorpore todas las reacciones químicas significativas. Sin embargo, tal mecanismo debe ser simple en comparación con la química compleja de la atmósfera. Se requiere que de esto último para evitar un consumo excesivo de recursos computacionales.

Los mecanismos de química atmosférica varían desde los muy explícitos que tratan todas las especies y reacciones químicas de manera individual a los mecanismos simplificados

con especies sustitutas que representan un grupo de especies individuales. Ejemplos de mecanismos explícitos (Niki et al., 1972; Demerjian et al., 1974; Atkinson y Lloyd, 1984; Leone y Seinfeld, 1985; Kerr y Calvert, 1982; Carter, 1990). La fuente principal de la complejidad de los mecanismos es la química orgánica.

El manejo de la química orgánica en la troposfera requiere de cientos de especies y reacciones (Calvert y Mandronich, 1987). Se han desarrollado tres técnicas de agrupamiento para simplificar la química troposférica:

*Especies Sustitutas* (Dodge, 1977). Se seleccionan una o varias especies químicas reales como representativas de una clase. La especie representativa para las reacciones de alcanos es el n-butano, para las olefinas, el propeno y el trans-2-buteno; para los aldehídos, el acetaldehído; y para los hidrocarburos aromáticos, el benceno, tolueno y xilenos.

*Estructuras agrupadas* (Whitten et al., 1980, 1985; Killus y Whitten, 1982; Gery et al., 1989). Las moléculas se asocian de acuerdo al tipo de enlace del carbono. Este método trata a los átomos de carbono con enlace similar sin considerar el tipo de molécula a la que pertenecen. La forma más simple designa cuatro tipos de átomos de C

**C-C** incluye alcanos y enlaces simples en alquenos (PAR)

**C=C** alquenos, principalmente (OLE).

**C=C** anillos aromáticos con tres dobles enlaces (ARO)

**C=O** carbonilos (CAR).

Con esta clasificación el propeno ( $\text{CH}_3\text{-CH=CH}_2$ ) posee 1 PAR y 1 OLE.

*Moléculas agrupadas* (Schere y Demerjian, 1984; Pender y Watson, 1982; Atkinson et al., 1982; Stockwell, 1986). Todas las especies químicas similares se representan mediante una especie prototipo la cual es la que reacciona.

El MCCM puede emplear el mecanismo químico (**RADM2**) Rain Acid Deposition Model versión 2 y el (**RACM**) Regional Atmospheric Chemistry Mechanism (Stockwell et al., 1997). Para nuestro caso de estudio se empleo el mecanismo **RADM2** en el cual incluye 14 especies estables inorgánicas, 4 intermediarios reactivos y 3 especies abundantes estables (oxígeno, nitrógeno y agua).

La química orgánica la representa 26 especies estables y 16 radicales peroxi. El mecanismo **RADM2** emplea la aproximación de reactividad agregada molecular (Middleton et al., 1990), donde se agrupan compuestos orgánicos similares en especies del modelo mediante el empleo de un peso por su reactividad con el radical OH.

Así también el **RADM2** contiene parametrizaciones de varios procesos químicos importantes que incluyen tres clases de alcanos superiores, un tratamiento detallado de la química de los aromáticos; dos clases de alcanos superiores que representan los alquenos terminales e intermedios; manejo de cetonas y especies de dicarbonilos como clases diferentes a las de los aldehídos; inclusión de isopreno como especie explícita; y un tratamiento detallado de las reacciones de radicales peroxi. Cabe destacar que el **RADM2** se ha evaluado y revisado en cámaras de smog (Stockwell et al., 1995), donde se demuestra que este mecanismo puede reproducir la química atmosférica regional adecuada. Los factores de agregación para los compuestos más comunes son obtenidos de (Middleton et al., 1990). La solución numérica emplea el método de la aproximación del estado cuasi estable (QSSA) con 22 especies diagnosticadas, 3 constantes y 38 calculadas. Se emplea un esquema Euleriano retrasado en el tiempo para resolver las ecuaciones de las 38 especies que se predicen.

## **Frecuencias de Fotólisis**

Las frecuencias de fotólisis de las 21 reacciones fotoquímicas de fase gaseosa se calculan en cada punto de acuerdo a (Mandronich et al., 1987). La frecuencia de fotólisis del gas  $i$ ,  $J_i$ , es dada por la integral de la producción del flujo actínico  $I_A(\lambda)$ , la sección transversal de absorción  $\sigma_i(\lambda)$  y los campos cuánticos  $\Phi_i(\lambda)$  sobre la longitud de onda  $\lambda$ :

$$J_i = \int_{\lambda_a}^{\lambda_c} I_A(\lambda) \cdot \sigma_i(\lambda) \cdot \phi_i(\lambda) d\lambda \quad (12)$$

Para calcular el flujo actínico se emplea un modelo de transferencia radiactiva de Wiscome, que se basa en una técnica de delta-Eddington (Joseph et al., 1976). Este modelo de transferencia radiactiva considera la absorción por  $O_2$  y  $O_3$ , la dispersión de Rayleigh, dispersión y absorción por particular en aerosol y nubes (Chang et al., 1987), la ecuación anterior se resuelve para longitudes de onda entre 186 y 730nm.

Los perfiles de flujo actínico se calculan para cada punto de la malla del dominio. Para la determinación de las secciones transversales de absorción y dispersión se emplean los valores generados por MM5 para la temperatura, ozono y agua líquida de nubes. Se puede incluir los perfiles de ozono total provenientes del satélite TOMS<sup>3</sup>.

El cálculo de las frecuencias de fotólisis tiene la ventaja de actualizar a las variables que dependen de la temperatura. El efecto de la temperatura, en el valor de las frecuencias de fotólisis, pueden inducir una variación del 1% por grado de diferencia en la temperatura (Ruggaber et al., 1994, 1995).

---

<sup>3</sup> Total Ozone Mapping Spectrometer



## ***Emisiones Biogénicas***

La vegetación emite compuestos orgánicos. Dichos compuestos contribuyen considerablemente a la formación de ozono, especialmente durante los días calurosos del verano, debido a que la emisión se incrementa con la temperatura. El modelo MCCM contiene un modulo de emisiones biogénicas(Guenther et al., 1993; Simpson et al., 1995; Schoenemeyer et al., 1997).

El modulo trata de forma separada las emisiones de isopreno, monoterpenos y otros compuestos orgánicos volátiles biogénicos (OCOV), respectivamente, así como también calcula las emisiones de óxidos de nitrógeno del suelo. Para emplearse en el modulo de fotoquímica RADM2, las emisiones de monoterpenos y OCOV se deben desagregar en las clases RADM. La estimación de emisiones biogénicas se basa en el procedimiento y consideración descritas por (Seidl et al.,1998)

## ***Deposición Seca***

El flujo de gases traza y partículas de la atmósfera a la superficie se calcula multiplicando sus concentraciones en la capa inferior del modelo por su velocidad de deposición,  $v_d$ , que es proporcional a la suma de tres resistencias características:

$$v_d = \frac{1}{(r_a + r_b + r_s)} \quad (13)$$

donde  $r_a$  es la resistencia aerodinámica que depende de la rugosidad de la superficie y la estabilidad atmosférica, y  $r_b$  es la resistencia de la subcapa en la proximidad de la superficie.

El acoplamiento con las parametrizaciones de turbulencia produce una gran dependencia de  $r_a$  con los datos de uso y tipo de suelo. La resistencia de la superficie,  $r_s$  se determina empleando una parametrización desarrollada por (Wesley et al.,1989) donde se considera las resistencias de las superficies del suelo y plantas. Las propiedades de las plantas se determinan a partir del uso del suelo y de la estimación anual. La Depositación seca del sulfato se describe de forma diferente. El sulfato presente en forma de partícula de aerosol se deposita de acuerdo con (Erisman et al.,1994).

### CAPITULO III Descripción Climática de Acapulco de Juárez

La mayor parte del sur de México posee un clima del tipo monzónico (Fig.2), con una estación de secas desde noviembre hasta mayo y una estación lluviosa entre junio y octubre. Por su ubicación geográfica, los principales factores meteorológicos relacionados con lluvias corresponden a la Zona Intertropical de Convergencia, las ondas del este y los ciclones tropicales. Como la mayor parte de mesoamérica, exhibe la señal de la llamada Canícula (Magaña et al.,2002) en el ciclo anual de las lluvias. Este elemento del ciclo anual consiste en un mínimo relativo de las lluvias de verano entre julio y agosto, y dos máximos de precipitación, uno en junio y otro en septiembre. Las características monzónicas del clima se reflejan, entre otros elementos, en los caudales del río Papagayo, con los valores más altos en septiembre y los más bajos entre abril y mayo.

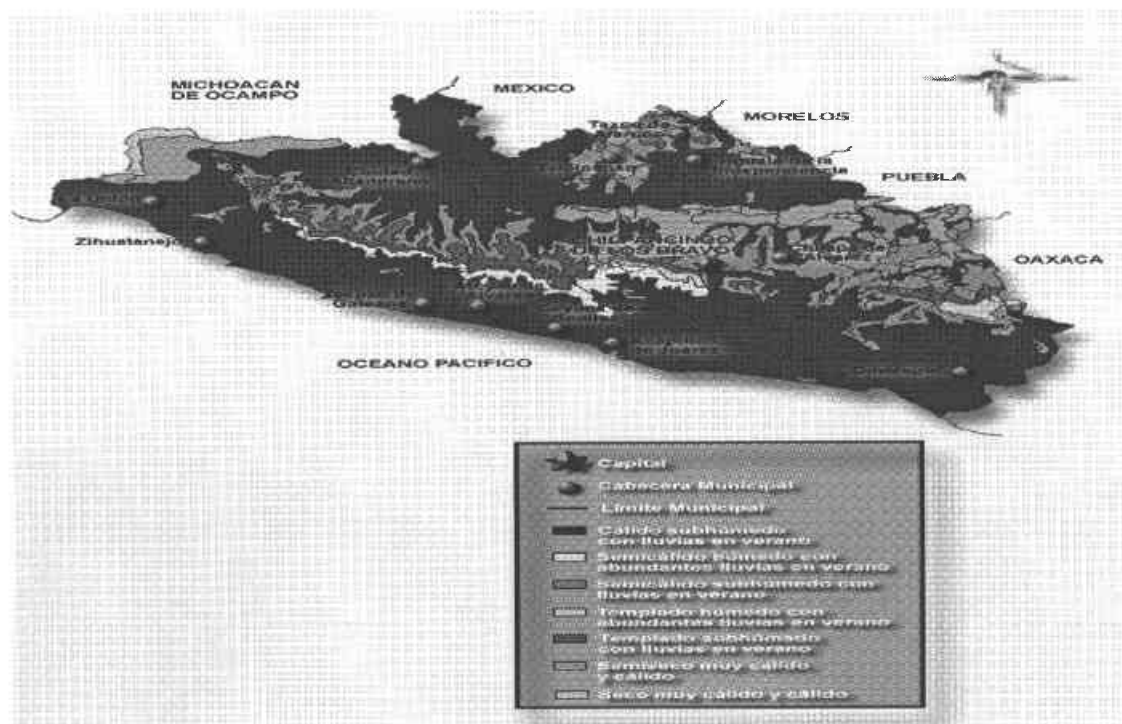


Figura 2.- Clima de Guerrero (fuente INEGI)

Un elemento de particular importancia en el clima es su variabilidad interanual del clima, años secos o años lluviosos pueden llevar a dos condiciones diametralmente opuestas en actividades relacionadas con generación de energía eléctrica, agricultura, salud, etc. Es por ello que desde hace mucho tiempo se han buscado los efectos moduladores del clima mundial.

En el caso de trópicos y subtrópicos, el fenómeno conocido como El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) constituye el factor que controla gran parte de la variabilidad del clima. Sin un período regular, se puede pasar de condiciones El Niño o La Niña en lapsos de tres a siete años, sin que necesariamente a un Niño siga una Niña (Magaña et. al., 1998). El Impacto que dicha condición tiene en el clima resulta sin duda un factor que da predecibilidad a las lluvias de verano. En la mayor parte de México, bajo condiciones de Niño, la tendencia es a menores precipitaciones y menores caudales. Bajo condiciones La Niña se puede presentar una condición opuesta. Sin embargo, es importante resaltar que no sólo el ENOS es responsable de las variaciones en el clima regional de un año a otro. Aun falta por descubrirse cuáles son los factores que controla el resto de las variaciones climáticas de la región, constituyéndose en materia de investigación científica

La experiencia y los estudios científicos recientes (Magaña et. al., 1998) muestran que los cambios en el uso de suelo, tienen impacto en las condiciones climáticas de una región. El alterar el albedo, la humedad en el suelo y la rugosidad un terreno pueden constituirse en efectos moduladores del clima de importancia local. Sin embargo, el tamaño de la alteración al uso de suelo puede ser determinante en la magnitud del impacto climático que se pueda tener, sobre todo si se considera que la variabilidad natural del clima es grande. La mayor parte de México, ha experimentado grandes cambios en el uso de suelo en las últimas décadas. Muchas selvas han sido eliminadas para dar paso a zonas de agricultura o ganadería y en algunos casos zonas urbanas. En la mayoría de los casos la correspondiente alteración en el clima ha sido difícil de detectar.

Es por ello que el trabajo que se desarrolla para analizar señales de cambio climático es realmente complejo, pues los factores que determinan su variabilidad y tendencias son muchos, y además de los cambios en el uso de suelo, se debe considerar cambio climático al nivel global.

En el caso particular de Acapulco, existen pocos estudios que ayuden a determinar el impacto que estas tienen en el clima. La falta de registros climáticos (largos registros meteorológicos) en el lugar exacto donde se desarrollo la zona urbana, para poder comparar cómo era el clima antes de la urbanización con respecto a las condiciones actuales. En el mejor de los casos se utilizan estaciones cercanas o se realizan experimentos numéricos donde se simula el cambio de uso de suelo y se determina su impacto en el clima regional. En el caso de los experimentos numéricos, es difícil simular con muy alta resolución por limitaciones inherentes a los modelos. Adicionalmente, se debe contemplar el tipo de clima dominante en la región donde se desarrollo el área urbana, pues en una zona árida, el impacto puede ser diferente del que se tenga en una región tropical, como los muestran las figuras 3 y 4

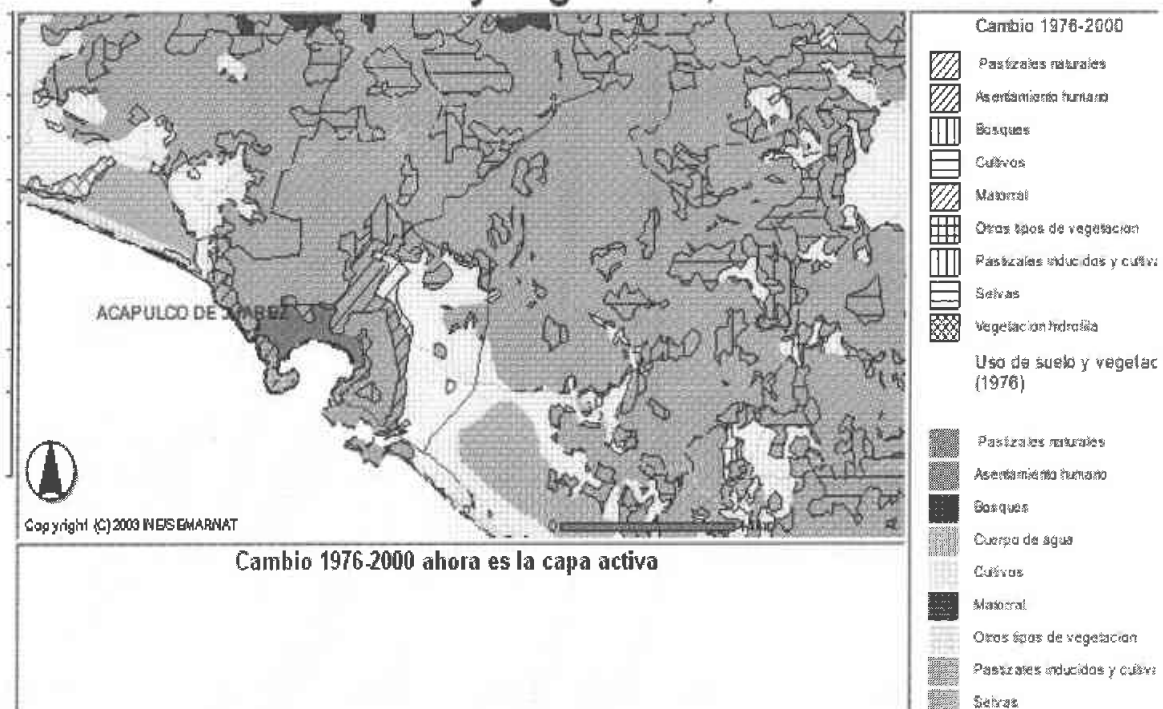


Figura 3- Cambios en el uso de suelo en la región entre 1976 y 2000.  
Zonas achuradas denotan cambio en uso de suelo

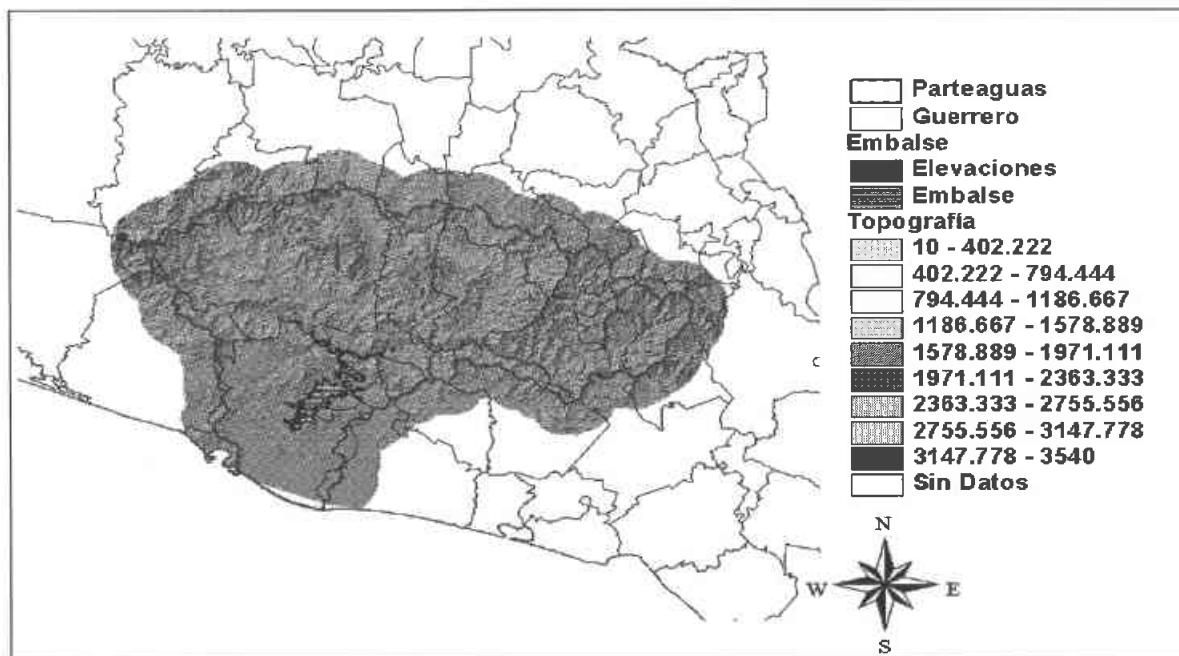


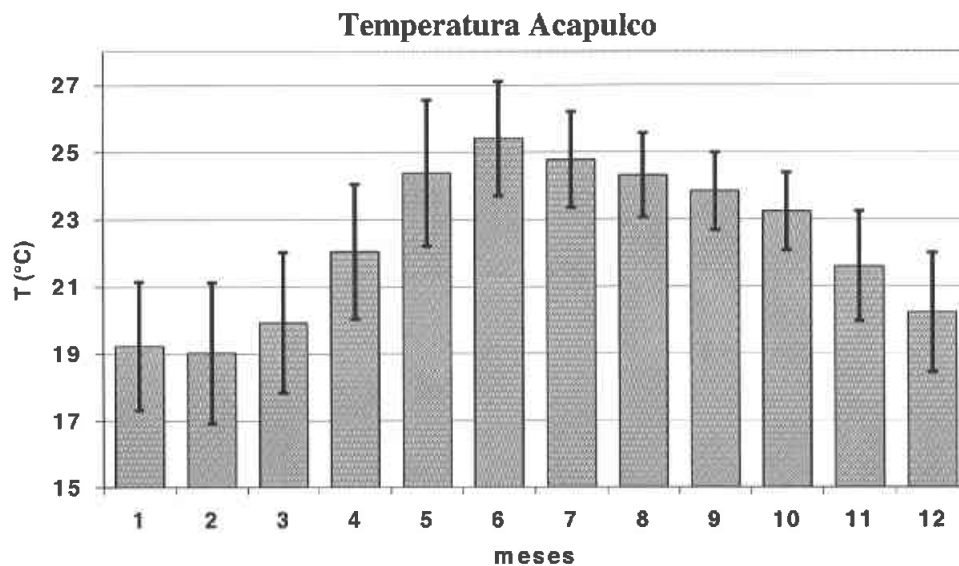
Figura 4- Parte de la Topografía de estado de Guerrero (fuente INEGI).

