



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO:
ESCENARIOS DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN PARA LA
PENÍNSULA DE YUCATÁN

T E S I S
para obtener el título de
F Í S I C O
P R E S E N T A :
ELIO ROCA FLORES



FACULTAD DE CIENCIAS
UNAM

DIRECTOR DE TESIS: Dr. Carlos Gay García

2005



FACULTAD DE CIENCIAS
SECCION ESCOLAR

m. 345584



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.



ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito:
"Cambio Climático en México: Escenarios de temperatura y precipitación
para la Península de Yucatán"

realizado por Roca Flores Elio

con número de cuenta 09757601-9 , quien cubrió los créditos de la carrera de: Física

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

A t e n t a m e n t e

Director de Tesis

Propietario Dr. Carlos Gay García

Propietario Dr. Arón Jazcilevich Diamant

Propietario Dra. Susana Orozco Segovia

Suplente Dr. Víctor Orlando Magaña Rueda

Suplente Dra. Elizabeth Chavira Martínez

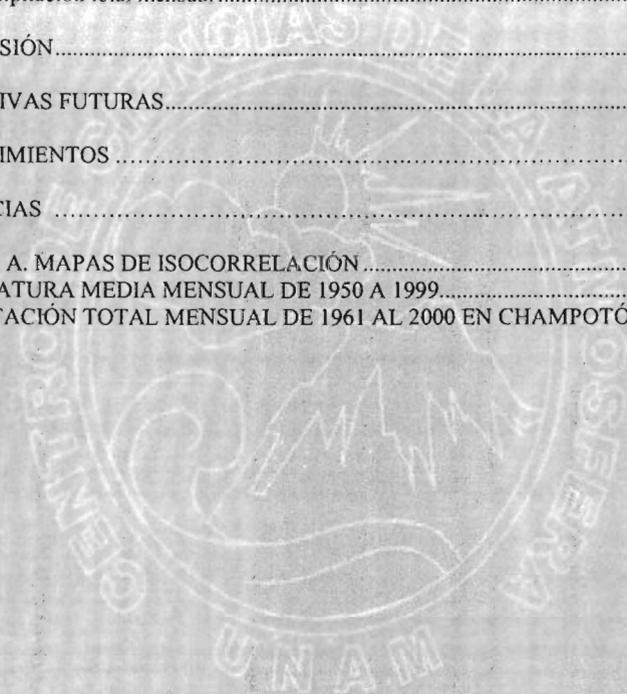
Consejo Departamental de Física

M. EN C. ALTICIA ZÁRZOSA PÉREZ

INDICE

RESUMEN	1-1
1. INTRODUCCIÓN	1-2
1.1. MOTIVACIÓN	1-2
1.2. OBJETIVOS	1-2
1.3. EFECTO INVERNADERO	1-2
1.4. CLIMA MEXICANO	1-3
1.5. FACTORES CLIMATICOS DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN	1-4
1.6. REGIONALIZACIÓN DE DOUGLAS	1-5
1.7. ESTRUCTURA DE LA TESIS	1-5
2. DATOS Y METODOLOGÍA	2-1
2.1. DATOS	2-1
2.1.1. TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN DE LOCALIDADES CONTINENTALES	2-1
2.1.2. SST	2-1
2.2. MÉTODO (PERFECT-PROG)	2-2
2.2.1. CORRELACIÓN (CORRELACIÓN DE PEARSON)	2-3
2.2.2. MAPAS DE ISOCORRELACIÓN	2-3
2.2.3. REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE	2-4
2.2.4. ESCENARIOS	2-4
2.2.4.1. SERIES ANUALES	2-4
2.2.4.2. ESCENARIO PARA LA CONDICIÓN DE DOBLAMIENTO DE CARBONO (2xCO ₂)	2-4
3. RESULTADOS	3-1-1
3.1. MAPAS DE ISOCORRELACIÓN	3-1-1
3.1.1. TEMPERATURA MEDIA ANUAL	3-1-1
3.1.2. TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	3-1-4
3.1.3. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL	3-1-5
3.1.4. PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL	3-1-8
3.2. REGRESIÓN	3-2-1
3.2.1. TEMPERATURA MEDIA ANUAL	3-2-1
3.2.2. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL	3-2-3
3.2.3. PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL	3-2-3
3.3. ESCENARIOS	3-3-1
3.3.1. SERIES ANUALES	3-3-1
3.3.1.1. TEMPERATURA MEDIA ANUAL	3-3-1
3.3.1.2. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL	3-3-3
3.3.1.3. PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL	3-3-5
3.3.2. ESCENARIO 2XCO ₂	3-3-11
3.3.2.1. TEMPERATURA MEDIA ANUAL DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN	3-3-11
3.3.2.2. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN	3-3-11
3.3.2.3. PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL EN CHAMPOTÓN	3-3-12
4. DISCUSIÓN	4-1
4.1. MAPAS DE ISOCORRELACIÓN	4-1
4.1.1. Temperatura media mensual	4-1
4.1.2. Temperatura media anual	4-1
4.1.3. Precipitación total anual	4-1
4.1.4. Precipitación total mensual	4-2
4.2. REGRESIONES	4-3

4.3. ESCENARIOS.....	4-3
4.3.1. SERIES ANUALES.....	4-3
4.3.1.1. Temperatura media anual.....	4-3
4.3.1.2. Precipitación total anual.....	4-4
4.3.1.3. Precipitación total mensual.....	4-5
4.3.2. ESCENARIO 2xCO ₂	4-6
4.3.2.1. Temperatura media anual.....	4-6
4.3.2.2. Precipitación total anual.....	4-6
4.3.2.3. Precipitación total mensual.....	4-7
5. CONCLUSIÓN.....	5-1
PERSPECTIVAS FUTURAS.....	5-3
AGRADECIMIENTOS.....	5-4
REFERENCIAS.....	R-1
APÉNDICE A. MAPAS DE ISOCORRELACIÓN.....	A-1
1. TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DE 1950 A 1999.....	A-1
2. PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL DE 1961 AL 2000 EN CHAMPOTÓN.....	A-7



RESUMEN

Uno de los aspectos más importantes en los estudios del cambio climático en una región es la determinación de la vulnerabilidad, con objeto de determinar las opciones de adaptación, como lo han mostrado los trabajos de Gay (2000), Conde (1994, 1995), Magaña (1997, 2000) y Morales (2002) entre otros. Con el propósito de preparar estudios similares para la Península de Yucatán, en este trabajo se presentan escenarios climáticos del año 2000 al 2100.