## **Estadísticas básicas del puerto de Acapulco y zonas conurbadas.**

El clima de la región de Acapulco y zonas conurbadas corresponde a clima Monzónico con lluvias de verano en un ambiente de selva baja caducifolia.

### **Temperatura media**

La región de Acapulco y zonas conurbadas tiene un ciclo anual de temperatura media que varía entre 17 y 27°C, valores en los que se ha considerado la variabilidad diaria en un rango entre 2 y 4°C. (Figura 5). Los valores máximos en la temperatura media se alcanzan en el mes de junio y los mínimos alrededor de febrero.



*Figura 5- Ciclo anual de la temperatura media en la estación Acapulco.(fuente Servicio Meteorológico Nacional Mexico)*

## Temperatura máxima

Los valores de temperatura máxima diaria fluctúan entre los 29 y 37°C (Fig.6). Durante los meses de primavera (marzo-mayo), sin embargo, se pueden alcanzar temperaturas máximas de hasta 40°C. El inicio de la temporada de lluvias en junio resulta en mayor nubosidad, menos horas de radiación solar directa y consecuentemente valores menores de temperatura máxima. Después de septiembre cesan las lluvias y con ello la radiación solar aumenta produciendo un nuevo ascenso en los valores de temperatura máxima. El patrón de valores de temperatura máxima es típico de zonas tropicales con clima monzónico.

La presencia de agua en los alrededores tiende a actuar como controlador de la temperatura en regiones cercanas, pues la capacidad térmica del agua es mucho mayor que la del continente.

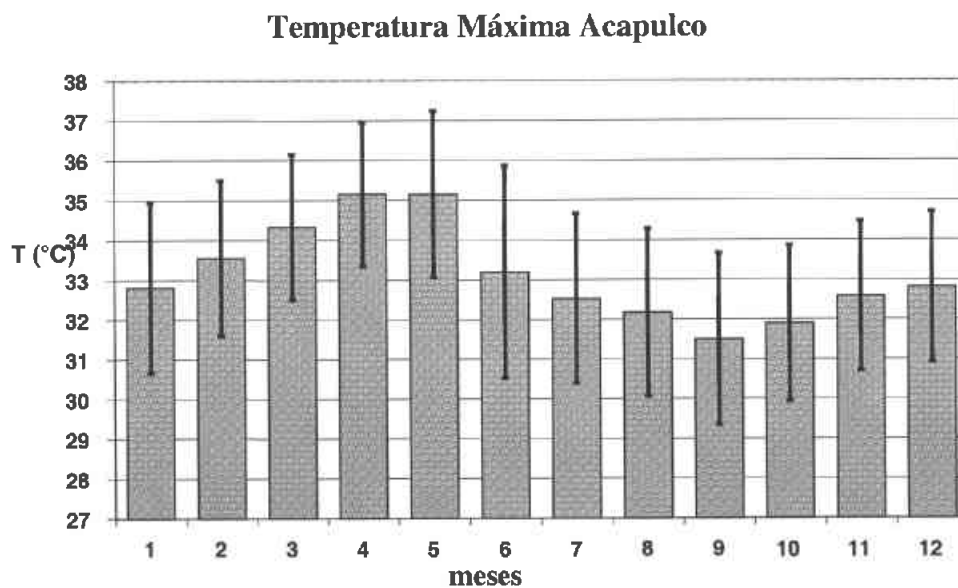
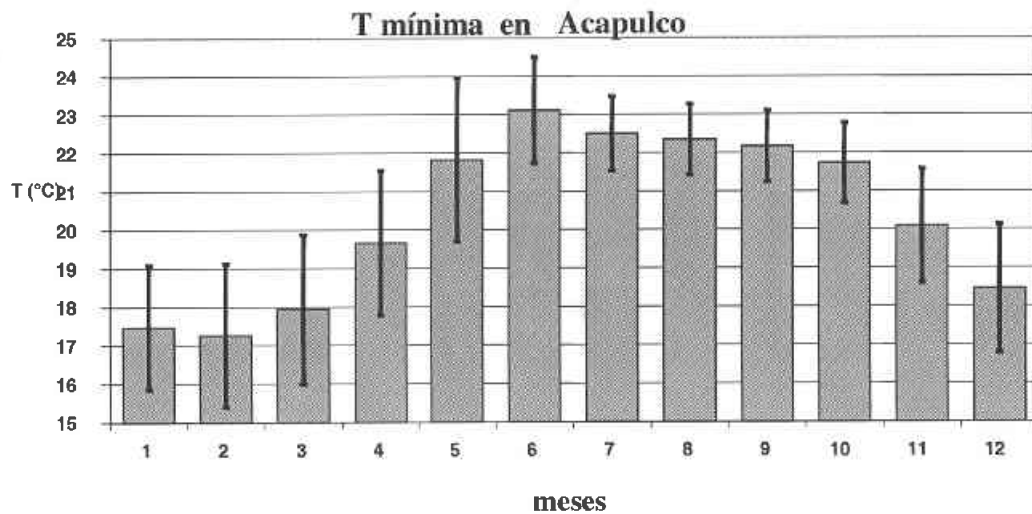


Figura 6- Ciclo anual medio de temperatura máxima. (fuente Servicio Meteorológico Nacional Mexico)



## Temperatura mínima

La temperatura mínima fluctúa entre los 15 °C y los 25 °C (considerando las variaciones normales diarias). El ciclo anual de esta variable indica que conforme se aproxima el verano los valores de temperatura mínima aumentan y se mantienen altos durante todo el verano, producto de la presencia de mayor humedad en el ambiente durante los meses de lluvia y menor enfriamiento radiactivo (Fig. 7).



*Figura.7- Ciclo anual medio para temperatura mínima (fuente Servicio Meteorológico Nacional Mexico)*

## Precipitación

El ciclo anual de la precipitación refleja el carácter monzónico de las lluvias en la mayor parte de México, con un inicio en junio, y un término de la temporada entre septiembre y octubre (Fig. 8). A la mitad del verano se registra un mínimo relativo en las lluvias conocido como sequía del medio verano o *canícula*.(Magaña et al.,2002) al Este elemento del ciclo anual de las lluvias en México resulta en cambios en radiación e incluso en algunos años en temperatura mínima y máxima. La precipitación anual promedio está alrededor de los 1000 mm.

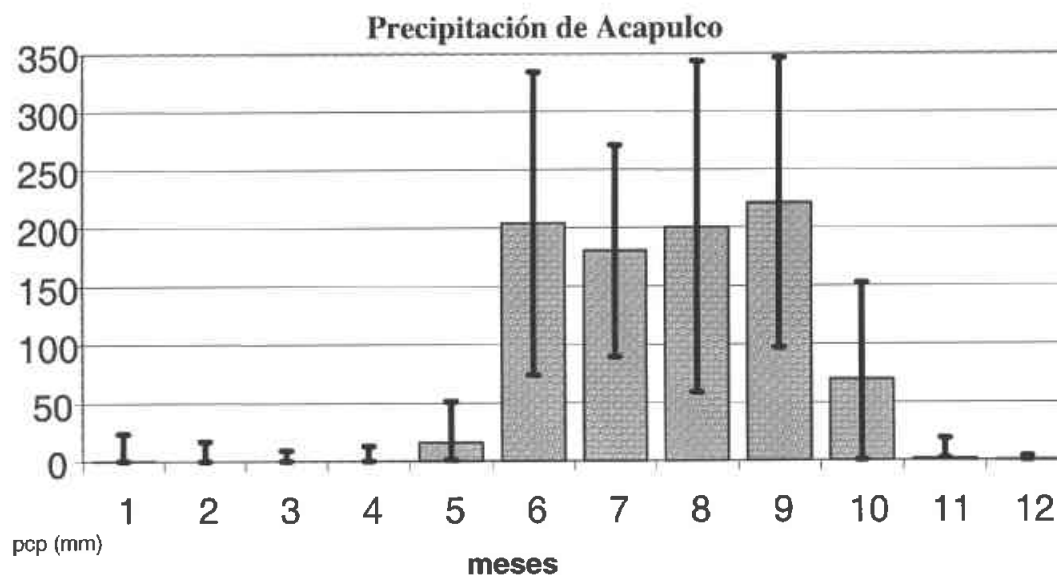


Figura.8 Media de la precipitación acumulada mensual de Acapulco( fuente Servicio Meteorológico Nacional Mexico)

El inicio de las lluvias de verano se puede encontrar cuando por diez días ocurren lluvias que al acumularse superan significativamente las de la semana anterior. Así, en Acapulco, el inicio de las lluvias ocurre en promedio en los primeros días de junio (fig 9). Existe sin embargo variabilidad en la fecha de inicio de las lluvias, pudiendo estas adelantarse o atrasarse en aproximadamente dos semanas. Lo anterior significa que el inicio de las lluvias puede ocurrir a mediados de mayo cuando las lluvias inician temprano, o a mediados de junio cuando inician tardíamente.



Figura. 9- Distribución media de las lluvias en Acapulco y zona conurbadas.( fuente Servicio Meteorológico Nacional Mexico)

## Evaporación

La evaporación es alta durante los meses de primavera debido principalmente a las altas temperaturas y a la baja humedad relativa existente (Fig. 10). En los meses fríos sin embargo, ésta permanece relativamente baja aun y bajo condiciones de humedad relativa baja.

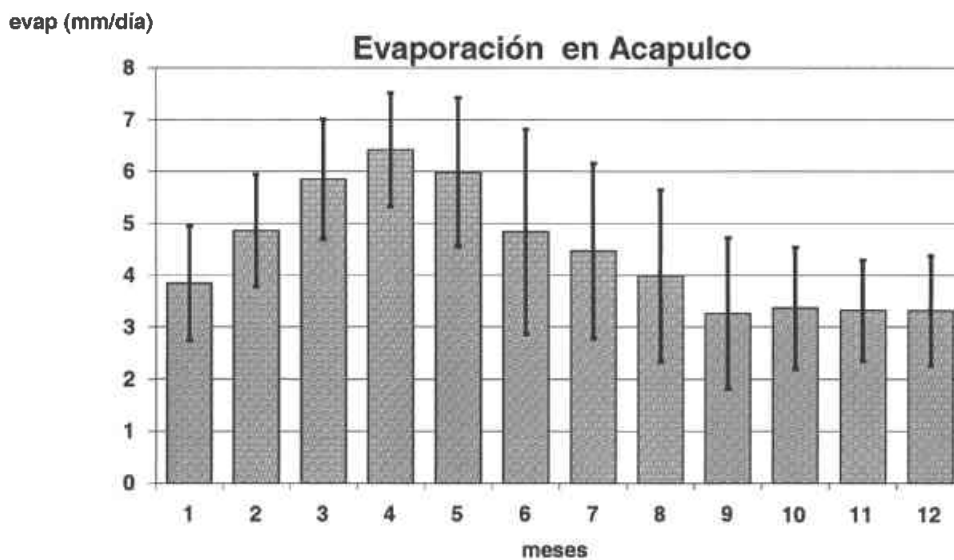
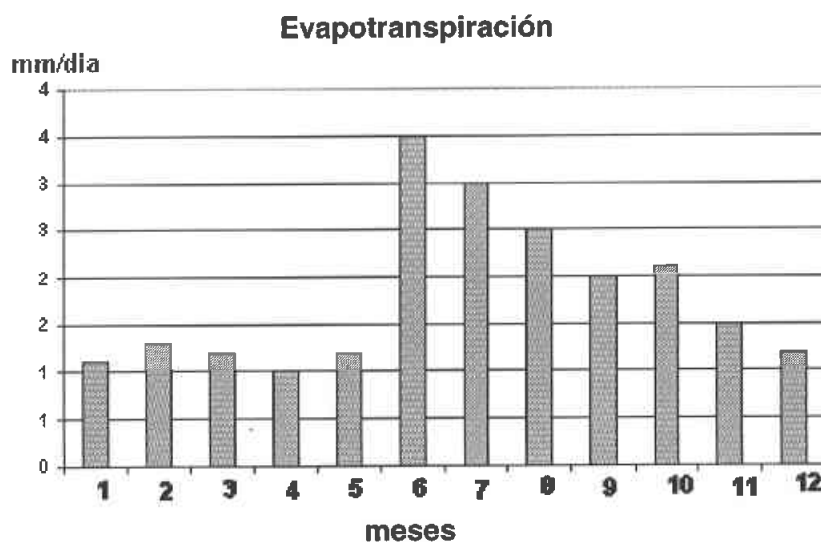


Figura. 10- Media de evaporación en Acapulco fuente Servicio Meteorológico Nacional Mexico)

## Evapotranspiración

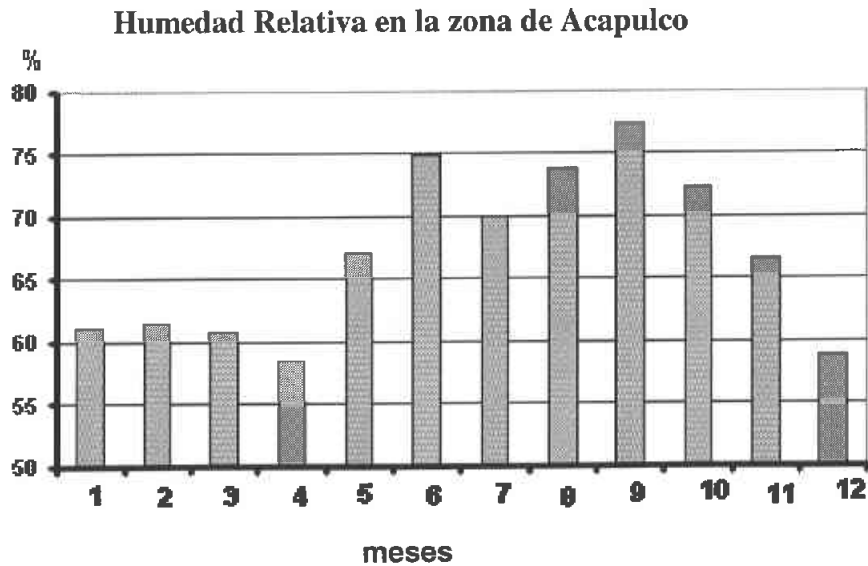
La evapotranspiración es menor que la evaporación debido en gran medida a la existencia de una selva baja caducifolia. Sus valores mayores se producen al aumentar las lluvias y aumentar la vegetación. Los meses secos son de valores de evapotranspiración bajos (Fig.11).



*Figura. 11 Media de evapotranspiración de Acapulco fuente Servicio Meteorológico Nacional Mexico)*

## Humedad relativa

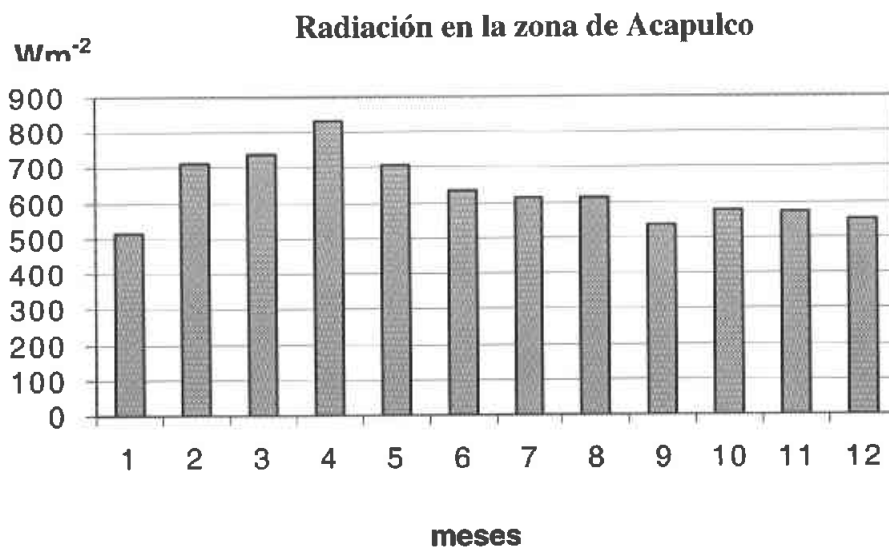
La humedad relativa también refleja el período de la canícula donde los valores mayores de radiación que alcanza la superficie hacen que la temperatura sea mayor y consecuentemente disminuye la humedad relativa (Fig. 12). Es interesante notar que la humedad relativa disminuye durante el período de la canícula que ocurre en julio y agosto.



*Figura.12- Media de humedad relativa fuente Servicio Meteorológico Nacional (Mexico)*

### Radiación

La cantidad de radiación global que llega a la superficie se reduce durante la época de lluvias (Fig. 13). Es interesante notar que la radiación total tiene un valor prácticamente constante ( $600 \text{ W m}^{-2}$ ) durante el período de la canícula que ocurre en julio y agosto.



*Figura.13- Media de radiación total fuente Servicio Meteorológico Nacional (Mexico)*

## Tormentas eléctricas

Como es de esperarse, el mayor número de tormentas eléctricas ocurre en los meses de precipitación intensa (Fig.14). Es interesante notar que al menos en la media, el mes de mayor actividad eléctrica es agosto seguido de julio, los meses correspondientes a la canícula. La época de secas muestra cero actividad eléctrica.

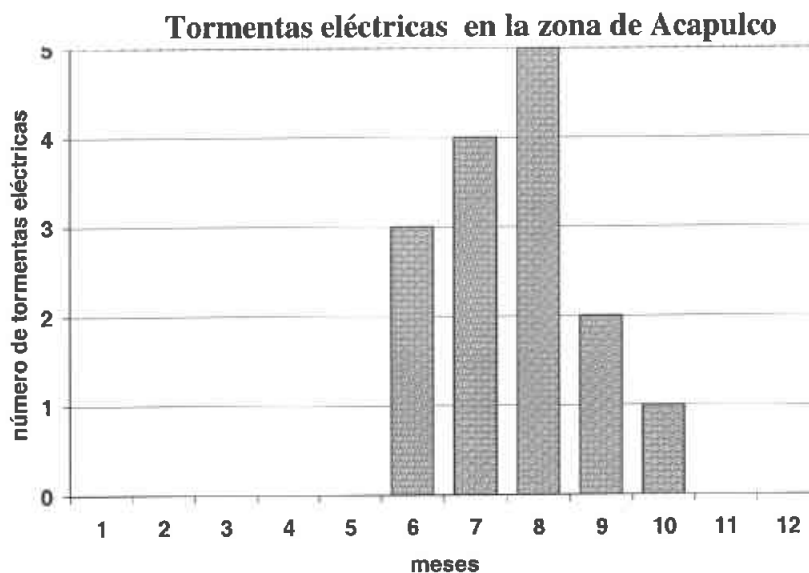


Figura. 14 Media de tormentas eléctricas ( fuente Servicio Meteorológico Nacional Mexico)

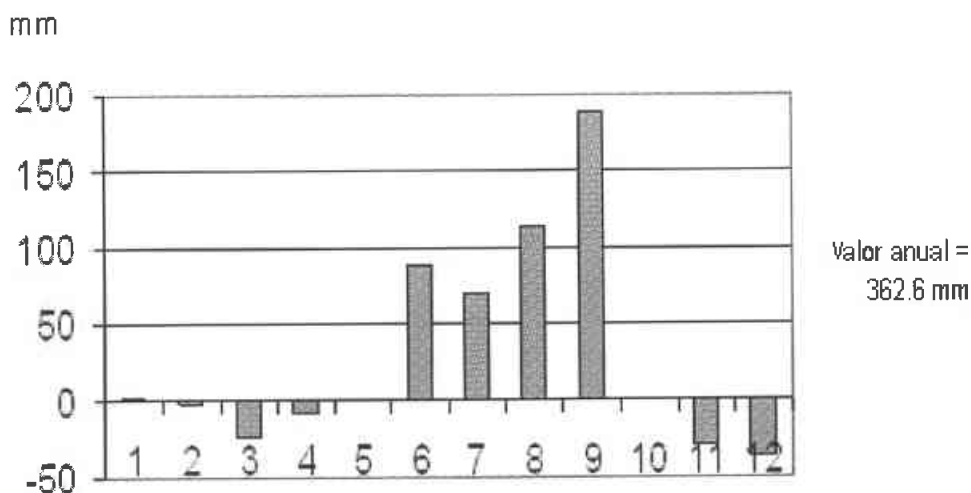


Figura.15 Balance entre evapotranspiración y precipitación en la estación Acapulco (fuente Servicio Meteorológico Nacional Mexico)

## **Capitulo IV La Contaminación fotoquímica**

### ***Principales fuentes contaminantes atmosféricos de Acapulco***

Cuando se realizan estudios con modelos de calidad del aire, es importante tener información de los principales contaminantes atmosféricos, con su respectiva ubicación temporal y espacial. Para poder realizar estos estudios los modelos son alimentados con datos obtenidos de los inventarios de emisiones, así como de otras fuentes importantes de información. Para el caso de estudio no existen bases de datos con inventarios de emisiones para modelos, la gran cantidad de información procede de diferentes fuentes o bases de datos, la cual tiene que ser procesada previamente para alimentarla a los modelos (García., 2002).

En el caso de la zona de estudio no se cuenta con un inventario de emisiones que permita calcular con certeza, el tipo y cantidad de contaminantes presentes en la atmósfera, sin embargo. Se conoce que Acapulco concentra su vida en el turismo como principal fuente motora de su economía, siendo esta una ciudad de servicios, por lo que las principales fuentes de emisión son las fuentes móviles, fuentes de área y fuentes biogénicas.

Acapulco tiene varias ventajas respecto a otras zonas de actividad turística. Una de ellas es su ubicación geográfica la cual le permite tener un clima que favorece la dispersión de contaminantes, ya que como mencionamos anteriormente su clima local favorece la disipación de contaminantes, la otra es el la escasez de industria es decir de fuentes puntuales las cuales aumentarían considerablemente las emisiones, como en el caso de la ciudad de México.

## ***La Química del Smog Fotoquímico***

En las zonas altamente urbanizadas los problemas de contaminación del aire, son uno de los principales problemas de salud pública, se conoce de antemano que las diferentes actividades antropogénicas como la combustión, presente en todas las actividades tanto industriales como domésticas, así como la presencia de radiación solar generan múltiples reacciones químicas en la atmósfera, que resultan en nuevos compuestos químicos capaces de alterar el equilibrio natural de la atmósfera.

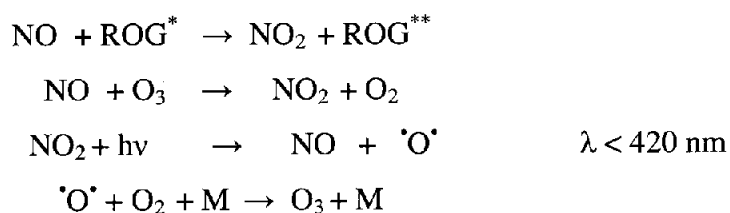
La importancia de las reacciones químicas varía con la localización y el tiempo, la troposfera libre es afectada principalmente por compuestos inorgánicos, orgánicos. Las regiones urbanas son afectadas por compuestos orgánicos, inorgánicos y multiplicidad de reacciones secundarias. La importancia de las reacciones también varía con el ciclo diurno así como las estaciones del año.

### ***Smog fotoquímico***

La contaminación urbana está dividida en dos grandes categorías, cuando la luz de sol es intensa y cuando las emisiones de la combustión de combustibles fósiles son altas, dando como resultado la contaminación del aire llamado smog fotoquímico. Cuando las emisiones de azufre del carbón quemado por plantas de poder son altas, la luz solar poco intensa y una humedad relativa alta la contaminación de aire se le llama smog tipo londinense. Muchas ciudades a nivel mundial experimentan los dos tipos de smog, en el caso de México se observa el smog fotoquímico.



El smog fotoquímico se forma por reacciones que involucran a los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos muy reactivos conocidos como (ROG) por sus siglas en ingles, y la presencia de la luz solar. En una típica mañana el NO y los ROGs son emitidos desde las fuentes móviles y otras fuentes como las de área, los ROGs son transformados en radicales libres, los radicales formados reaccionan con el NO para formar NO<sub>2</sub>, así también en ozono preexistente en la atmósfera transforma el NO a NO<sub>2</sub>, la luz solar rompe el NO<sub>2</sub> a NO y O, finalmente el oxígeno atómico reacciona para formar ozono, las reacciones básicas de estas transformaciones son las siguientes:



de donde ROG<sup>\*\*</sup> es otro radical formado a partir de ROG<sup>\*</sup>, aquí es importante destacar que la producción del ozono en la troposfera libre y el de aire urbano radica en la contribución de los radicales ROGs que se convierten en NO a NO<sub>2</sub>.

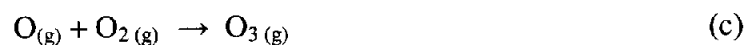
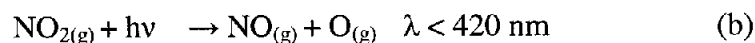
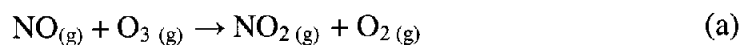
### ***Emisiones de los precursores del smog fotoquímico***

Los gases emitidos en áreas urbanas incluyen a los óxidos de nitrógeno, gases reactivos orgánicos, monóxido de carbono y los óxidos de azufre, de todos estos. Los NO<sub>x</sub> y los ROGs son los precursores más importantes del smog fotoquímico, se sabe que en las grandes urbes como la ciudad de México, se ha visto que el CO es el más abundante de los gases emitidos a la atmósfera, de los NO<sub>x</sub> se conoce que el 85% emitido es NO, así también de los SO<sub>x</sub> presentes en la atmósfera casi todo es SO<sub>2</sub>. En el caso de los ROGs el tolueno, pentano, butano, etano, octano y el xylene son los que se emiten en más abundancia, esta abundancia no es necesariamente un parámetro que predice la abundancia del smog fotoquímico, la combinación de abundancia y reactividad de los elementos presentes en la atmósfera, es la que determina que los ROGs se conviertan en los principales productores del smog fotoquímico.

## **Química de la parte baja de la troposfera**

La fotoquímica en la troposfera fuera de las regiones urbanas es gobernada principalmente por compuestos inorgánicos y así como reacciones orgánicas catalizadas con luz solar. Moléculas orgánicas en fase gaseosa con alto peso molecular son emitidas antropogénicamente, tales como el tolueno y el xileno, se rompen químicamente en horas o en pocos días. La mayor parte de la troposfera libre, especialmente a altas altitudes y lejos de regiones urbanas no es afectada por estos gases, el aire sobre los trópicos y sobre regiones con vegetación es afectada por otro tipo de reacciones. Por las investigaciones relacionadas en la atmósfera se sabe que el ozono se puede producir por diferentes fuentes, es decir por múltiples reacciones como pueden ser las de los óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, metano, formaldehído entre algunos otros compuestos más, además se sabe que el ozono es esencialmente fotoquímico, ya que la mayoría de las reacciones requieren como parte del mecanismo luz proveniente del sol.

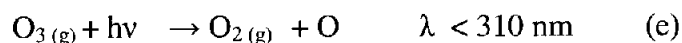
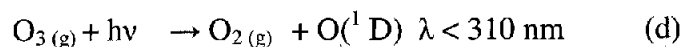
En la troposfera baja el ozono está determinado principalmente por tres reacciones las cuales involucran principalmente al  $\text{NO}_{(g)}$  y al  $\text{NO}_2$  estas tres reacciones se observan por los siguientes mecanismos.



**\*\* Reacciones del estado fotoestacionario del Ozono**

En muchas regiones de la troposfera el  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ , y el  $\text{O}_3$  están como se puede apreciar en las reacciones anteriores, fuertemente acopladas, en la troposfera libre las razones de mezcla del  $\text{O}_3$  es de (20-60 ppbv) y son mucho más altas que las del  $\text{NO}$  (1-60 pptv) o las de  $\text{NO}_2$  que son de (5-70 pptv) y esto no agota el ozono durante el día o la noche.

En la noche en regiones urbanas, la razones de mezcla del NO pueden exceder las del O<sub>3</sub> y la reacción (a) puede agotar el ozono local. Otras dos reacciones importantes que acompañan los mecanismos (a) y (c) en las cuales se ve afectado el ozono son

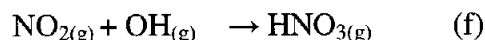


Donde O(<sup>1</sup>D) es un átomo de oxígeno excitado, en la troposfera libre la vida media del ozono que se destruye por esta reacción es de cerca de 0.7 y 14 horas respectivamente.

El tiempo de vida media del ozono que se destruye por NO en la reacción (a) es por debajo de las 126 horas por estas condiciones. Ahora en tiempo día la troposfera libre, destruye el ozono fotolíticamente más rápido que la que ocurre con NO.

### **Remoción de los Óxidos de Nitrógeno**

Durante el día el NO<sub>2(g)</sub> es removido lentamente del ciclo fotoestacionario por la reacción siguiente



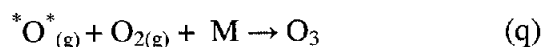
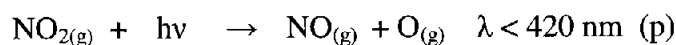
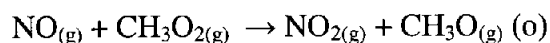
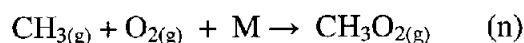
Para que esta reacción se lleve a cabo se necesita la presencia del radical OH<sub>(g)</sub> un oxidante fuerte que se obtiene por medio de la descomposición de otros gases, con suficiente tiempo el radical OH<sub>(g)</sub> rompe cada gas orgánico presente así como también gases inorgánicos en el aire. Se sabe que la concentración total en la atmósfera libre y limpia es del orden de 2 x 10<sup>5</sup> a 3 x 10<sup>6</sup> moléculas por cm<sup>3</sup> y en áreas urbanas se tienen concentraciones típicas del orden de 1 x 10<sup>6</sup> a 1 x 10<sup>7</sup> moléculas por cm<sup>3</sup>, con lo que se concluye que las concentraciones de OH<sub>(g)</sub> en la troposfera libre depende del ozono y la cantidad de vapor presente en la atmósfera. Durante la noche cuando la reacción (b) se corta eliminando la mayor cantidad de fuentes de oxígeno O<sub>(g)</sub> y NO<sub>(g)</sub>.

Debido a que el oxígeno es necesario para la formación de ozono, el ozono producido también se para en la noche, así ni el  $O_{(g)}$ ,  $NO_{(g)}$  o el  $O_3$  se produce químicamente. Si el  $NO_{(g)}$  es emitido en la noche este destruirá el ozono por la reacción (a) ya que la fotólisis del  $NO_{2(g)}$  se corta en la noche.

### **Producción de Ozono por Metano**

El metano con una razón de mezcla de 1.8 ppmv, es el más abundante gas orgánico presente en la atmósfera, en la troposfera libre su tiempo de vida es de 8 a 12 años, el metano tiene una de las reacciones mas importantes con el radical hidroxilo, en cual en su ciclo de reacciones genera ozono, pero este incremento en la producción de ozono, es pequeño en comparación con la cantidad de ozono producido fotoestacionariamente.

La secuencia de reacciones para la producción del ozono es la siguiente:



en la primera reacción el OH quita un átomo de hidrogeno al metano, produciendo un radical metil y agua, en la estratosfera, esta reacción es la más importante fuente de vapor de agua, la reacción (n) es una reacción muy rápida por lo tanto la transformación es inmediata, como se puede ver el resto de las reacciones es casi similar a la de monóxido de carbono excepto que el radical metilperóxido formado en la reacción (o) convierte el NO a  $NO_2$  a diferencia de la secuencia del monóxido de carbono que el  $HO_2$  realiza la conversión. Por otra parte sabemos que en la atmósfera ocurren más procesos en la formación del ozono, en este caso solo es importante mencionarlos, procesos de formación podemos mencionar algunos como el del formaldehído, el etano la producción del PAN (peroxiacetil nitrato) y ozono del acetaldehído y muchas otras reacciones más.

## Capítulo V Metodología y Resultados

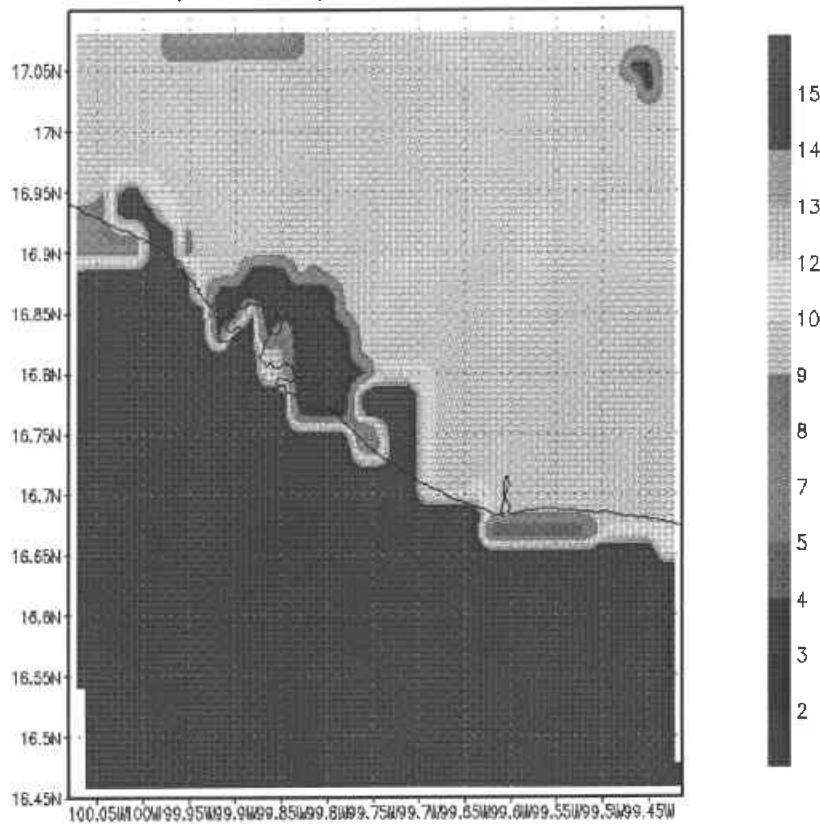
### *Método*

#### **Escenarios Urbanos**

Mediante un análisis de la zona de estudio, se obtuvo el crecimiento de la mancha urbana. Para llevar a cabo esta evaluación se usaron tomas temporales de fotografías aéreas en blanco y negro y con la sobreposición de los mapas y un sistema de información geográfica y de esta manera se obtuvieron los mapas del crecimiento de la mancha urbana. Analizando la información, se observaron los usos que fueron afectados por la mancha urbana, con lo cual se determinaron los dos escenarios posibles y sus distribuciones poblacionales. No se desarrollan proyecciones futuras ya que se requieren ciertas consideraciones que para efectos de este estudio quedaron descartadas.

Mediante la visualización del terreno, se obtuvo un panorama general de cómo se está desarrollando la urbanización y apoyado en los planes directores urbanos, se crearon dos posibles crecimientos urbanos como se mencionó anteriormente. En los desarrollos observamos como las nuevas infraestructuras y la zona habitacionales, trazan a la ciudad de Acapulco de cierta forma, la cual está ligada a la economía, la política y el crecimiento propio de la urbanización. Con base en lo anterior, se desarrolló una urbanización con un cambio en la distribución del área urbana, es decir sin aumento de población, como lo vemos en la siguiente (Fig 16).

### Acapulco Exp 1 Uso de Suelo



GrADS: COLA/IGES

2005-04-01-11:01

Figura 16 Acapulco Modificacion Uso de Suelo Urbano con crecimiento hacia la zona oriente del municipio de Juarez, la escala va desde 1 a 15 en donde el 1 indica suelo urbano el 9 sabana y el 15 agua

En este primer escenario(Fig 16) podemos observar en color morado como la zona posterior a la bahía de Acapulco crece junto con la zona de punta diamante en dirección hacia Barra vieja es decir dirección sur oeste, así como un crecimiento de la zona de renacimiento al este de la costera Miguel Alemán. En este desarrollo urbano se observa como el crecimiento urbano, se comporta como lo ha venido haciendo durante los últimos 50 años, generando zonas urbanas aledañas a los centros turísticos en desarrollo.

Este desarrollo obedece a las condiciones actuales de la ciudad, donde la zona de Punta Diamante, la cual se esta fraccionando para desarrollar nuevos complejos turísticos y necesitará gente que genere los servicios básicos de esta zona, como ocurrió a principios de los años cuarentas donde la costera fue creciendo por la población que se asentó cerca de las zonas turísticas y comerciales del puerto de Acapulco.

Para el segundo escenario de urbanización como los muestra la (Fig 17), se tiene un crecimiento más distribuido sobre la costa de Acapulco, es decir más hacia la costa norte de Acapulco hacia Pie de la Cuesta y la laguna de Coyuca, esto significo distribuir a la población de Renacimiento y zonas posteriores hacia posibles zonas turísticas y económicas del norte de Acapulco.