Dado que los modelos de circulación general proporcionan escenarios con resolución mayor a 2.5° latitud (lat) x 2.5° longitud (lon), es necesario utilizar algún método (downscaling) para aumentar la resolución espacial y establecer escenarios regionales. En el presente trabajo se optó por utilizar ecuaciones de regresión lineal múltiple para relacionar datos a gran escala (temperatura de la superficie del mar (sea surface temperature (SST))) con parámetros a escala regional y aún local. Se construyeron las ecuaciones de regresión para la precipitación y temperatura en Champotón, Mérida, Kantunilkin y Chetumal por ser entidades representativas de las principales regiones climáticas de la Península de Yucatán. Los escenarios se obtuvieron empleando en las ecuaciones los pronósticos para las SST dados por el modelo de circulación general CGCM2 del Centro Canadiense del Clima.

Para la condición de doblamiento del CO_2 ($2\times\text{CO}_2$), que según el escenario de emisiones "IS92a", del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC¹)), ocurrirá en el año 2023, se encontró un cambio de la temperatura anual promedio en Chetumal de 0.1°C , en Champotón de 0.4°C , en Mérida de 0.8°C , y en Kantunilkin de 1.5°C ; así mismo, la precipitación total anual no cambia en Chetumal y aumenta 10%, 15% y 45% en Champotón, Mérida y Kantunilkin respectivamente.

Para Champotón se calcularon los escenarios de precipitación mensual, encontrándose que se presentará sequía en invierno, aumento de la precipitación en verano y aparición de la sequía intraestival (canícula).

Interesante fue encontrar que la precipitación total anual dada por la suma de las precipitaciones totales mensuales simuladas, concuerda tanto con el registro del SMN como con los valores dados por la simulación para la precipitación total anual (diferiendo por una constante de 200 mm/año aprox.), mostrando que el método es consistente a cambios en la escala temporal.

Todas las simulaciones para la temperatura media anual muestran incremento en el tiempo.

Los resultados obtenidos son consistentes con los de Magaña (2000) y Orellana (2002).

¹ <http://www.ipcc.ch/>

1. INTRODUCCIÓN

1.1. MOTIVACIÓN

A causa del forzamiento climático ocasionado por los gases de efecto invernadero, que han sido producidos por la humanidad en los últimos 150 años, se tiene registrado y se espera un continuo aumento de la temperatura, por ejemplo, 1998 fue el año más caliente desde 1850 hasta nuestros días (IPCC, 2001). El **cambio climático** está afectando las actividades humanas y el sistema biótico mundial. En el libro "México en el siglo XXI" (Gay, 2000) se reporta una visión panorámica de dicho cambio en México, siendo esta insuficiente para ver los efectos a nivel regional. En el presente trabajo se cuantifica el cambio climático en la Península de Yucatán, al construir escenarios de temperatura y precipitación usando datos provistos por los modelos de circulación general en ecuaciones de regresión lineal. En general el cambio climático implica riesgo para la agricultura, ganadería, pesquería, industria ciudades y ecosistemas nativos. En particular, la Península de Yucatán es afectada por tormentas tropicales y huracanes caribeños, fenómenos sensibles al clima regional y muy probablemente también a su cambio. Analizamos esta región como parte de un proyecto de investigación en el cual se espera determinar posibles consecuencias del cambio climático.

1.2. OBJETIVOS

Construir pronósticos para la temperatura media anual y la precipitación total anual en Champotón, Mérida, Kantunilkin y Chetumal. Construir pronósticos de precipitación mensual para Champotón. Para poder comparar con los escenarios ante cambio climático dado por otros autores (Gay (2001), Conde (1994, 1995) y Magaña (1995, 1997, 2001)), se determinan con los pronósticos para la condición $2xCO_2$, las anomalías climáticas de temperatura media anual y precipitación total anual en la Península de Yucatán, además del diagrama ombrotérmico con las precipitaciones totales mensuales en Champotón.

1.3. EFECTO INVERNADERO

La Tierra intercepta la radiación electromagnética proveniente del Sol, la parte de ésta que penetra hasta la superficie es reemitida como radiación electromagnética de onda larga la cual es absorbida por gases como: vapor de agua, bióxido de carbono CO_2 , ozono O_3 , metano CH_4 , óxido nitroso N_2O , hexafluoruro de azufre SF_6 , halocarbonos (HCFC, HFC, PFC), clorofluorocarbonos CFC's y otros a los que llamaremos "gases de efecto invernadero"(IPCC, 2001). Al anterior proceso se le llama efecto invernadero y hace que la temperatura promedio en la superficie terrestre sea $33^{\circ}C$ mayor a lo que sería si no se produjera este fenómeno (Schneider, 1990).

Con el aumento de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero se puede esperar un incremento de la temperatura promedio mundial al haber una mayor absorción de radiación infrarroja, dando lugar al llamado **Cambio Climático Global** (Tokio conference, 1989).

El metano y el óxido nitroso son gases de efecto invernadero más eficientes que el bióxido de carbono, en cuanto a la absorción de radiación infrarroja, sin embargo, este último es considerado el más importante debido a su mayor concentración en la atmósfera. El bióxido de carbono (CO₂) es producido por la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), de modo que si bien antes de la era industrial había una concentración de 280±10 ppmv (partes por millón en volumen), en 1990 ésta alcanzó el valor de 353 ppmv y en 2004 fue de 375 ppmv. Las emisiones de este gas se dan en todo el mundo (vehículos, fabricas, plantas de energía, fogatas, etc.) y aumentan cada año a razón de 2 ppmv (IPCC, 2001).

México es un importante emisor de CO₂, pues está colocado entre los 15 países con mayores emisiones totales y entre los 20 con mayores emisiones per cápita de este gas. En 1990, las primeras representaban menos del 2% de las emisiones mundiales.

1.4. CLIMA MEXICANO

Para entender el significado de estudios climáticos regionales, como el presente, debemos relacionarlos con diferentes aspectos del clima. En particular interesa conocer la relación entre los valores encontrados para las variables climáticas y su fenomenología.