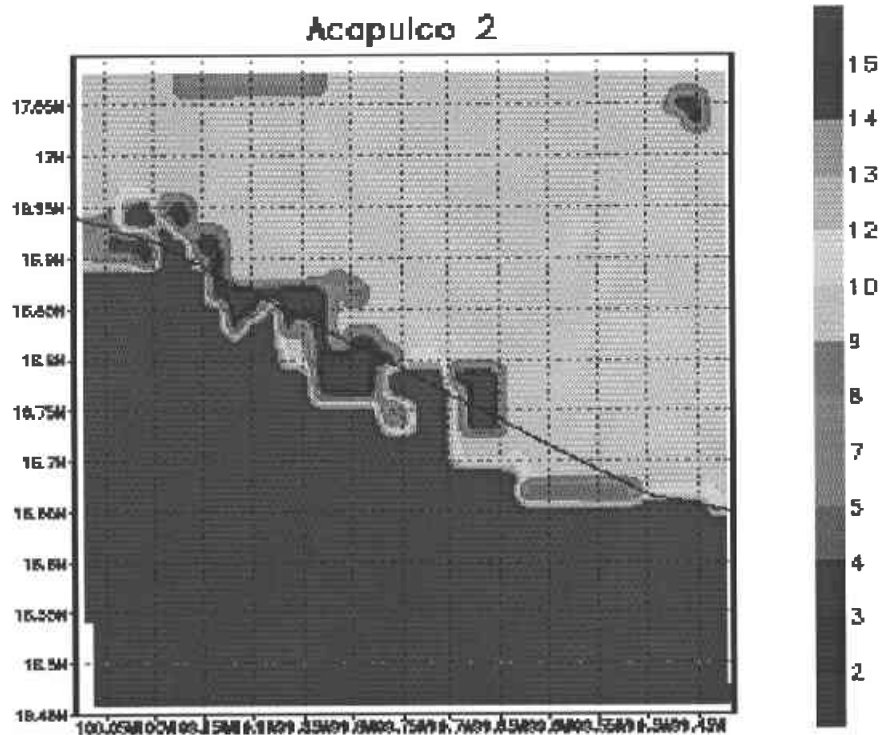


Figura 17 Acapulco modificación del uso de suelo con crecimiento hacia el norte y sur del municipio de Juárez la escala va desde 1 a 15 en donde el 1 indica suelo urbano el 9 sabana y el 15 agua

En este caso vemos como la zona de Punta Diamante, la población disminuye en densidad al redistribuir las zonas económicas a lo largo de la costa norte, liberando posibles concentraciones elevadas de población en el sur de Acapulco.

### ***Modelo de Calidad del Aire***

Para la modelación de la calidad del aire en escala regional es necesario poder obtener información en escala sinóptica ya que la calidad del aire se determina por los efectos en gran escala, por esta razón necesitamos un modelo a multiescalas. El modelo MCCM elegido para realizar este estudio conserva todas las capacidades del modelo meteorológico MM5, permitiendo obtener mejores resultados de entrada para el modelo de calidad de aire. Por la parte de la química de la fase gaseosa el MCCM emplea el mecanismo RADM2 (*Rain Acid Deposition Model V2*) el cual se basa en la aproximación de reactividad agregada molecular (Middleton et al., 1990).

### ***Emisiones***

En el caso del área de estudio no se tiene una base de datos de inventarios de emisiones horarias consistente para generar el escenario de emisiones de la ciudad de Acapulco, por lo que se procedió a utilizar la base generada para la Ciudad de México (García et al., 2002). Esta base contiene la distribución espacial de las emisiones de la Ciudad de México que se adecuó para el caso de Acapulco de Juárez y contiene la distribución horaria . La base final generada es compatible con el modelo MCCM.



### ***Observaciones de campo***

Las observaciones horarias en superficie de las variables meteorológicas y químicas fueron obtenidas de las estaciones en superficie de la armada de México, el servicio meteorológico nacional y la unidad móvil de monitoreo ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM.

Al no contar con estaciones de monitoreo de calidad del aire la única estación que proporcionó datos de los contaminantes atmosféricos fue la unidad móvil de Centro de Ciencias de la UNAM, presente en la zona de estudio para los días de modelación. En los días de muestreo se obtuvieron datos de superficie de Temperatura, velocidad de viento, dirección, así como los datos de Ozono para el 30 y 31 de diciembre 2002

### ***Calibración del Modelo***

El inventario de emisiones empleado por el modelo se calibró utilizando los datos de la campaña desarrollada en 2003 en el puerto de Acapulco de Juárez. Esta campaña se realizó con la finalidad de ver el comportamiento de la calidad de aire en la zona, Cabe destacar que la solo se contó con la unidad móvil del Centro de Ciencias de la Atmósfera en la zona metropolitana de la costera Miguel Alemán ver (Fig. 17), la cual cuenta con equipo básico para el monitoreo meteorológico y para en análisis de compuestos químicos presentes en la atmósfera, Para este estudio se empleó sólo el Ozono. Como parámetro principal de contaminante atmosférico, se contó con un Analizador de Ozono de la marca Termo Environmental Instruments 49C, el cual tiene un rango de operación desde los 0 hasta los 200 ppm. Su método básico es por fotométrica en Ultravioleta.

Los días de mayor interés se centraron en observaciones y registros de afluencia vehicular en la zona costera de Acapulco. Se estudio el peor caso del año, es decir el 31 de Diciembre del 2002 ya que se presentaron condiciones meteorológicas estables y optimas para el desarrollo de los escenarios de contaminación.

En cada uno de los experimentos se modificaron los usos de suelo, en base a la distribución de la población a los largo de los zona costera de la ciudad de Acapulco de Juárez. Se observó el comportamiento de las variables meteorológicas y concentraciones de ozono con la finalidad de comparar las salidas del MCCM, con los datos observados de las estaciones y unidad móvil y de esta manera calibrar el modelo.

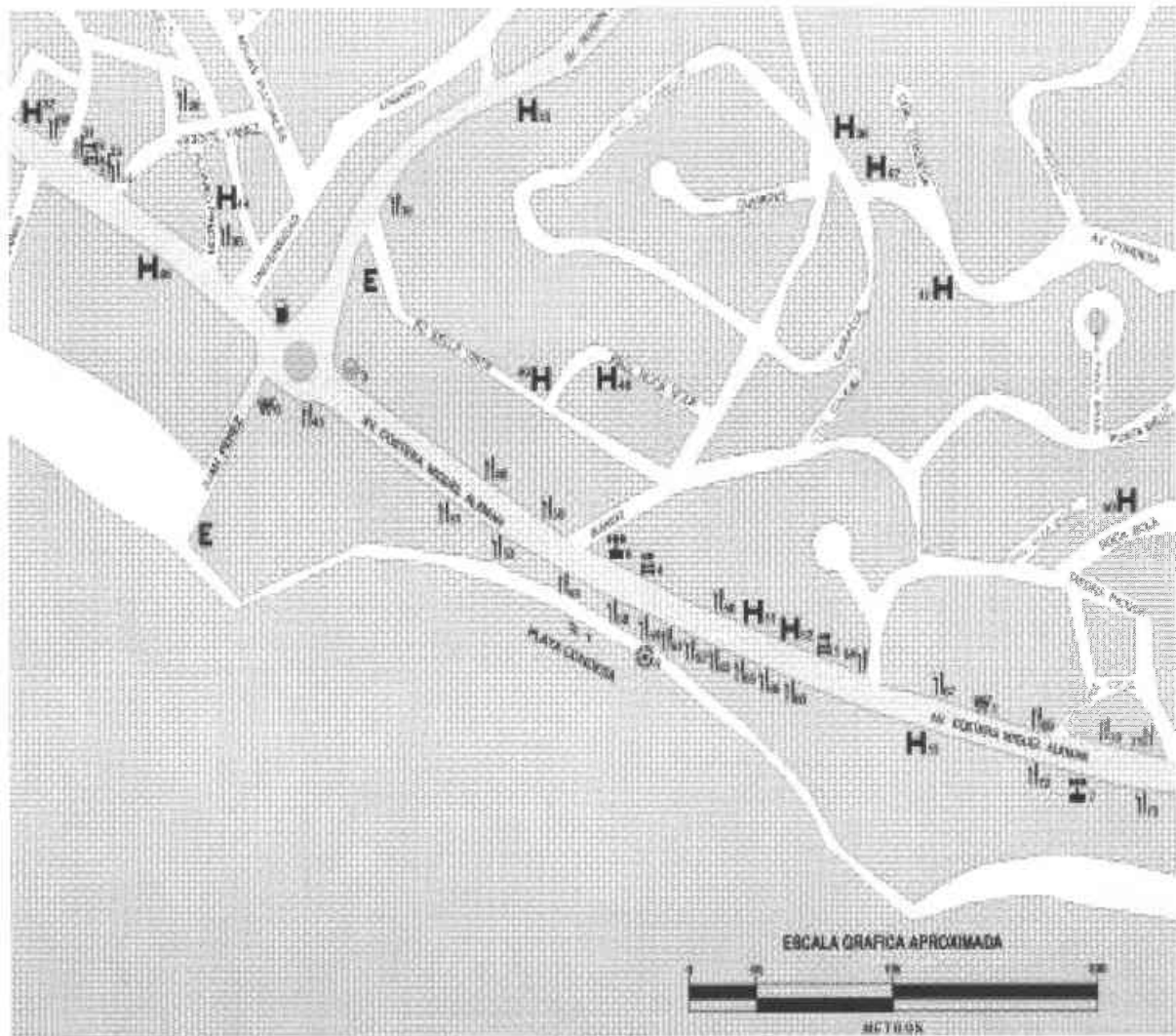


figura 17 Mapa de la Costera Miguel Alemán marcado en rojo se observa la ubicación de la unidad móvil del Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM

Para todos los casos se contó con los datos observados para los días 30 y 31. Las variables fueron temperatura superficial, humedad relativa y las componentes de velocidad de viento, los datos de calidad del aire se obtuvieron con datos, de las 9 am a las 7 pm.

Los ciclos diurnos son observables tanto en condiciones meteorológicas como de calidad del aire para los tres casos. Para el caso de calidad del aire no se contó con una red amplia de monitoreo atmosférico si no con datos puntuales de la estación móvil del Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM, colocada en el la costera Miguel Alemán Valdez del Puerto de Acapulco.

En el MCCM se aplicó la técnica de anidamientos múltiples para la zona de estudio, ver (Fig.18). Estos anidamientos permiten obtener mejor resolución en los resultados para modelar la química del área de estudio.

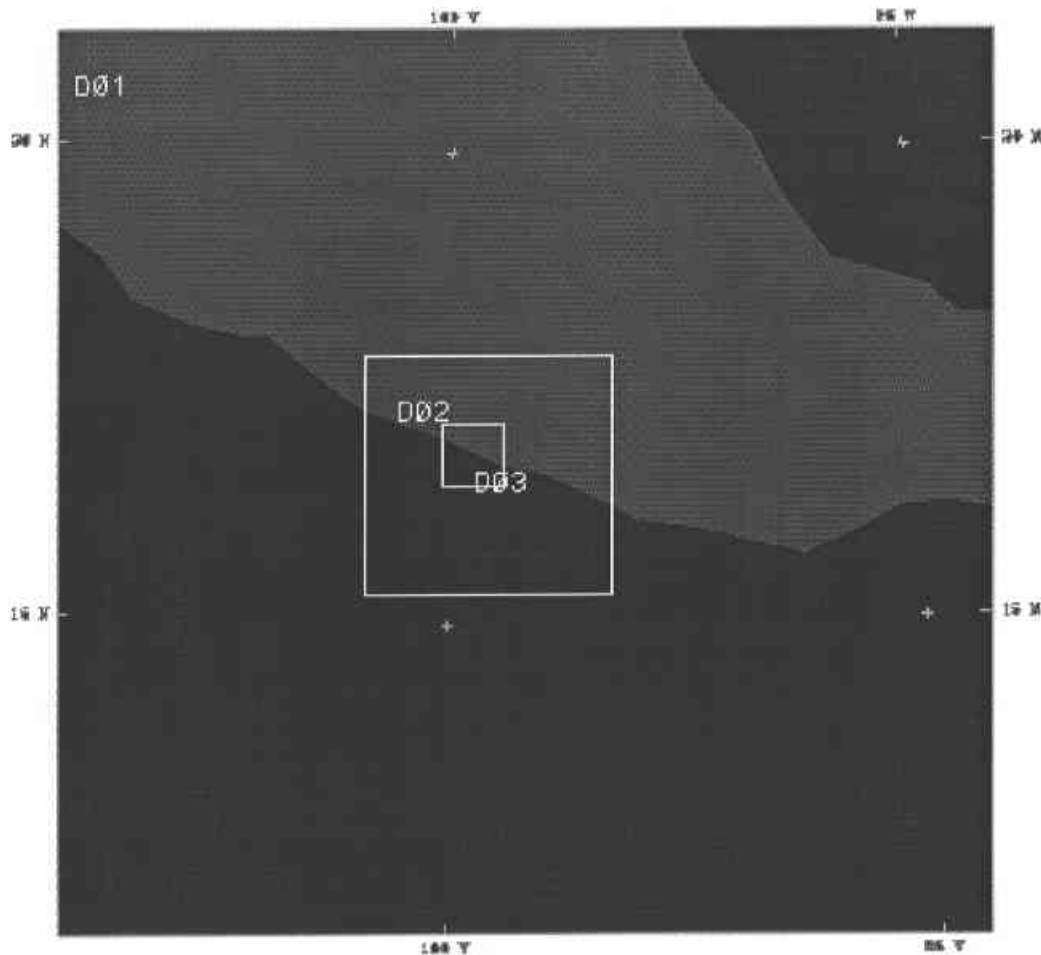


Figura 18 Dominios Múltiples MM5

### ***Datos para iniciar el MM5***

El modelo numérico utilizó condiciones iniciales y de frontera lateral para realizar simulaciones o predicciones a 12, 24, 36, 48 ...120 horas etc. En el presente trabajo se utilizaron datos de los análisis globales NCEP<sup>4</sup>, para generar las condiciones iniciales del modelo. De igual forma se utilizaron los análisis globales del NCEP, para actualizar las condiciones de frontera lateral.

<sup>4</sup> <http://dss.ucar.edu/datasets/ds083.2/data/>

Las variables necesarias para el MM5 son:

- Componente zonal y meridional ( $u$  y  $v$ ) del viento
- Temperatura
- Humedad relativa
- Presión reducida al nivel del mar
- Altura geopotencial

Todas las variables se obtuvieron en 17 niveles que van desde los 1000 mb hasta los 100mb, con excepción de la humedad relativa que solo se reporta hasta el nivel de 300mb. De la misma forma, se obtuvieron los datos medios semanales de la temperatura superficial del mar (con resolución espacial de  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ), construidos por medio de métodos óptimos de interpolación por el NCEP (Reynolds y Smith, 1994), los cuales sirven para actuar como condición de frontera en áreas oceánicas.

Para la asimilación de datos en el análisis LITTLE\_R se obtuvieron:

- Datos diarios de la Temperatura Superficial del Mar (TSM). Con resolución de  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ , implementados por NCEP a partir del 30 de enero del 2001, proveyendo a la TSM diaria para el modelo Meso-Eta. Estos datos se actualizaron cada seis horas durante un periodo de integración
- Datos de viento derivados por el satélite (QuikScat). Proporciona información de las componentes zonal y meridional del viento a 10 metros de la superficie del mar, con la resolución espacial de  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$  (<http://poet.jpl.nasa.gov/>).
- Observaciones de radiosondeos (<http://raob.fsl.noaa.gov/>) de las estaciones localizadas en la regiones de estudio con las siguientes variables: altura neopotencial, temperatura del aire, temperatura del punto de rocío, dirección e intensidad del viento.

- Datos de temperatura, presión, humedad relativa, dirección y velocidad del viento de las estaciones meteorológicas automáticas de superficie, del Servicio Meteorológico Nacional.
- Datos de superficie, barcos y boyas obtenidos por NCAR (<http://dss.ucar.edu/datasets/ds464.0/data/>).

El proceso de asimilación de datos consiste en una serie de pasos entre los que destacan el control de calidad, filtrado de datos equivocados y suavizamiento e interpolación de los datos observados. En el programa de preprocesamiento LITTLE\_R, se considero un nivel de tolerancia del treinta por ciento en el control de calidad entre los datos observados y los datos de análisis utilizados para la condición inicial. Es necesario obtener la meteorología de la ciudad actual, con la finalidad de comparar los datos observados con los datos modelados y poder cuantificar la precisión de la modelación. Los datos de salida del modelo se obtuvieron por medio de GRADS(Grid Analysis and Display System) <sup>5</sup>. Este sistema permite la manipulación y visualización de los datos de salida del MM5 y del MCCM. Los datos de salida de la meteorología fueron comparadas con los datos obtenidos por la unidad móvil, ubicada en el área de estudio para los días 30 y 31 de diciembre.

En las siguientes graficas (de la 19 a la 23) se observan los datos de salida del modelo realizados en la ciudad actual la cual lo denominamos control. En la figura 19 se comparan la temperatura superficial obtenida y los reportados por la estación móvil. Una vez constatado la operación satisfactoria del modelo se procedió a evaluar los escenarios urbanos propuestos.

---

<sup>5</sup> <http://grads.iges.org/grads/grads.html>

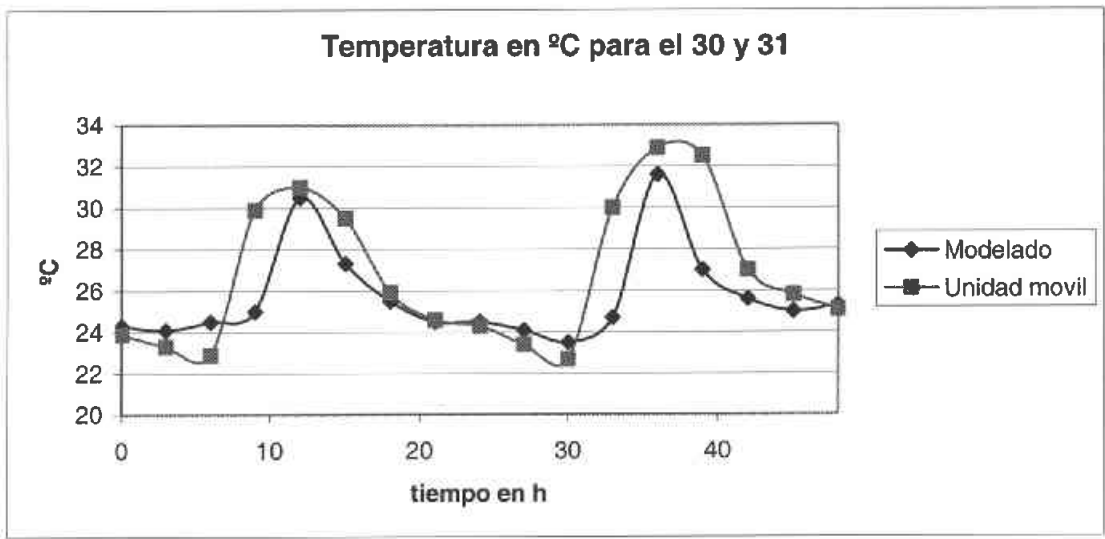


fig 19 Datos de salida del modelo y la unidad móvil de temperatura para el 30 y 31 de Diciembre del 2003 del escenario control y la unidad movil

La ubicación de la unidad móvil se estudió con base en las observaciones de campo, sobre las zonas de más alta concentración y afluencia vehicular del puerto de Acapulco.

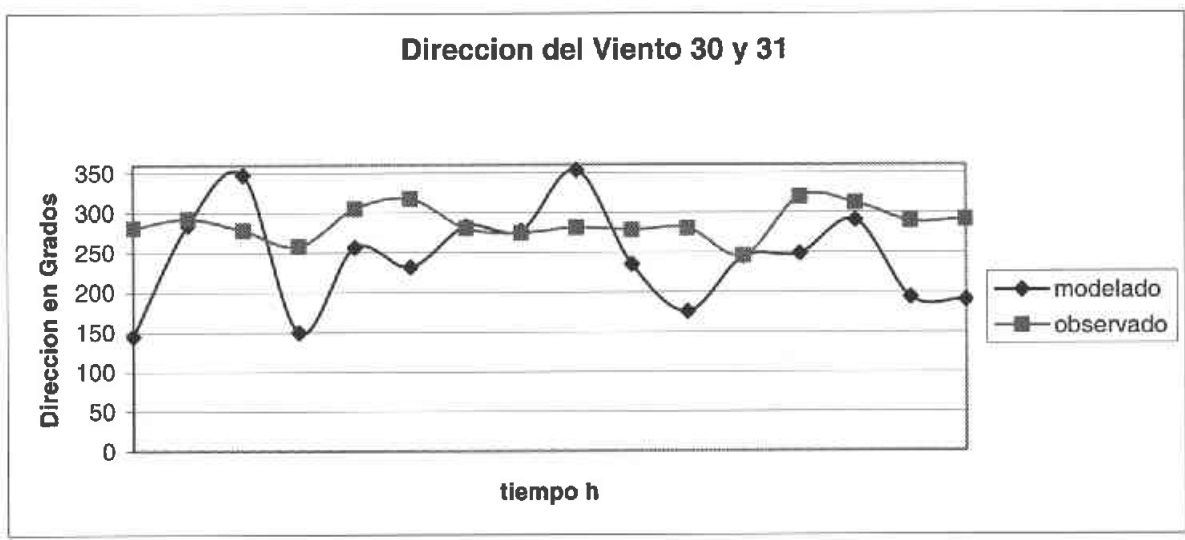


figura 20 Datos de salida del modelo y la unidad móvil de dirección de viento para el 30 y 31 de Diciembre del 2003 del escenario control y la unidad móvil

En la (Fig. 20) se comparan los datos de viento observados y modelados, se distinguen ciertas variaciones a lo observado, consecuencia de la rugosidad de la zona urbana, la cual permite que el viento cambie de dirección con mucha frecuencia (Jáuregui, E. et. al., 1995).

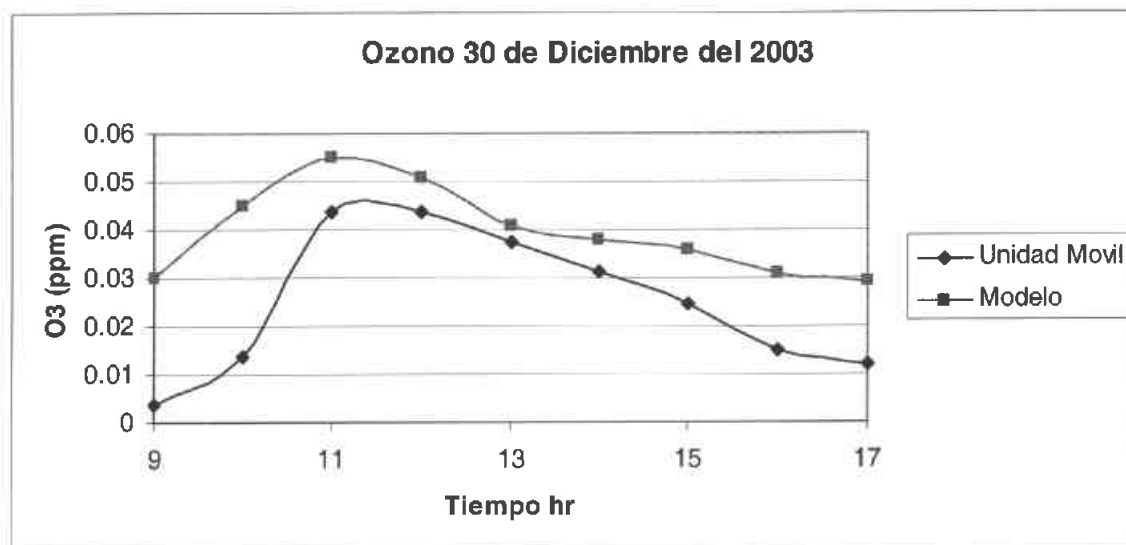


Figura 21 Datos de Salida del modelo y la unidad móvil de Ozono para el 30 de diciembre del 2003

Los resultados de la modelación del ozono se presentan en las Figuras (21 y 22), en la Figura 21 podemos observar como la concentración de ozono es mas baja en la observada con respecto a la modelada, esto se debe a que sólo contamos con un punto de referencia lo cual limita observar la distribución completa de la zona, pero el modelo se comporta muy cercano a lo observado como lo demuestra la (Tabla 1).

Para la figura 22, observamos que el modelo quedó por debajo de en la parte con mayor concentración de ozono y por arriba en la partes mas bajas de emisión de ozono, esto se debe a que no se contó con el inventario correspondiente, además de no tener mas concentraciones en otras zonas de la ciudad, dejando a la unidad móvil como único control de referencia de la emisión.



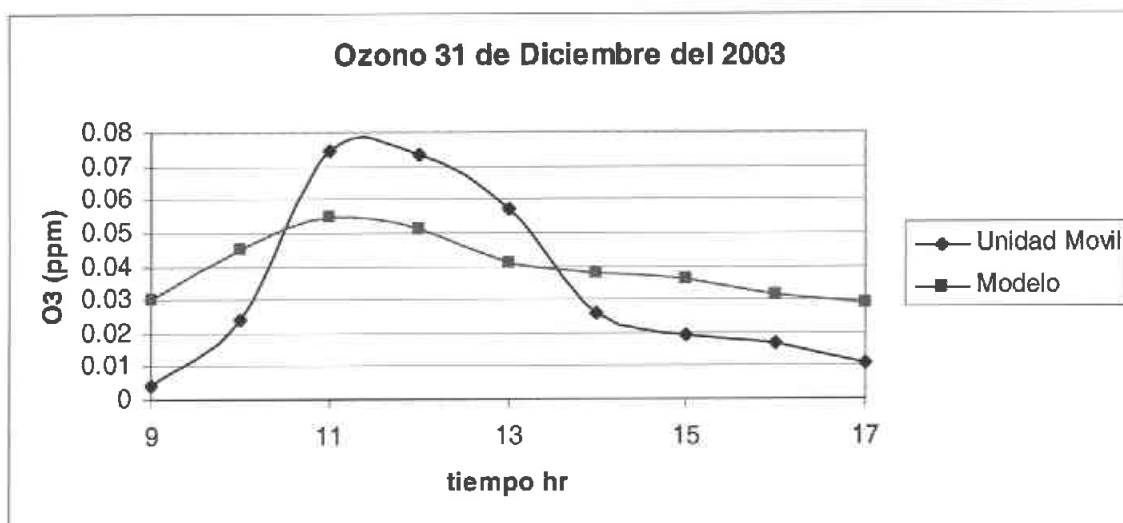


Figura 22 Datos de Salida del modelo y la unidad móvil de Ozono para el 31 de diciembre del 2003.

<b>Desempeño del modelo MCCM sobre la media de 9 h sobre el promedio de concentraciones en (ppm) del 30 y 31 de Diciembre del 2003</b>				
Especie	Media Observada	Media Simulada	Media normalizada bias (%)	Error medio normalizado(%)
O <sub>3</sub> (30 dic 03)	0.0395	0.0250	-36.58	4.5726
O <sub>3</sub> (31 dic 03)	0.0311	0.0395	3.3843	3.3843
<b>Desempeño del modelo MCCM en la media de 48 h sobre el promedio de temperaturas y dirección de viento del 30 y 31 de Diciembre del 2003</b>				
Variable Meteorológica	Media Observada	Media Simulada	Media normalizada bias (%)	Error medio normalizado(%)
Temp °C	26.74	25.70	-6.12	3.89
Direccion En Grados	286.48	244.218	-14.75	0.867

Tabla 1 Desempeño del modelo MCCM

En la Tabla 1 se pueden ver una comparación estadística obtenida del escenario control, Para el día 30 de diciembre solo se pudieron comparar 8 horas sin embargo esta información del modelo es importante y nos permitió ver el comportamiento en la zona., esto no da un error normalizado del 4.57% para el 30 un error normalizado del 3.3% para el 31 de diciembre

En el caso de las variables meteorológicas se tuvieron más observaciones, y esto nos permitió compararlos con los datos simulados, El calculo de la temperatura se tiene un error del 3.8% normalizado con respecto a los datos observados, la dirección del viento se presenta un error más grande. Esto se debe a los efectos del contraste térmico en la zona y que son difíciles de reproducir, sobre todo a nivel local.

### ***Selección de los Episodios de simulación***

Para este estudio se tomó en consideración un día de alto flujo vehicular en la ciudad de Acapulco. Se sabe por observaciones realizadas que la ciudad de Acapulco por ser un lugar de alta afluencia turística, existen dos periodos interesantes; el verano y el invierno. El verano se caracteriza por altas temperaturas y lluvias frecuentes, el de invierno por relativamente más bajas temperaturas y muy poca lluvia. Para poder simular escenario de contaminación atmosférica es importante no tener presencia de lluvias, por lo que se evaluó el día 31 de Diciembre del 2003. Las simulaciones fueron iniciadas con 48 horas de anticipación para el día de estudio, con la finalidad de tener las mejores condiciones iniciales para la fotoquímica del tercer dominio anidado.

### ***Condiciones meteorológicas y de calidad del aire.***

Las condiciones climáticas prevalecientes en la zona de la ciudad de Acapulco son relativamente complejas, al ubicarse en la zona del pacífico sur de la republica mexicana. Presenta un clima del tipo monzónico, exhibe la señal de la llamada Canícula en el ciclo anual de las lluvias. Este elemento del ciclo anual consiste en un mínimo relativo de las lluvias de verano entre julio y agosto, y dos máximos de precipitación, uno en junio y otro en septiembre. Un elemento de particular importancia en el clima es su variabilidad interanual del clima que se caracteriza por años secos o años lluviosos. De acuerdo con las observaciones obtenidas, el año de modelación 2003 de caracterizó por ser un año con lluvias medias. Debido a las condiciones sinópticas, la climatología del lugar esta influenciada por los efectos de la brisa marina, donde los vientos son del oeste al este por las mañanas y del este al oeste por las tardes, por las condiciones orográficas de la ciudad. La zona del centro de la ciudad al ubicarse en la bahía donde se encuentra rodeada por montañas urbanizadas donde se pueden observar gradientes térmicos que originan vientos en la superficie lateral del anfiteatro de Acapulco. Para el caso de la zona de Punta Diamante al sur de la ciudad, el terreno es casi plano por lo que los vientos claramente entran del este al oeste en las mañanas con patrones no turbulentos. En la Fig. 23 se pueden observar las curvas de nivel y el porcentaje de población en la zona de estudio

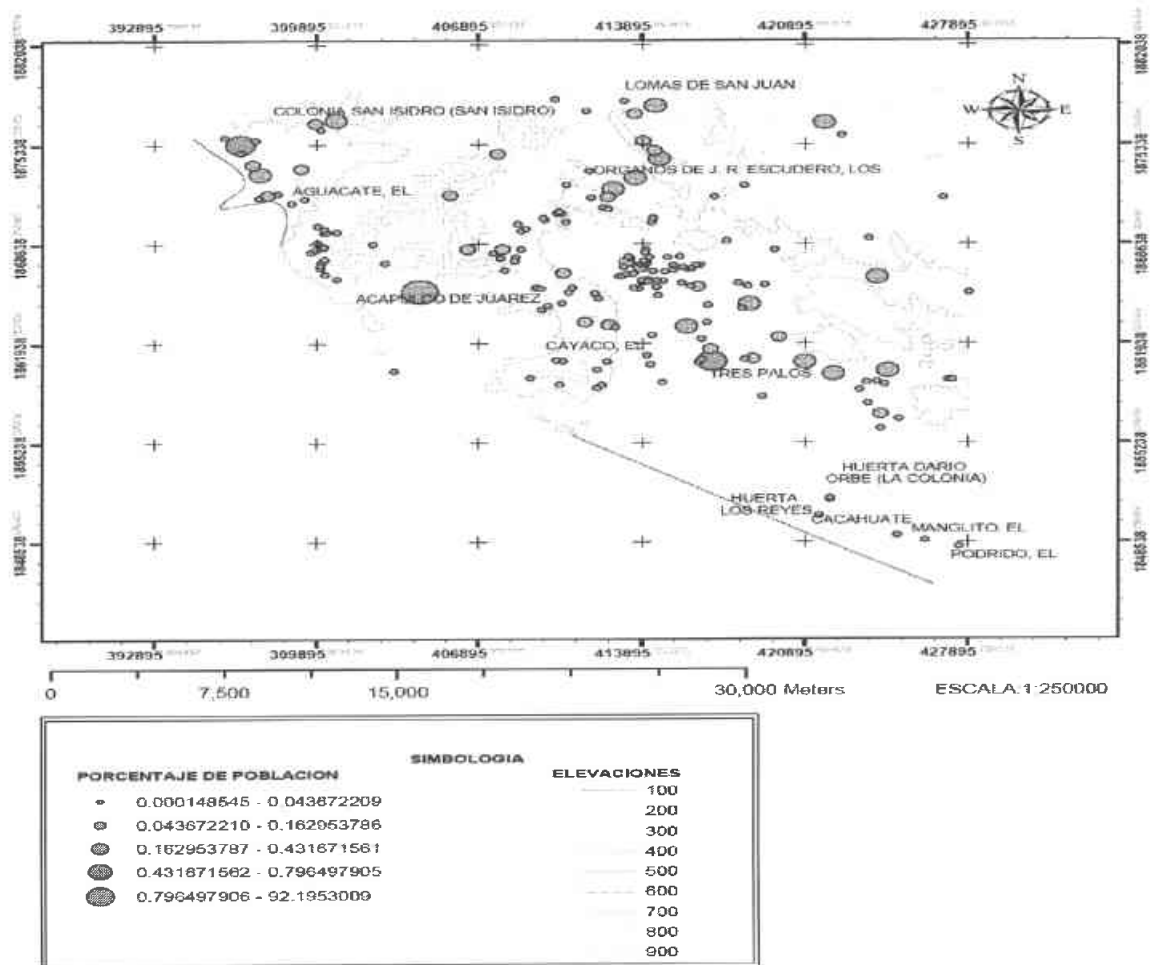


Figura.23 Porcentaje de Población y curvas de nivel del Municipio de Acapulco de Juárez

Para la calidad del aire observamos que la distribución de contaminantes se ven influenciados por los efectos meteorológicos locales, como es de esperarse se observan concentraciones muy bajas de ozono en las mañanas y altas concentraciones al medio día, entre las 12 y 15 horas locales. Los contaminantes fueron producidos por las emisiones vehiculares y fuentes de área.

## RESULTADOS

Para visualizar los resultados se obtuvieron las imágenes de salida del modelo por medio de GRADS<sup>6</sup>,

### Gráficos de las simulaciones

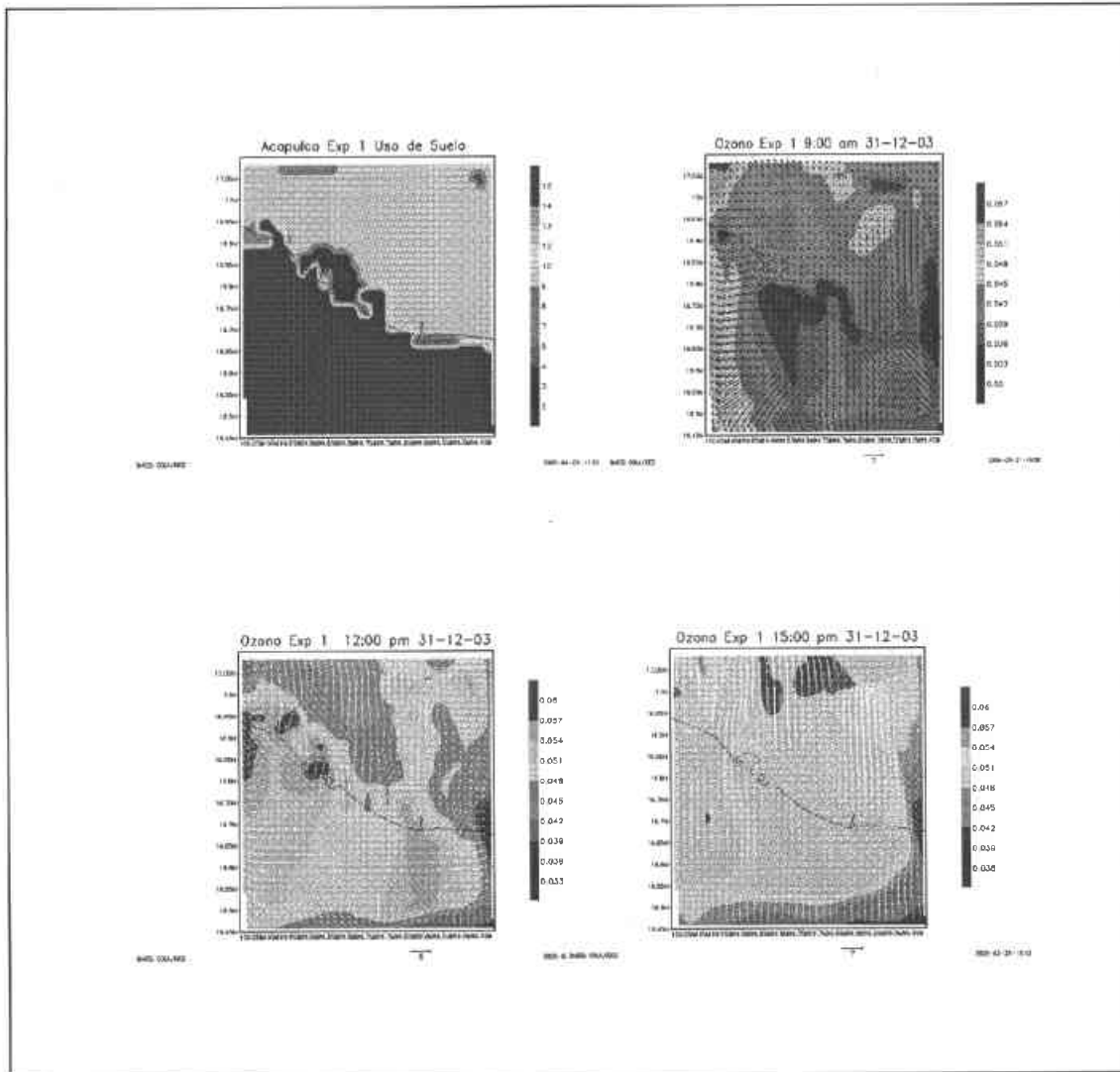


Figura 24 Distribución de las razones de mezcla de ozono con campos de viento en superficie de las 9 am a las 15 pm

<sup>6</sup> <http://grads.iges.org/grads/grads.html>

En la Fig. 24 se muestra la distribución de la concentración de Ozono en las gráficas de la salida del MCCM desde las 9 am a las 15 pm hora local, del día 31 de Diciembre para el Escenario 1. En ellas podemos apreciar la distribución de las concentraciones de ozono y el comportamiento del campo de vientos en la zona propuesta como posible desarrollo urbano. Se observa claramente el fenómeno local de la brisa marina y como el desplazamiento del ozono se ve influenciado directamente por el viento.