La parte norte del país esta dentro de la faja subtropical de alta presión y la parte sur en la zona de los vientos alisos. Durante la mitad caliente del año, la zona de alta presión se desplaza hacia el norte, por lo que prácticamente todo el país esta bajo la influencia de los vientos alisos que soplan con dirección Suroeste en la superficie y Oeste en las alturas, recogiendo humedad del Golfo de México. La parte más austral de la República queda bajo la influencia de la zona intertrópica de convergencia que se desplaza hacia el norte en esta época. Durante el verano y parte del otoño, se originan en el Mar de las Antillas y en el Océano Pacífico los ciclones tropicales que tienen su mayor frecuencia en septiembre. Estos afectan las condiciones del clima del país debido a que muchas de sus trayectorias corren paralelas a las costas o se internan en el continente.

Durante la mitad fría del año, tanto la faja subtropical de alta presión como la zona de los alisos se desplazan hacia el Sur, dominando los vientos del Oeste en el norte y en las partes altas de la atmósfera de la porción central del país. La Altiplanicie Mexicana y las montañas que la rodean, debido a su gran altitud, interceptan la base de la zona de vientos del oeste que son característicos de las capas superiores de la troposfera. Estos vientos, especialmente en las alturas, son considerablemente menos

húmedos que los alisos e imprimen al aire la sequedad característica que predomina en la mayor parte del país durante la mitad fría del año. En invierno, los vientos del oeste acarrearán, embebidas en su corriente, algunas de las perturbaciones propias de las latitudes medias como son los vórtices fríos y las depresiones ciclónicas que afectan las condiciones climáticas del norte del país y en ocasiones también, las de la Altiplanicie Mexicana.

Los "nortes" son vientos del Norte que soplan violentamente por varios días seguidos sobre las costas del Golfo de México durante la mitad fría del año. Se originan por la invasión de masas de aire polar continental modificado, procedentes del Norte de los Estados Unidos y Sur de Canadá. Estos vientos al pasar sobre el Golfo de México recogen abundante humedad que después es liberada en forma de lluvia.

Dada la geografía de México, los mares influyen en el clima continental de diversas maneras. La presencia de la corriente fría marina de California hace que la temperatura de la costa de la Península de Baja California sea menor a la de tierra dentro, también influye en la estabilidad del aire e impide la precipitación en verano. La corriente marina caliente del Golfo de México influye en las temperaturas del Este del País, y en la Península de Yucatán, que son más altas que las del Oeste. El Golfo de México es fuente de humedad debido a la dirección Suroeste de los vientos en el hemisferio norte: los vientos alisos que vienen del mar, al verse obligados a ascender por las laderas montañosas que se inclinan hacia él, producen abundante precipitación y aún queda suficiente humedad que pasa a los valles y montañas interiores, produciendo precipitaciones más o menos abundantes en regiones donde el clima de otro modo sería seco. (García, 1986)

1.5. FACTORES CLIMATICOS DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

El clima en la península de Yucatán es afectado principalmente por las condiciones presentes en el Golfo de México, en el Caribe y en el Atlántico. Entre los principales fenómenos involucrados se encuentran: la celda anticiclónica Bermudas-Azores que provoca el principal monto de las lluvias estivales; las ondas del este que incrementan la nubosidad y la cantidad de lluvia; las vaguadas polares (llamadas así por la forma de "V" de las isobaras) que en verano generan la sequía intraestival (canícula); la masa de aire polar modificada o "norte" que provoca lluvias en invierno; la corriente del Golfo que afecta la temperatura de la península; y finalmente las tormentas tropicales y huracanes se presentan durante verano y otoño (teniendo su apogeo en septiembre) contribuyendo significativamente a la precipitación.

Para el análisis de la temperatura media anual y precipitación total anual de la Península de Yucatán, se tomó la estación con el mejor registro meteorológico para cada una de las regiones climatológicas más

significativas (Orellana, 1999): en el Noreste Kantunilkin, en el Noroeste Mérida, en el Sureste Chetumal y en el Suroeste Champotón. Para el análisis de las precipitaciones mensuales, se estudio Champotón por tener el mejor registro histórico climatológico en la Península de Yucatán.

1.6. REGIONALIZACIÓN DE DOUGLAS

Para ser consistentes con otros estudios (Conde, 1994, 1995; Magaña, 1997, 2000; Morales, 2002) que toman en consideración la regionalización climática de Douglas (Fig. 1.1, Douglas, 1996), tomamos las estaciones de **Progreso**, **Mérida** y **Champotón** de las 5 seleccionadas por Douglas (Mérida, Champotón, Progreso, Tekax y Xpujil) en nuestra área de estudio. Se seleccionó además **Kantunilkin**, por su extenso registro histórico y posición geográfica, y **Chetumal** por ser capital estatal. Las estaciones seleccionadas tienen un historial meteorológico de 40 a 50 años.

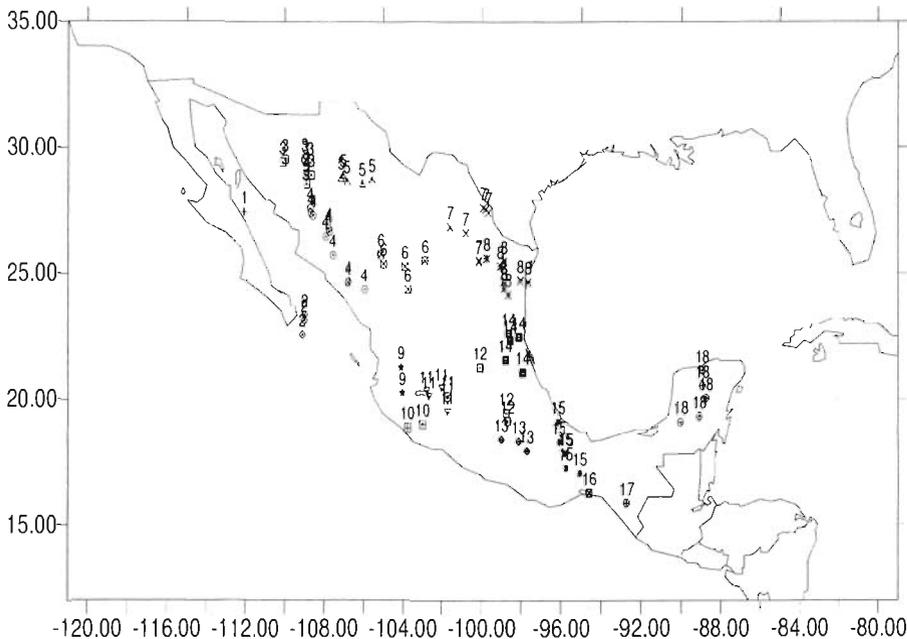


Fig. 1.1. Las 18 regiones climáticas de México propuestas por Douglas.