Vemos que la zona posterior del anfiteatro presenta la mayor concentración de ozono en comparación al resto de la zona urbana

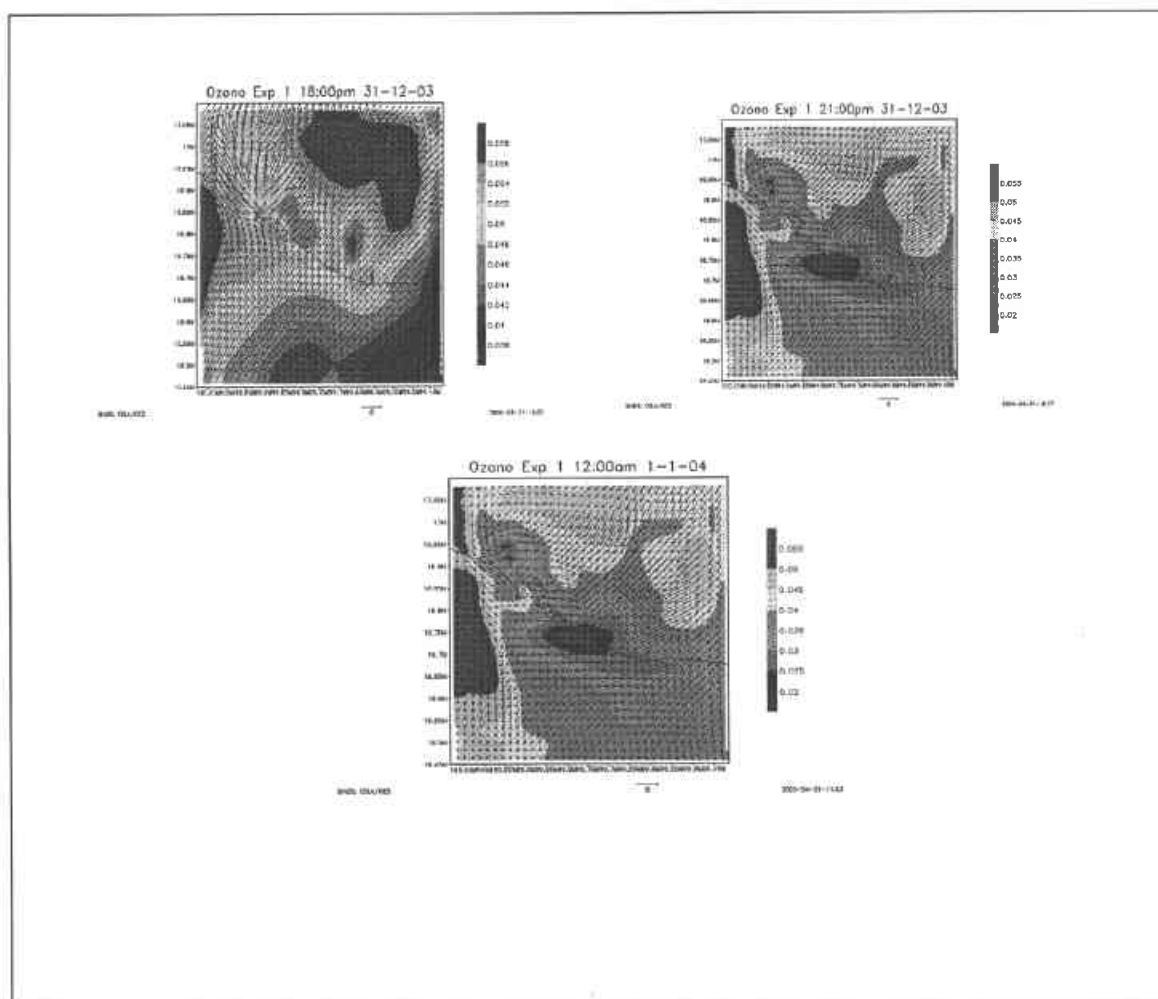


Figura 25 Distribución de las razones de mezcla de ozono con campos de viento de las 18 am a las 21 pm

En la Fig. 25, se observan las gráficas del resto del ciclo diurno, En ellas podemos apreciar como el fenómeno de la brisa marina, controla el clima y la distribución de los contaminantes. En este caso vemos como el ozono se desplaza del interior, es decir de tierra adentro hacia la zona costera del océano pacifico dejándose ver ciertos remanentes del mismo en la zona sur de la ciudad. Por otra parte se observan, de las 18 hrs a las 12:00 am del siguiente día, muy bajas concentraciones de ozono, pero en ciertas zonas rurales existen niveles altos de contaminantes, esto se ven distribuidos por toda la zona costera y para del océano Pacífico.

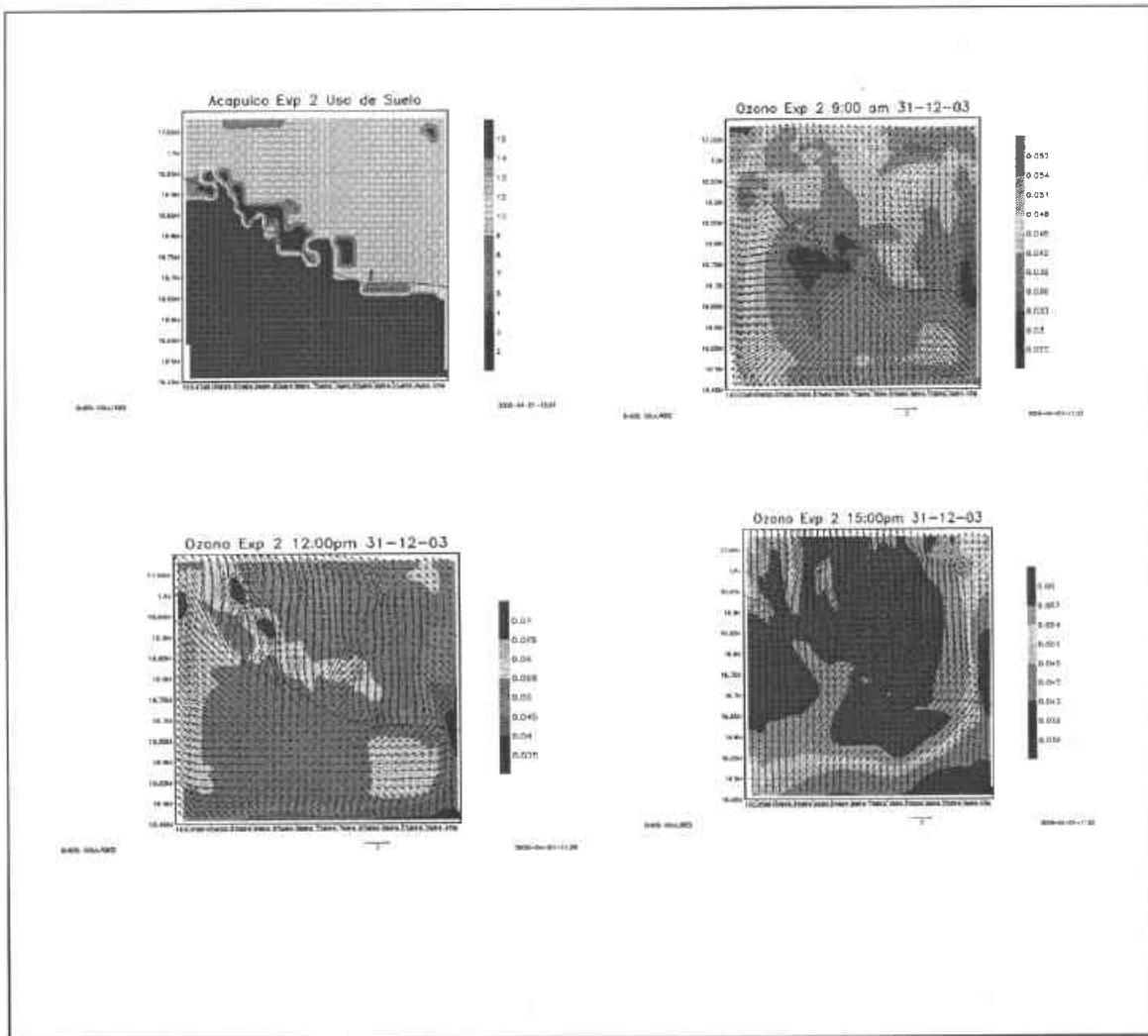


Figura 26 Distribución de las razones de mezcla de ozono con campos de viento de las 9 am a las 15 pm

Para el Escenario 2 ver Fig. 26, en donde el crecimiento es inducido hacia la zona costera, observamos un cambio en los patrones de viento. Esto genera para este escenario se distribuyan los contaminantes con mayor facilidad, como lo podemos ver en la gráficas. Así la contaminación distribuida se ve centralizada para el caso del Escenario 1

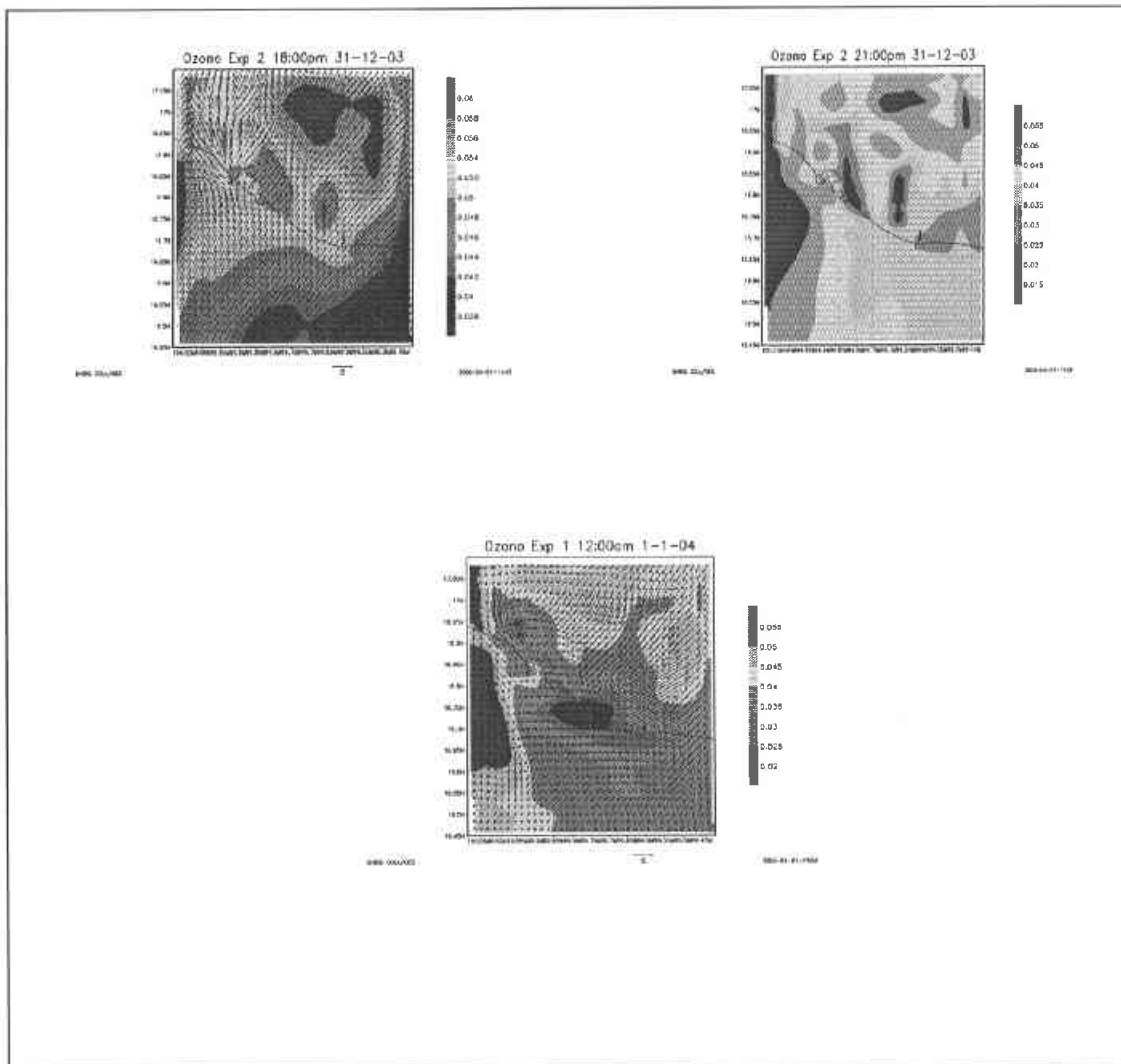
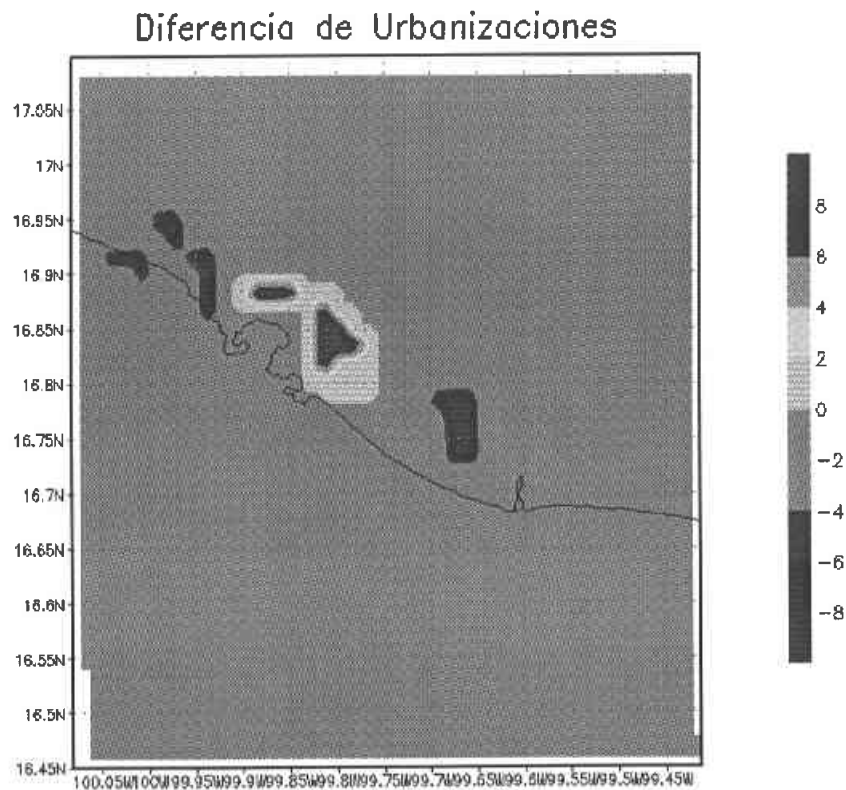


Figura 27 Distribución de las concentraciones de ozono con campos de viento de las 18 pm a las 12:00 am del 1 de Enero del 2004



Para la tarde nuevamente observamos como el ozono se vuelve a distribuir hacia en interior del continente, la concentración a las 18 hrs se encuentra alejada completamente de la zona urbana de Acapulco, pero distribuida sobre la zona rural a las 21 hrs se comienza a desplazar en dirección hacia el océano Pacifico donde finalmente se concentra a las 12.00 am. En la ciudad se ve poca concentración de contaminantes y se ven bajas concentraciones de ozono en la zona de Punta Diamante.



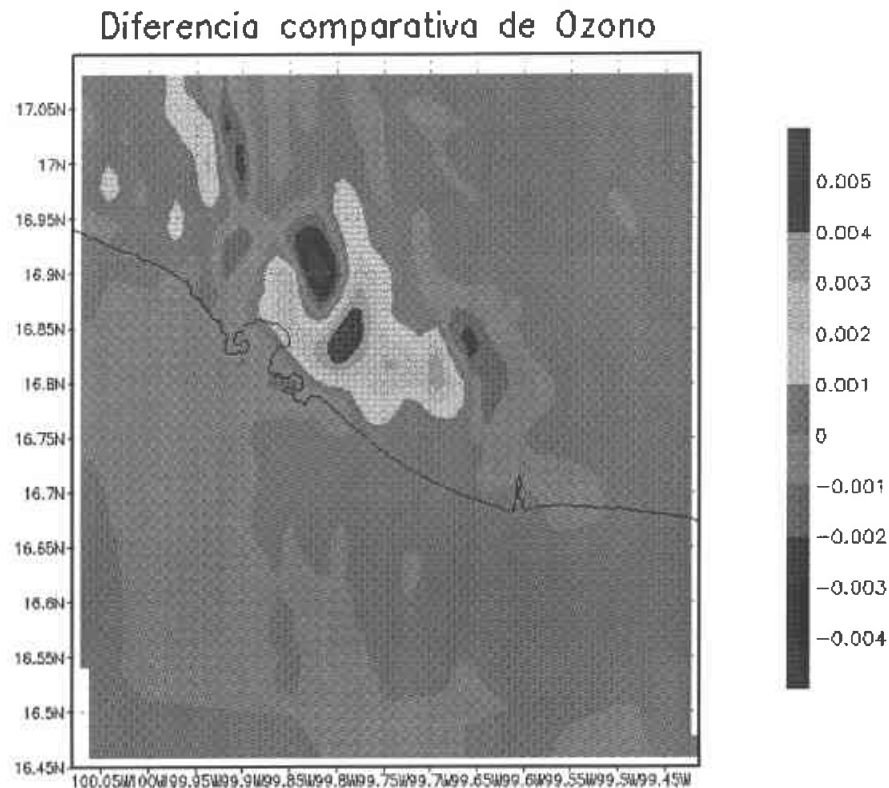
GRADS: OOLA/IGES

2005-04-02-13:14

Figura 28 Diferencias de Urbanizaciones entre los experimentos propuestos, la escala va de -8 a 8 donde la mayor concentración urbana se genera en una escala cercana al 7

En la (Fig. 28) podemos observar, las diferencias en las zonas urbanizadas para el Escenario 1 y el Escenario 2. La zona de mayor concentración, se ubica en la zona posterior al anfiteatro de Acapulco. Esta zona marcada con rojo coincide en los dos desarrollos urbanos, ya que de acuerdo con las proyecciones de los planes directores, será

una zona de posible urbanización y como se prevé un crecimiento hacia Punta Diamante generara una zona habitacional, para dar servicios a las nuevas zonas de diamante.



GrADS: COLA/IGES

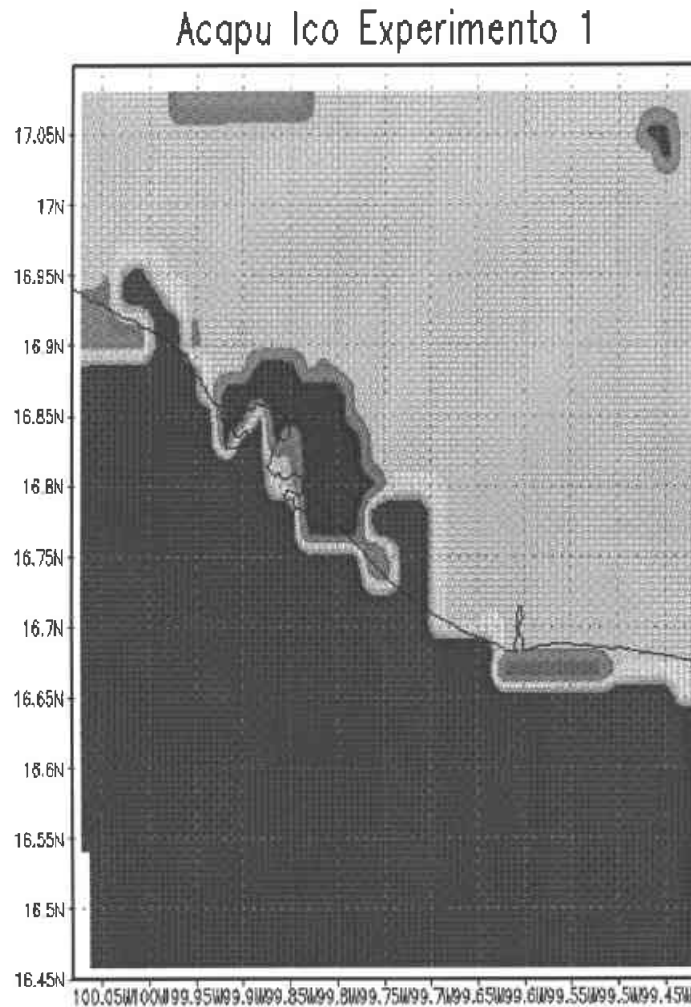
2005-04-02-13:18

Figura 29 Diferencia de Ozono entre los experimentos propuestos donde la escala indica partes por millon de Ozono

En la Fig. 29 se muestra la diferencia de concentraciones de Ozono entre los Escenarios 1 y 2 , observándose las diferencias como la concentración es parecida en la zona posterior al anfiteatro. En cambio vemos como las zonas costeras no se ven tan alteradas por estos cambios urbanos en especial en la zona de Diamante donde veremos en próximos años nuevos desarrollos urbanos.

## Resultados de la Isla de Calor Urbana

Los cambios de la temperatura superficial y la isla de calor urbana, debido a los posibles escenarios urbanos se muestran en las Figuras 30 y 31



GRADS: GOLA/IGES

2005-03-31-13:32

Figura 30 Desarrollo Urbano Propuesto Escenario 1 donde la zona en color morado se observa la distribución urbana

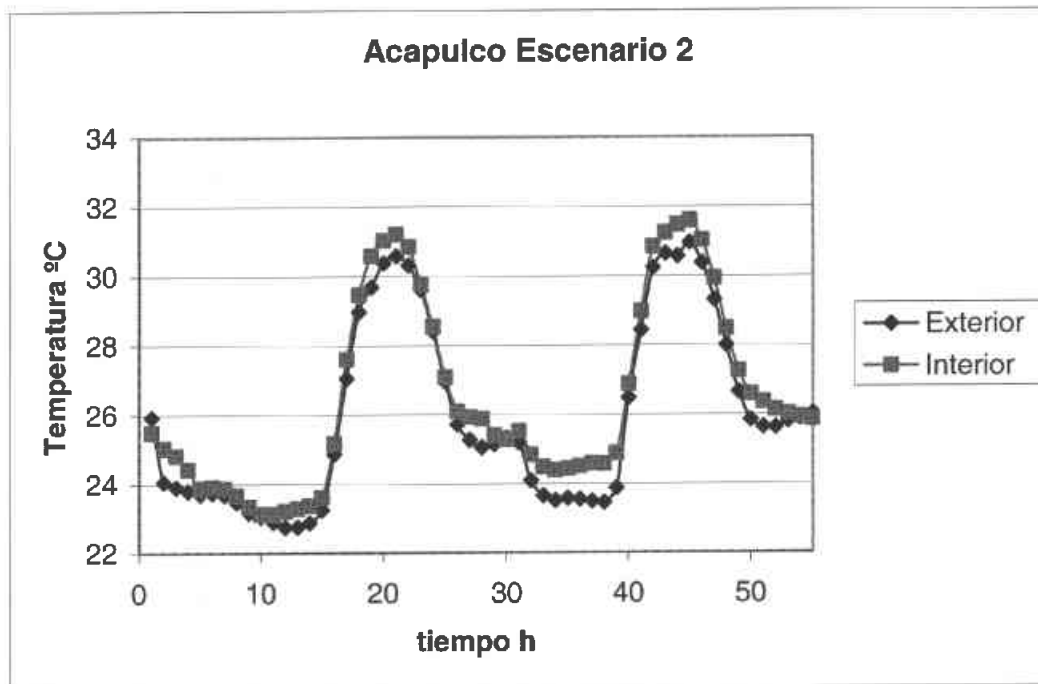


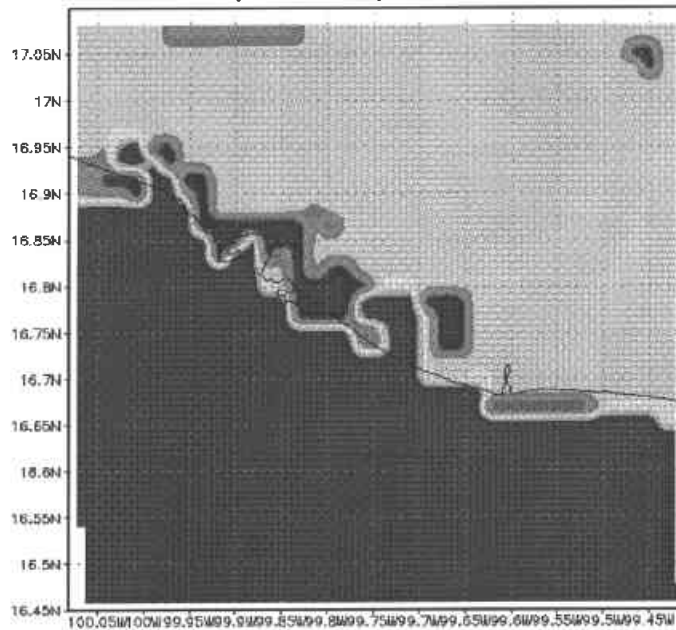
Figura 31 Perfil de temperatura dentro de Acapulco y en una zona rural cercana

Temperatura	Max °C	Min °C
Interior	31.6	23.9
Exterior	30.5	23.1
$\Delta T$	1.1	0.8

Tabla 2 datos de temperaturas de la Isla de Calor Escenario 1

Para el Escenario 1 podemos observar en la Fig. 31, la temperatura de la ciudad es ligeramente mayor que respecto a la zona conurbada rural de Acapulco, es decir es ligeramente mas caliente. También podemos observar que el enfriamiento es más lento en la ciudad que en la zona rural, esto se debe a los materiales empleados en las zonas urbanas. En la Tabla 2 se presentan los valores máximos y mínimos para el interior y el exterior de Acapulco. Vemos como la diferencia en el máximo es de un grado Celsius en la máxima y 0.8 Celsius en la mínima, lo cual nos indica que este escenario posee una isla de calor urbana.

### Acapulco Experimento 2



GRADS: COLLA/IGES

2005-03-31-13:36

Figura 32 Desarrollo Urbano Propuesto Escenario 2 donde la zona en morado representa la zona urbana

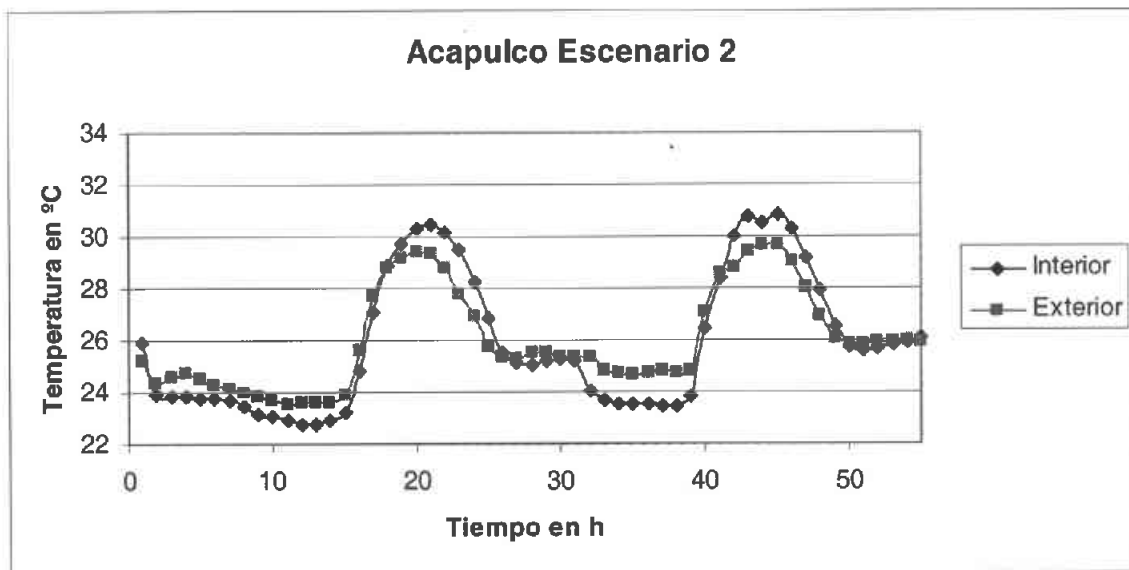


Figura 33 Perfil de temperatura modelada dentro de Acapulco y en una zona rural cercana

## Experimento

<b>Temperatura</b>	<b>Max °C</b>	<b>Min °C</b>
<b>Interior</b>	<b>30.4</b>	<b>23.1</b>
<b>Exterior</b>	<b>29.5</b>	<b>24.2</b>
<b><math>\Delta T</math></b>	<b>0.9</b>	<b>1.1</b>

Tabla 3 Temperaturas Máximas y Mínimas del Escenario 2

Para el Escenario 2 observamos en la Fig. 33 y Tabla 3 como el comportamiento de la isla de calor cambia con respecto al Escenario 1 , ya la temperatura es menor, Además la zona rural no se ve tan afectada por la presencia de la urbanización, observándose menores temperaturas.

La distribución de la población sobre la costa (Escenario 2), genera máximos de 31 grados Celsius como lo observamos en las Tablas 2 y 3 , además podemos ver los mínimos son mayores, esto se debe al posibilidad de enfriar mas rápido la ciudad por estar mas cerca de la zona costera, ya que el fenómeno local ayuda enormemente a la ventilación urbana.

Vemos también que la zona conflictiva de la parte posterior de anfiteatro, con esta distribución no influencia a las demás zonas rurales y urbanas de Acapulco, ya que como hemos vistos su ubicación topográfica no es la mas indicada para una ventilación.

En las siguientes figuras, podemos apreciar los contrastes térmicos de ambos desarrollos y como lo demuestra la Fig. 34 su isla de calor es mas intensa que la observada en el experimento 2, vemos además que la distribución del calor en la zona costera baja considerablemente la temperatura, a diferencia del primer caso.

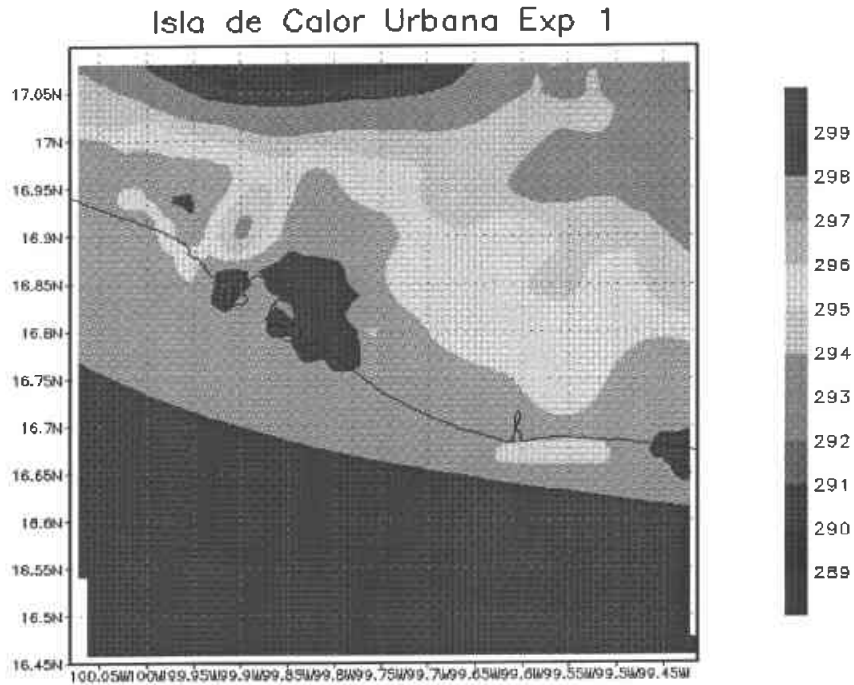


Figura 34 Isla de Calor distribuida en el Escenario 1 donde la escala representa los grados Kelvin

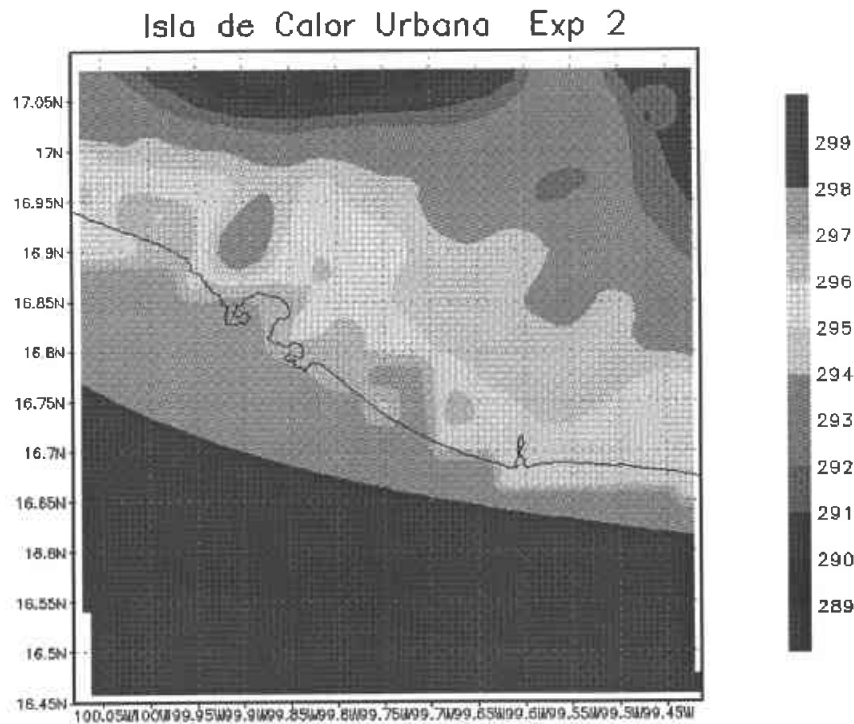


Figura 35 Isla de Calor distribuida en el Escenario 2 donde la escala representa los grados Kelvin

## Índice de Confort

Para ampliar nuestra base cuantitativa de comparación entre los posibles escenarios urbanos propuestos el índice de confort que relaciona humedad y temperatura es utilizado. Se sabe que en las ciudades el clima juega un papel muy importante, en especial cuando de confort se trata, ciudades con extremos climáticos son buenas para cierto tipo de personas, pero para la media poblacional se buscan parámetros donde la gran mayoría de la actividades propias de la ciudad se puedan llevar a cabo, es decir ciudades con climas agradables. Estos conceptos han sido estudiados en base a parámetros climáticos como temperatura, vientos, humedad relativa, presión, radiación así como algunos otros más. El objetivo central es poder encontrar correlaciones entre estos parámetros con la finalidad de encontrar puntos óptimos de confort e Incomodidad, estos puntos son asociados a índices que faciliten el poder comprender estos parámetros de una manera más fácil y eficiente.

Para los experimentos propuestos se pueden calcular los índices de confort en base a una técnica desarrollada por (Burton et. al 1994), la cual relaciona todas la variables climáticas por medio de un índice de estrés relativo por sus siglas en ingles RSI (Relative Strain Index), este índice considera tres conjuntos importantes:

1. Las condiciones ambientales
2. Los factores humanos
3. Los criterios de reacción- efecto (sensación , tolerancia,etc)

Como se mencionó estos tres criterios pueden ser cuantificados en términos de 6 variables: temperatura del aire, humedad del aire, velocidad del aire, calor radiante, rapidez metabólica y la ropa. Estas variables no pueden ser relacionadas directamente entre sí, pero si se pueden obtener datos de correlaciones asociadas de los balances térmicos, en especial de las ecuaciones de transferencia de calor.



Burton propone condiciones típicas para su índice estas condiciones son; la ropa ligera, la velocidad del desplazamiento de las personas y la velocidad del viento en el lugar, cabe destacar que este índice fue calculado para zonas costeras del mediterráneo donde los climas pueden variar en tan solo decenas de kilómetros de ciudad en ciudad.

Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de índice de confort (RSI) son las siguientes:

$$RSI = \frac{10.7 + 0.74(T - 35)}{44 - E}$$

donde: E es la presión parcial del vapor de agua en (mmHg)

T es la temperatura del aire en °C

La presión de vapor de agua es un dato no muy fácil de adquirir por lo que esta magnitud se puede estimar por medio de la temperatura y la humedad relativa, mediante la siguiente ecuación empírica:

Donde H es la humedad relativa

$$E = 0.254H(0.00739T + 0.807)$$

existe otra forma de calcular el parámetro E por medio de la temperatura del punto de rocío, pero no fue empleada para este cálculo.

Las escalas para valorar el índice de confort son las siguientes:

**Confort**- Neutralidad térmica; generalmente satisfecha, sin ansiedad.

**Incomodidad**- Sensación de calor y frío, no confortable, sensación de desagrado

**Angustia**-Tensión física, falta de concentración e inestabilidad, dolor sufrimiento.

**Daño**- Perdida del equilibrio, cambios en el pulso y en la temperatura corporal.

Possible colapso, se requiere hospitalización

El rango de valores de índice de confort señala que  $RSI \geq 0.2$  se encuentra en el umbral del índice de incomodidad es decir ya se pueden considerar índices de Angustia y Daño en especial de  $RSI=0.3$  a  $RSI= 0.5$ . Para las urbanizaciones propuestas se calcularon los índices para los períodos modelados por el MCCM obteniéndose los siguientes resultados:

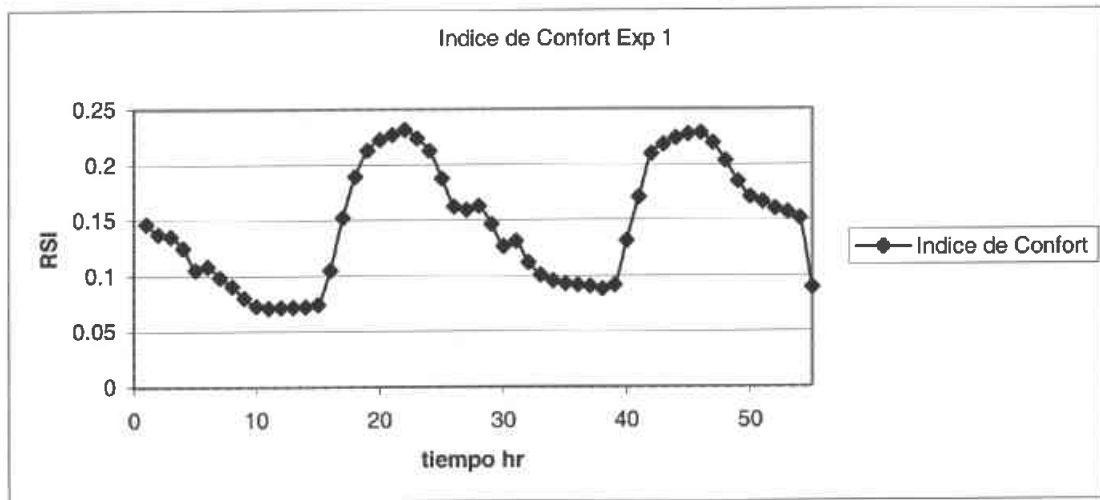


Figura 36 Indice de Confort Exp 1

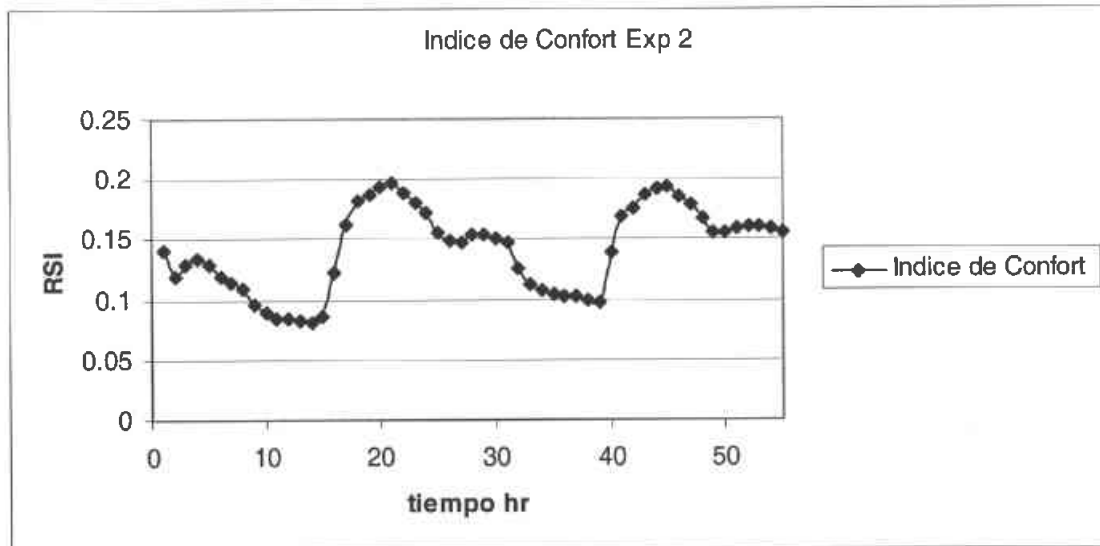


Figura 37 Indice de Confort Exp 2

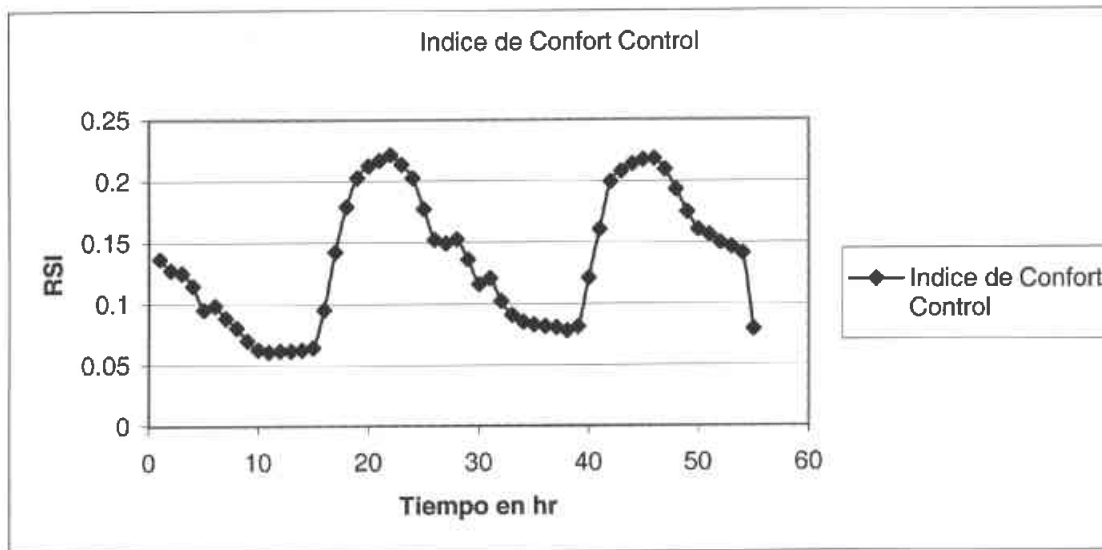


Figura 38 Índice de Confort para el Control

El índice de confort propuesto se puede observar con más detalle en las figuras anteriores, en ellas podemos ver como se pueden encontrar ciertas horas del día donde el índice de incomodidad es muy marcado y ciertas horas donde este es muy agradable la ciudad.