1.7. ESTRUCTURA DE LA TESIS

En el capítulo de métodos y datos, se discute el tratamiento preliminar que se le da a los datos y el modo en que se construyen los escenarios. Nuestras variables de trabajo son la temperatura media anual y la precipitación total anual en Champotón, Mérida, Kantunilkin y Chetumal por representar el clima de las principales regiones climatológicas en la Península de Yucatán, las temperaturas medias

mensuales (enero a diciembre) en Progreso y Champotón y la precipitación total mensual (enero a diciembre) en Champotón se utiliza para ilustrar el comportamiento intranual.

En el capítulo de resultados se presentan mapas, gráficas y tablas en los cuales vemos las correlaciones, ecuaciones de regresión lineal, datos estadísticos de las regresiones, escenarios y otros parámetros calculados, dependiendo de la variable analizada. Este capítulo constituye la mayor parte del volumen, tanto en información como en extensión.

En la discusión se analiza la validez, relevancia, significado e impacto de los resultados. Se comparan nuestros escenarios de cambio climático con los publicados por Magaña (2000) y Orellana (2002). En la conclusión se mencionan los resultados más importantes del análisis de correlaciones, las regresiones, los escenarios y los pronósticos.

En el capítulo de perspectivas futuras mencionamos las mejoras que se le pueden hacer al presente trabajo.

2 DATOS Y METODOLOGÍA

2.1. DATOS

2.1.1. TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN DE LOCALIDADES CONTINENTALES

La temperatura media mensual se obtiene como el promedio de la temperatura máxima y mínima mensuales. Calculamos la temperatura media anual como el promedio de las temperaturas medias mensuales (de enero a diciembre para cada año). La precipitación mensual total es la suma de las precipitaciones diarias. Calculamos la precipitación total anual sumando las precipitaciones totales mensuales (de enero a diciembre para cada año). Se toman los valores de temperatura y precipitación diarios de la base de datos de la Subgerencia Técnica De La Gerencia Regional Península De Yucatán de la Comisión Nacional Del Agua (CNA) y del Sistema Meteorológico Nacional (SMN). Los valores mensuales de temperatura promedio y precipitación total fueron proporcionados por Roger Orellana (comunicación personal), los datos faltantes nunca fueron más de un año consecutivo ni más de 5 años en total, cada uno se sustituyó con el promedio de la serie anual del mes correspondiente.

Se hace el tratamiento de datos para la temperatura media anual y precipitación total anual de **Champotón** (clave SMN 04008, lat. 19°21' Norte (N) lon. 90°43' Oeste (W) alt. 2 m), **Mérida** (clave SMN 31044, 20°57' N 89°39' W 22 m), **Kantunilkin** (clave SMN 23011, 21°07'20" N 87°29'30" W 20m) y **Chetumal** (clave SMN 23032, 18°30'25" N 18°30'25" W 3 m), para las precipitaciones mensuales en Champotón y para las temperaturas medias mensuales de Progreso (clave SMN 31023, 21°17' N 89°39' W 2 m) y Champotón. Se tomaron estas localidades por tener cada una mejor historial meteorológico (de 40 a 50 años) de uno de los climas más representativos en la Península de Yucatán.

2.1.2. SST

Los valores históricos para la temperatura media de la superficie del océano (*Sea Surface Temperature* (SST)) se tomaron del registro de Reynolds (2002) el cual tiene una resolución geográfica (rejilla) de 2° lat x 2° lon.

Los valores mensuales y anuales de las SST que se usan como predictores (SST predictor) para los escenarios, fueron las medias mensuales o anuales desde 1900 hasta 2100 de la temperatura a 2m de altura (por considerarla como próxima a SST y superficial continental) de la simulación GHG+A obtenida con el modelo **CGCM2** (*Coupled General Circulation Model, Second Generation*) del Centro Canadiense del Clima (CCCma, 2002), que es una simulación de 201 años, con una resolución (rejilla) de 1.88° lat x 1.88° lon, que utiliza el escenario IPCC "IS92a" (en donde se incluye el efecto directo de los aerosoles de sulfato) en el cual los gases de efecto invernadero se incrementarían según lo registrado

de 1900 a 1990 y después a una razón de 1% por año hasta el 2100 (CCCma, 2002). Escogimos el modelo CGCM2 para ser consistentes con escenarios anteriores (Gay, 2001; Magaña, 1994, 1995, 1997, 2000), en donde se usan modelos de CCCma, y que los modelos del El análisis indica que las SSTs de la región tropical de los océanos Pacífico y Atlántico juegan un papel dominante en la modulación del clima en México, encontrándose coeficientes de correlación de hasta 0.5 (Gay, 2001), por lo que se requiere que el modelo sea capaz de simular la interacción océano-atmósfera, como Víctor Magaña apunta en su análisis para la precipitación (Magaña, 1995).

2.2. MÉTODO (PERFECT-PROG)

Es posible correlacionar registros históricos de variables de escala global, como las SST, altura geopotencial en 700 y 500mb y presión atmosférica, con variables de superficie regionales y locales como temperatura y precipitación. Al suponer que estas relaciones se mantienen bajo condiciones de cambio climático y que los modelos de circulación general (GCM) simulan las circulaciones de gran escala adecuadamente, podemos obtener pronósticos regionales utilizando el pronóstico de los modelos como predictores en ecuaciones de regresión (Magaña, 1994); este método es similar al Perfect-Prog (pronóstico perfecto) usado en la predicción numérica del clima (Wilks, 1995).

2.2.1. CORRELACIÓN (CORRELACIÓN DE PEARSON)

Para relacionar dos series de datos x e y con n datos cada una, se utilizó el coeficiente de correlación $r = \Sigma X Y / (\Sigma X^2 \Sigma Y^2)^{1/2}$ con $X = x - \Sigma x / n$, $Y = y - \Sigma y / n$, el cual es igual a +/- 1 para una relación lineal (+1 para pendiente positiva, -1 para negativa), ó 0 si no hay tal (Fig. 2-1).

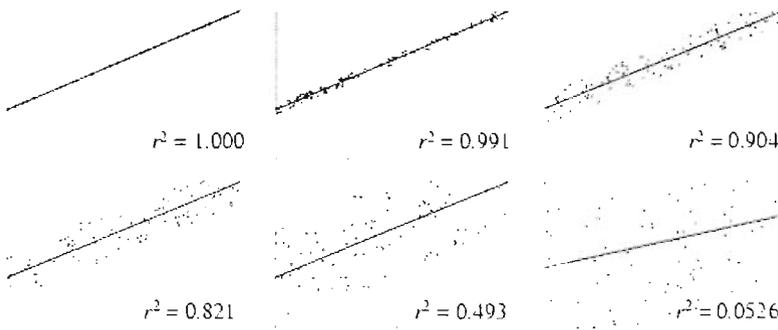


Fig. 2-1. Ejemplos de correlación. fuente: <http://mathworld.wolfram.com/CorrelationCoefficient.html>

Para n pares de datos a correlacionar se tiene una incertidumbre p asociada, que está determinada por la función t de student: $t = r [(n - 2) / (1 - r^2)]^{1/2}$. En el análisis realizado en el presente trabajo se tomaron de 40 a 50 años de registro histórico disponibles de cada localidad, encontrándose correlaciones tan altas como 0.4, a lo que corresponde una incertidumbre de 1% en los resultados (Tabla 2-1).

Tabla 2-1. Valores del coeficiente de correlación r para incertidumbre p y cantidad n de datos dados.

Número de datos n	incertidumbre					
	p=0.1	p=0.05	p=0.02	p=0.01	p=0.005	p=0.001
21	0.360	0.423	0.492	0.537	0.576	0.625
31	0.296	0.349	0.409	0.449	0.484	0.554
41	0.257	0.304	0.358	0.393	0.425	0.49
51	0.231	0.273	0.322	0.354	0.384	0.443

fuelle: (Parker, 1981)

2.2.2. MAPAS DE ISOCORRELACIÓN

Se elaboraron en CLIMLAB2000¹ los mapas de isocorrelación entre las series de datos, correspondientes a las estaciones de interés, y las SST históricas (integrado en CLIMLAB2000) para el periodo con datos en ambos registros (SMN y Reynolds). Se realizaron dichos mapas para la temperatura promedio mensual de Progreso y de Champotón, para la precipitación total mensual de Champotón y para la temperatura media anual y precipitación total anual de Mérida, Kantunilkin y Chetumal.

¹ Software desarrollado por **Raul A. Tanco** (Dpt. of Applied Geophysics Faculty of Astronomical and Geophysical Sciences University of La Plata - La Plata - Argentina e-mail: rtanco@fcaglp.fcaglp.unlp.edu.ar) y **Guillermo J. Berri** (Dept. of Meteorology Faculty of Atmospheric Sciences University of Buenos Aires - Argentina e-mail: berri@at1.fcen.uba.ar) que permite análisis estadísticos simples y avanzados al combinar el poder de cálculo de Octave (desarrollado en la Universidad de Wisconsin) para operaciones con matrices, y GrADS (desarrollado en el Centro para Estudios del Océano-Tierra-Atmósfera o COLA (Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies) del Institute of Global Environment and Society, Inc, o IGES) para realizar gráficos espaciales (líneas de contorno), líneas costeras y divisiones políticas.

En estos mapas se identificaron las correlaciones más altas en regiones extensas. Recordando que para un error menor a 1% en el coeficiente de correlación r debe valer más de 0.393 para 41 datos y más de 0.354 para 51 datos (Tabla 2-1).

2.2.3. REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE

Con CLIMLAB2000 se obtiene la serie temporal de datos del registro histórico de SST (integrada a CLIMLAB2000), para los puntos geográficos que tengan las correlaciones más altas en regiones extensas y se realizan las regresiones lineales múltiples (con CLIMLAB2000) teniendo como variables independientes (predictores) las anteriores series y como dependiente la serie de la variable meteorológica de la localidad en cuestión.

2.2.4. ESCENARIOS

2.2.4.1. SERIES ANUALES

Para eliminar el error sistemático de los valores predictores, se ajustaron las series agregando el promedio de la diferencia del valor histórico con el de la regresión, para el intervalo temporal del registro histórico, diferencia llamada $\langle D \rangle$. De esta manera obtenemos los escenarios anuales para la precipitación total mensual de Champotón y para la temperatura media anual y precipitación total anual de Mérida, Kantunilkin y Chetumal. Se comparó cada regresión ajustada (escenario anual) con la serie sin ajuste, los promedios históricos de la localidad (SMN) y los valores dados por CGCM2 para la variable simulada, en el punto de rejilla más cercano a la estación climatológica.

2.2.4.2. ESCENARIOS PARA LA CONDICIÓN DE DOBLAMIENTO DE CARBONO (escenario $2\times\text{CO}_2$)

Se elaboraron los escenarios para la condición de doblamiento de carbono ($2\times\text{CO}_2$) con el fin de tener valores cuantitativos que permitan discutir la validez de los escenarios al compararlos con otros escenarios análogos para cambio climático (Gay (2001), Conde (1994, 1995) y Magaña (1995, 1997, 2001)). Se considero que en el año 2023 ocurre la condición de doblamiento de carbono (CO_2 a concentración de 660 ppmv) en nuestros escenarios, como indica el escenario IPCC "IS92a" usado en la simulación GHG+A del modelo CGCM2.

Para tener el escenario anual de doblamiento de carbono en la Península de Yucatán, calculamos dos variables para Champotón, Mérida, Kantunilkin y Chetumal con los datos de los escenarios anuales: la **anomalía climática de la temperatura ΔT_M** , definida como la diferencia del promedio climático de la temperatura media anual para $2\times\text{CO}_2$ (29 años: 2008-2037) y el promedio del periodo con registros

históricos, y la **anomalía climática de la precipitación** C_{PM} , definida como el cociente entre promedio climático de la precipitación total para $2xCO_2$ (29 años: 2008-2037) y el promedio del periodo con registros históricos, anulándose así los errores sistemáticos de los predictores. Se editaron los mapas de isotermas e isoyetas en SURFER², donde se utilizó el método de kriging (técnica de estimación geoestadística, que emplea medias móviles pesadas y los parámetros de un variograma) para las rejillas. Para el escenario $2xCO_2$ de las precipitaciones totales mensuales en Champotón se elaboró el diagrama ombrotérmico (diagramas en los que se relaciona la eficiencia de lluvia con temperatura) con pronósticos para la condición $2xCO_2$ del modelo GFDL, del modelo CCC (Orellana R, 2002) y de nuestro escenario de precipitación total mensual; para comparar, agregamos los promedios del registro histórico (SMN).