En la Fig. 38 se observa el índice de confort entre los escenarios propuestos pero además observamos ya que se está sobrepasando el estándar de confort además así también observamos que para el experimento 1 la ciudad genera índices que también sobrepasan el estándar de confort, vemos que esta relación viene muy asociada a los cambios de temperatura del lugar y los cambios en los patrones de viento.

Para el caso de experimento 2 se observa que la ventilación nuevamente juega un papel muy importante, ya que la distribución urbana permite menos cantidad de calor en la zona y más contrastes de viento en las horas pico del índice de confort.

Con estos índices podemos apreciar que el desarrollo urbano propuesto sobre la costa mantiene índices más agradables, que un crecimiento hacia la zona de posterior de anfiteatro de Acapulco de Juárez.

## Índice de Exposición potencial de Ozono

El índice de exposición potencial es utilizado para cuantificar los efectos de los gases criterio como son el CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, HCHO y O<sub>3</sub>, como se sabe el ozono es el contaminante que más viola los estándares internacionales de la Organización Mundial de la Salud. Para cuantificarlos se empleó una métrica (Georgopolus P.G. et al. 1997) definida como exposición potencial  $\Psi$ , esta se considera la más importante, aún sobre la severidad y la permisividad, ya que esta relaciona la exposición de la población al riesgo de los niveles de contaminación ambiental y queda definido por la siguiente ecuación.

$$\Psi = \frac{\sum_{n=1}^{48} \sum_{ij} \omega_{i,j} C_{i,j}}{48\omega_{\max}}$$

Donde  $\omega_{ij}$  es la población (número de personas) en la celda  $i,j$  y  $\omega_{\max}$  es el máximo de la población total en la región y finalmente  $C_{i,j}$  es la concentración en la celda  $i,j$  que excede un determinado valor. Para este caso la integración se realizó para 48 horas.

El más alto valor registrado en este período, señala que la calidad del aire en esa celda es de malas condiciones, cabe destacar que  $C$  fue tomado en base a la norma oficial para el límite permitido de Ozono, de esta manera en México la norma es de 0.11 ppm. Con este índice se puede obtener finalmente una comparación de escenarios donde se consideran los índices meteorológicos y químicos, con los cuales podemos decir cual de los escenarios es el mejor desde un punto de vista de calidad de aire y clima como lo demuestra la Tabla 4.

Índice de Exposición $\Psi$	Escenario 1 0.47	Escenario 2 0.34	Escenario Control 0.45
Índice de Confort RSI	0.25	0.19	0.22

Tabla 4 Comparativo de Índices de Exposición y Confort para los escenarios 1 y 2 y control

Como se puede observar en la tabla vemos los comparativos que nos indican que el escenario 2 tiene los más bajos índices tanto de exposición como de confort, con esto podemos decir que existe cierta relación para este caso en específico, donde el índice de confort y el índice de exposición indican que escenario es óptimo desde el punto de vista de calidad de aire, crecimiento urbano y confort.

## Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones

### *Conclusiones*

Haciendo uso de la metodología propuesta fue posible discernir cual desarrollo urbano es el más conveniente desde el punto de vista de clima y calidad del aire. Mediante técnicas provenientes de la Geografía Social, basadas en los planes de desarrollo de la región de la se pudieron generar dos desarrollos urbanos para la ciudad de Acapulco de Juárez.

Aprovechando una campaña de mediciones de variables meteorológicas y de calidad del aire, en especial ozono llevadas a cabo en Acapulco, se contó con una base de datos que aunque limitada permitió calibrar el modelo meteorológico y de calidad del aire, el cual empleo un inventario de emisiones que describió adecuadamente la fotoquímica de la región y por lo menos asegurar que estos trabajaran de un rango de valores aceptables, con esto se observo que le modelo MCCM aplicado a la Ciudad de Acapulco funciona, para una aplicación específica como lo es una zona costera.

Usando métricas como el Índice de Exposición Potencial al ozono  $\Psi$  y el Índice de Confort RSI se concluyo que el Escenario 1 presenta valores más altos de exposición Potencial y de Confort, por lo que el Escenario 2 es el más ventajoso. Estos resultados pudieron interpretarse notando que el terreno, así como los fenómenos locales como la brisa marina generan condiciones más favorables para el Escenario 2. Además el Escenario 1 presenta un mayor efecto en la Isla de Calor Urbana.

Así concluimos desde el punto de vista de climático y de calidad del aire que el desarrollo de Acapulco de Juárez debe de estar dirigido a alejar la población de los cuerpos montañoso como el anfiteatro y poblar las zonas como menos desniveles topográficos, como, la zona de Punta Diamante.

### ***Recomendaciones***

Es importante notar que lo anterior se basa en un estudio de peor caso y que además se necesitan más mediciones durante más períodos de tiempo para confirmar estos resultados obtenidos y mejorar el inventario de emisiones.

Para el uso de suelo se recomienda tener un uso de suelo más local, es decir aquel que represente con más detalle la zona urbana, en función de su tipo de suelo y condiciones ambientales locales. Esto permitirá mejorar los resultados de la modelación

En el caso de las emisiones biogénicas marinas, se recomienda generar bases de datos más eficientes que permitan generar mejores resultados en combinación con las emisiones biogénicas de los bosques y flora locales.

Cuando se realicen campañas de monitoreo sería de gran utilidad si las condiciones económicas lo permiten, contar con más unidades de monitoreo simultáneo para poder tener un mejor panorama de las emisiones en diferentes puntos de la zona al mismo tiempo.

Así también sería importante incluir en el futuro parámetros de confort y exposición, ya que servirán como parámetros preliminares importantes en el análisis de calidad del aire y clima

## Bibliografía

Anthes, R.A., N. Seaman, J. Sobel y Warner, (1972). 'The development of mesoscale models suitable for air pollution studies'. Select Group in Air Pollution Meteorology, Second Annual Progress Report. Vol. I. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, N.C. 27711, 271 pp.

Atkinson, R. y A.C. Lloyd:1984, 'Kinetics and Mechanism of the gas-phase reactions of ozone with organics compounds under atmospheric conditions' Chem. Rev 84, 437-470.

Bassols Batalla Angel(1979) 'Geografía Económica de México' Ed. UNAM México

Burton A.C.(1994) 'An analysis of the physiological effects of clothing in hot atmospheres'. Report of Aviation Medical Research Association Committee.

Burk,S. y W. Thompson:(1989), 'A vertically nested regional numerical weather prediction model with second order closure physics'. Mon. Wea. Rev. 117,2305-2324.

Calvert. J. G. y S. Mandronich:1987, 'Theoretical study of the initial products of the atmospheric oxidation of hydrocarbons.' J. Geophys. Res 92, 2211-2220.

Carter, W.P. L.: 1990, 'A detailed mechanism for gas- phase atmospheric reaction of organic compounds.' Atmos. Environ. 24A, 481.

Chang, J.S., R.A. Brost, I.S.A. Isaken,S. Madronich,P. Middleton, W.R. Stockwell y C.J. Walcek:1987. 'A three dimensional Eulerian Acid Deposition Model: physical concepts and formulation' . J Geophys. Res. 92,14681-14700.

Chen, P. C., (1996) 'Climate and Weather simulations and data visualization using a supercomputer, workstations, and microcomputers.' Proc Spie Int Soc Opt Eng, Society of Photo-optical Instrumentation Engineers, Bellingham, Wa,(USA), 2656: 254-264.

Christos B., Dafinka I., Makrogiannis T. (1997) 'Estimation and Comparison of Hourly Thermal Discomfort Along The Mediterranean Basin For Tourism Planning.' Int. Journal Climat 10:505-517.

Cox, R.,B. L. Bauer y T Smith.,(1998). 'A mesoscale model intercomparison. Bulletin of American Meteorology Society' : Vol. 79, pp. 265-283.

Delgado, J. (2002). 'Transición rural-urbana y oposición campo-ciudad'. En: Aguilar, A. G. (Coord.). *Urbanización Cambio Tecnológico y Costo Social*. Instituto de Geografía, CONACYT y Miguel Angel Porrúa. México. pp. 73-118. ISBN: 970-701-361-3.



Demerjian, K.L., J.A. Kerr, y J.G. Calvert: 1974, 'The mechanism of photochemical smog formation'. *Adv. Environ. Sci. Tech.* 4, 1-262.

Dodge, M.C.: 1977, 'Combined use of modeling techniques and smog chamber data to derive ozone-precursor relationships' Technical report, U.S. Environ. Prot. Agency, Research Triangle Park, N.C. Re. EPA-600/3-77-001a, pp.881-889.

Dudhia, J., D.Gill, Y.Guo, D. Hansen, K. Manning, y W. Wang (1993). 'PSU/NCAR Mesoscale Modeling System'. Tutorial Class Notes and User's Guide (MM5 Modeling System Versión 2, with an Introduction to Versión 3).

Erisman, J.W., A. van Pul, y P. Wyres: 1994 'Parametrization of surface resistance for the quantification of atmospheric deposition of acidifying pollutants and ozone'. *Atmos. Env.* 28 2597-2607.

Fuentes, V., A. Jazcilevich, R. Aguirre, A. Wellens, J. Aysa y C. Rivera (1993). 'Modelo Metropolitano de Gestión de la Calidad del Aire'. Reporte técnico, Dirección de Ecología, Gob. Del Distrito Federal.

F.W. Lurman., A.S. Wexler., S. N. Pandis (1997) 'Modelling Urban And Regional Aerosols Application to California South Coast Air Basin'. *Atmospheric Environmental* Vol 31, No 17, pp 2695-2715

García, R. J., (2002). 'Evaluación de Escenarios utilizando el Modelo Regional de Calidad del Aire'. *Multiscale Climate Chemistry Model*, Tesis de Doctorado, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM.

Georgopolus, P. G.; Aranachalam, S. 'Alternative Metrics for Assessing the relative Effectiveness of NOx and VOC Emission Reductions in Controlling Ground level Ozone'. *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 1997 47, 838-850.

Gobierno del Estado de Guerrero México, Alcaldía Municipal de Acapulco de Juárez, 'Plan Director Urbano de Acapulco de Juárez 2000', Cuadernos informativos del gobierno autónomo de Guerrero México. Num 45. 10-78.

Giles B.D., Balafoutis Ch. (1990) 'Too hot for comfort : The heatwaves in Greece in 1987 and 1988'. *Int Journal Biometeorology* 34: 98-104.

Gomezjara, Francisco (1976) 'Acapulco despojo y Turismo'. Ed. Instituto de Investigaciones Economicas de la UNAM. Mexico.

Gomez de leon y Cruces Raul. (2003), 'El crecimiento Urbano, Cambios de usos de los suelos y efectos en la hidrología Xochimilco, D.F. de 1930- 2000'. Tesis de Maestría, Facultad de Arquitectura, División de Estudios de Posgrado UNAM.

Grell, G. A., J. Dudhia y D.R. Stauffer, (1994). 'A Description of the Fifth Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5)'. National Center of Atmospheric Research. USA. 395 pp.

Guenther, A.B., P.R. Zimmerman, P.C. Harley, R.K. Monson, y R.Fall: 1993, 'Isoprene and monoterpene emission rate variability: Model evaluations and sensitivity analysis'. J. Geophys. Res. 98 D, 12609-12617.

Jacobson, Mark Z. 'Atmospheric pollution; history, science and regulation', Cambridge University Press pg 81-112.

Jacobson, Mark Z. 'Fundamentals of Atmospheric Modeling', Cambridge University Press pg 318-371.

Jauregui, E., (1988). 'Local wind and air pollution interactions in the Mexico Basin'. Atmosfera 1:131-140.

Jauregui, E., (1993). 'Mexico City's Urban heat island revisited', Erdkunde, 47: 185-195.

Jáuregui, E., (1995). 'Algunas alteraciones de largo periodo del clima de la Ciudad de Mexico debidas a la urbanización'. Revisión y perspectivas, Boletín de Investigaciones Geograficas, num 31, Instituto de Geografía de la UNAM, México.

Jáuregui, E., y E. Romales.(1996). 'The urban effects on convective precipitation in Mexico City', Atmospheric Environment, Vol. 30, pag 3383-3389.

Jazcilevich, A., A. Garcia, y G. Ruiz-Suarez,(2002). 'A study o air flow patterns affecting pollutant concentrations in the region of Mexico'. Atmospheric Environment, Vol. 37, pp 183-193.

Jazcilevich, A., A Garcia, y G. Ruiz-Suarez(2003). 'An air pollution modeling study using three surface covering near the new international airport of Mexico city'. J. Air & Waste Manage Assoc. 53: 1280-1287.

Joseph, J.H., W.J. Wiscombe, y J.A. Weinman:1976, 'The Delta-Eddington approximation for radiative flux transfer'. J Atmos, Sci. 33, 2452-2459.

Kerr, J.A. y J.G. Calvert: 1982, 'Chemical transformation modules for eulerian acid deposition models, vol I., The gas phase chemistry' Rep. EPA-600-3-85-015, U.S. Environ. Prot. Agency Washington, D.C. Available as NTIS PB85-173714-XAB for Nat. Tech. Inf. Ser., Springfield, Va.

Landsberg, H. E., 1956, 'The climate of towns, Man's Role in changing the face of the earth.' University of Chicago

Leone, J.A. y J. H. Seinfeld: 1985, 'Comparative Análisis of chemical reacting mechanism for photochemical smog'. Atmos. Environ. 19, 437-464.

Madronich, S.: 1987, 'Photodissociation in the atmosphere, Actinic Flux and the effects of the ground reflections and clouds'. J Geophys. Res. 92, 9740-9752.

Magaña, V., y J. Perez-Lopez,(1998). 'Usos de un modelo de mesoescala en el estudio de la dinamica atmosferica regional en México', Geounam, Boletín informativo de Ciencias de la Tierra, vol 5, pag 33-39.

Mazzarella, E., (1980) 'Atmospheric modeling rain data assimilation'. Academic Press, 622pp.

Middleton, P., W. Stockwell, y W.P. Carter:1990, 'Aggregation and analisis of volatile organic compound emissions for regional modeling.' Atmos, Environ. 24A, 1107-1133.

Niki, H.,E.E. Daby, y B. Weinstock: 1972, 'Mechanism of smog reactions' Adv. Chem. Ser 113, 16-57.

Ochoa,Campos, Moises. (1994) Guerrero: 'Análisis de un Estado'. Ed. Trillas, México.

Pielke, Jr., R. A., and M. Downton, 1999: 'U.S. Trends in Streamflow and Precipitation: Using Societal Impact Data to Address an Apparent Paradox'. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **80**(7), 1435-1436

Pérez, L., J. (2001). 'Variabilidad Climática Regional de México', Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Ramírez Sainz, Juan Manuel(1981). 'Turismo y Medio Ambiente'. Ed. Universidad Autónoma de Guerrero. México

Reaman, N.L., y S.A. Michelson, (2000). 'Mesoscale meteorological structure of a high ozone episode during the 1995 NARSTON-Northeast study', Journal Applied of Meteor., Vol, 39, pp. 384-398.

Ruggaber, A., R. Dlugi, y T Nakajima: 1994, 'Modelling of Radiation quantities and photolysis frequencies in the troposphere', J Atmos, Chem 18. 171-210.

Ruiz- Suarez, L.G.: (1989). 'The photo-oxidation of the hydrocarbons in Mexico City'. Part I. Atmosfera, 2, 47.

Salgado, Galarza Agustín Carlos. (2002) 'Políticas Urbanas en Acapulco de Juárez Guerrero (1927-1997)', Tesis de Doctorado, Facultad de Arquitectura, División de Estudios de Posgrado. México.

Seidl, W.: 1998, 'The Biogenic Emission Module', Technical Report, Fraunhofer-Institut für Atmosphärische Umweltforschung, Garmish-Partenkirchen.

Seinfeld, J. (1978) 'Contaminación Atmosférica fundamentos físicos y químicos'. McGraw Hill Inc.

Seinfeld, J. (1986) 'Atmospheric Chemistry and physics of air pollution'. Wiley Interscience publication. pg 450-504.

Stauffer, D.R. y N.L. Seaman : 1994, ' Multiscale four dimensional data assimilation'. J. Appl, Met. 33,416-434.

Stockwell, W., P. Middleton, J.S. Chang, y X. Tang: 1995, 'The second generation regional acid deposition model chemical mechanism for regional air quality modeling'. J. Geophys. Res. 95, 16343-16367.

Stohlgren, T.J. 1998a. 'Landscape-scale rapid assessments prior to long-term monitoring. Book Chapter for the Smithsonian Institution'.

Warner, T.T., Y-H. Kuo., J.D. Doyle, J. Dudhia, D.R. Stauffer y N. L. Seaman, (1992). 'Nonhydrostatic, mesobeta-scale real-data simulations with the Penn State University/National Center of Atmospheric Research mesoscale model'. Meteorol. Atmos. Phys., 49: 209-227.

Wesley, M. L.: 1989, 'Parametrization of surface resistance to gaseous dry deposition in regional numerical models.' Atmos Environ. 16., 1293-1304.

Whitten, G.Z., J.P. Killus, y R.G. Johnson: 1985, 'Modeling of auto exhaust for smog chamber data for EKMA development'. Rep. CDWA1A/01-1130(FY-85), contract 68-02-3735, U.S. Environ. Prot. Agency, San Rafael California.

Yong-Fu, Q., y Zhong, Z., (1987). 'General Forms of Dynamic Equations for Atmosphere in Numerical Models with Topography, Short and Medium Range Numerical Weather Prediction'. (Special Volume of the Journal of Meteorological Society of Japan), Editado por T. Matsuno. pp. 743-756.

Zou, X., Y.H. Kuo, Y.R. Guo: 1995, 'Assimilation of atmospheric radio refractivity using a nonhydrostatic adjoint model'. Mon Wea. Rev 123, 2229-2249.