² Surfer 6.04 (june 1996), Golden Software Inc.

3. RESULTADOS

Se realizan para diferentes localidades de la Península de Yucatán (Progreso, Champotón, Mérida, Kantunilkin y Chetumal) mapas de isocorrelación, regresiones lineales múltiples, escenarios anuales de las variables meteorológicas locales (temperatura media anual, temperatura media mensual, precipitación total anual y precipitación total mensual) y el escenario para la condición de doblamiento de carbono (Tabla 3-1).

Tabla 3-1. Resultados para las variables climáticas en Progreso, Champotón, Mérida, Kantunilkin y Chetumal.

Variable \ localidad	Progreso	Champotón	Mérida	Kantunilkin	Chetumal
T_m (temperatura media mensual)	I	I			
T_a (temperatura media anual)	I	I, A, 2xCO ₂			
P_a (precipitación total anual)		I, A, 2xCO ₂			
P_m (precipitación total mensual)		I, A, 2xCO ₂			

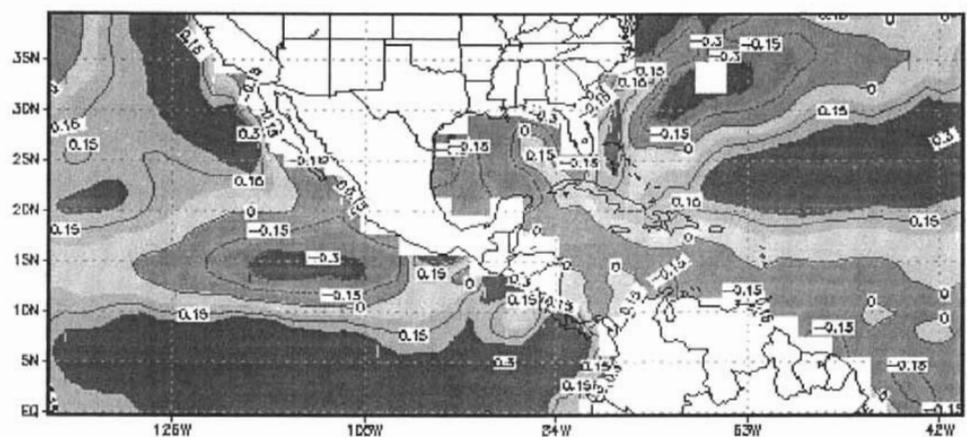
I= mapas de isocorrelación (2.2.2), A = escenarios para series anuales (2.2.4) y 2xCO₂= escenario para la condición de doblamiento de carbono (2.2.5).

3.1. MAPAS DE ISOCORRELACIÓN

3.1.1. TEMPERATURA MEDIA ANUAL

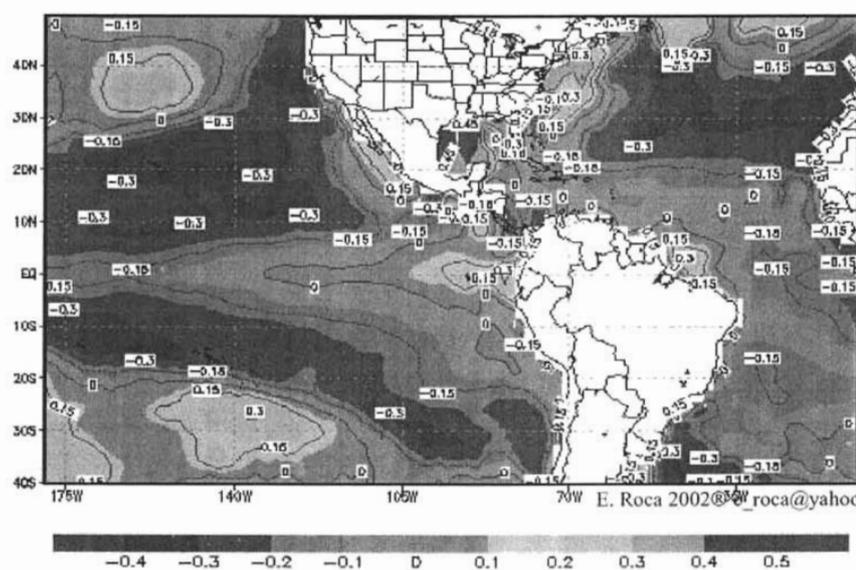
Se elaboraron los mapas de isocorrelación entre la temperatura superficial del mar (*Sea Surface Temperature* (SST)) y la temperatura media anual promedio en Progreso de 1950 a 1999, para Champotón de 1950 a 1999, para Mérida de 1961 al 2000, para Kantunilkin de 1961 al 2000 y para Chetumal de 1950 al 2000.

Encontramos que las correlaciones más altas, en regiones más extensas, están para Progreso en el Atlántico (trópico de cáncer), costa de California y la Zona Intertropical de Convergencia (ZITC) (Fig. 3.1.1-1), para Champotón principalmente en el Golfo de México y además en la costa este de E.U.A., Atlántico Norte, Hawaii y al norte de Brasil (Fig. 3.1.1-2), para Mérida en el Atlántico norte-ecuatorial (26.5° N 86.5° W (Florida), con correlación r de 0.6) y en el Golfo de Tehuantepec (14° N 98° W con $r = 0.5$) (Fig. 3.1.1-3), para Kantunilkin en el Atlántico norte occidental (27.5° N 74° W (Bahamas) $r = 0.5$, 23.5° N 81.5° W (Cuba) $r = 0.4$) (Fig. 3.1.1-4) y para Chetumal en el Pacífico norte (40° N 168° W $r = -0.5$), Atlántico norte occidental (46° N 46.5° W $r = -0.5$) y norte de Brasil (16° Sur (S) 30° W $r = 0.5$) (Fig. 3.1.1-5).



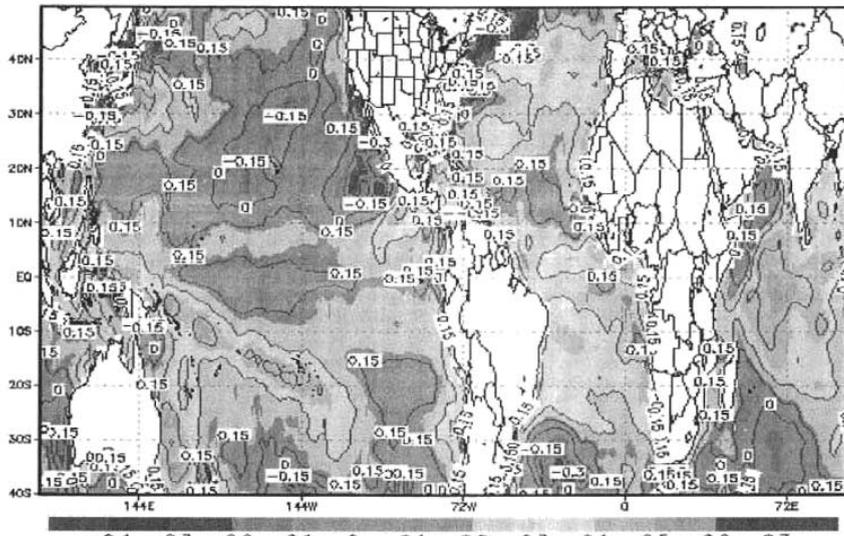
E. Roca 2002@ e_roca@yahoo.com

Fig. 3.1.1-1 Mapa de isocorrelación SST-temperatura en Progreso, para medias anuales.



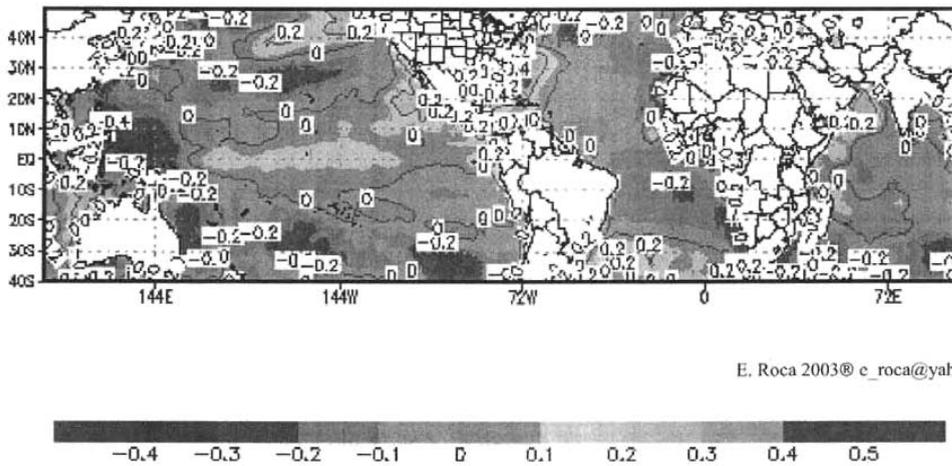
E. Roca 2002@ e_roca@yahoo.com

Fig. 3.1.1-2. Isocorrelación SST - temperatura en Champotón, medias anuales.



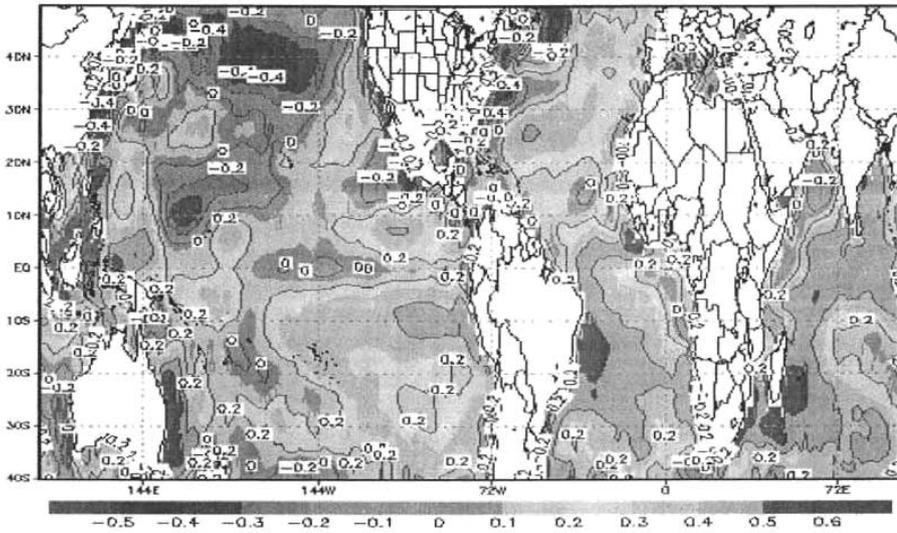
E. Roca 2003® e_roca@yahoo.com

Fig. 3.1.1-3. Mapa de isocorrelación SST- temperatura en Mérida, medias anuales.



E. Roca 2003® e_roca@yahoo.com

Fig. 3.1.1-4. Mapa de isocorrelación SST- temperatura en Kantunilkin, medias anuales.



E. Roca 2003® e_roca@yahoo.com

Fig. 3.1.1-5. Mapa de isocorrelación SST-temperatura en Chetumal, medias anuales.

3.1.2. TEMPERATURA MEDIA MENSUAL

Se elaboraron los mapas de isocorrelación, para promedios mensuales (enero a diciembre), entre la SST histórica y la temperatura en Progreso y en Champotón de 1950 a 1999 (Apéndice A.1).

Para Progreso las más significativas correlaciones están en el Atlántico (trópico de cáncer), Pacífico noreste, ZITC y al norte de Brasil. La correlación en el Atlántico (trópico de cáncer) se da con dos núcleos de alta correlación: uno en la Florida y otro frente África, de diciembre a abril el primero es más significativo, de mayo a agosto ambos son significativos y se unen en la longitud 40° W, de septiembre a noviembre es significativo el núcleo Africano. Para ZITC la correlación significativa está aproximadamente en la zona niño¹, con núcleos que crecen del Golfo de Tehuantepec hacia el suroeste de abril a agosto alcanzando la más alta correlación en junio. Para el Pacífico noreste en la región cercana a las costas de EUA (correlación positiva) y mar adentro (correlación negativa). En el norte de

¹ Niño 1+2 (0-10° South)(90° West - 80° West)

Niño 3 (5° North - 5° South)(150° West - 90° West)

Niño 3.4 (5° North - 5° South)(170 - 120° West)

Niño 4 (5° North - 5° South) (160° East - 150° West)

Fuente: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/index.html>

Brasil se tienen dos núcleos: uno con correlación negativa, en 10° N - 50° W, que alcanza su máximo de 0.5 en febrero; el otro, de manera cíclica, alcanza su máximo de 0.5 en octubre, en 10° N - 40° W, para después moverse hacia el sur 10° y regresar. Se presentan 2 regiones con correlación significativa en un periodo extenso de tiempo: de diciembre a abril las aguas de Florida y de abril a agosto al sur de Oaxaca, determinado por los fenómenos norte y monzón mexicano (Magaña, 1999).

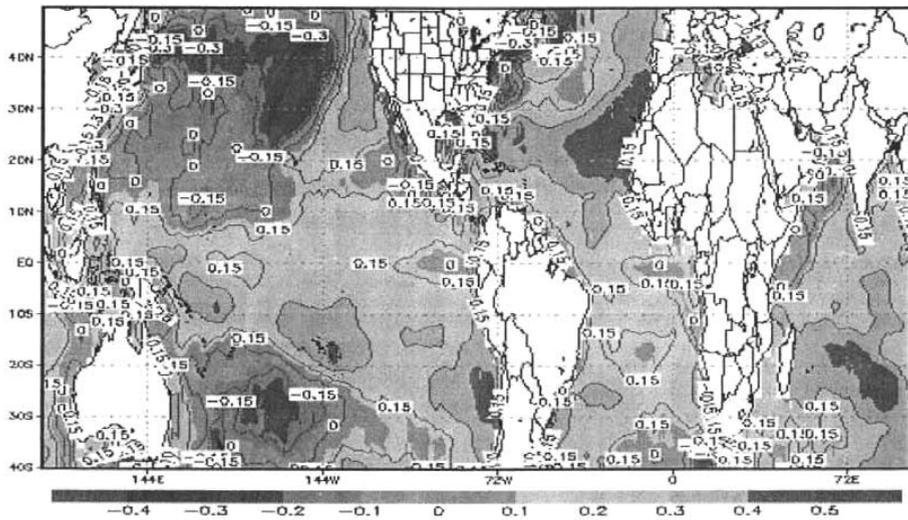
Champotón en los meses octubre a marzo con el Golfo de México, de abril a julio con la ZITC, de mayo a agosto con el mar frente a Baja California, en julio y septiembre con el mar al norte de Brasil. Así tenemos que hay dos grandes regímenes de correlación: octubre-abril bajo la influencia del Golfo de México y mayo-agosto bajo la influencia del Pacífico.

De los mapas elaborados se encuentra que las regiones de mayor correlación más frecuentes, tanto para Champotón como para Progreso, son Golfo de México, costas de Florida, costa este de E.U.A, Atlántico (Norte, trópico de cáncer y norte de Brasil), Hawaii, ZITC y Oeste de Baja California. Determinamos así regiones de influencia significativa de acuerdo a la proximidad geográfica: región cercana: $75 - 130^{\circ}$ W, $10 - 30^{\circ}$ N, región media: $30 - 140^{\circ}$ W, 30° N - 20° S y región lejana: $25 - 160^{\circ}$ W, 50° N - 40° S.

3.1.3. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL

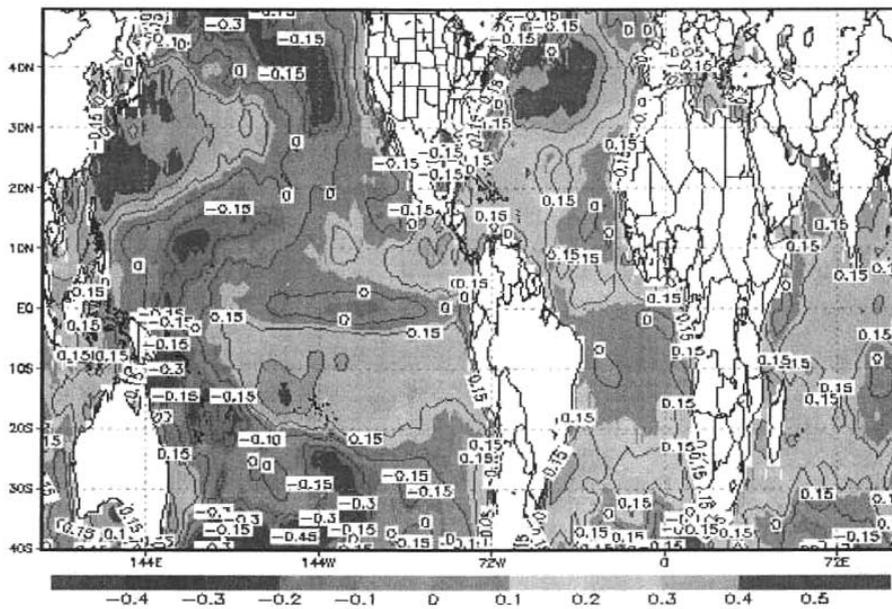
Elaboramos los mapas de isocorrelación entre SST histórica y precipitación total anual en Champotón de 1961 al 2000, en Mérida de 1961 al 2000, en Kantunilkin de 1950 al 2000, en Chetumal de 1950 al 2000.

Las regiones de mayor correlación para Champotón, respecto a todo el mundo, están en el Atlántico ecuatorial africano y en el Pacífico noreste, las regiones más próximas a México están por Florida, Atlántico ecuatorial africano y Pacífico noreste (Fig. 3.1.3-1). Para Mérida en el Atlántico norte (42.5° N 57° W $r = 0.5$) y en el Pacífico ecuatorial este (11° N 93° W $r = 0.33$) y en Haití (19.5° N 73° W $r = 0.3$) (Fig. 3.1.3-2). Para Kantunilkin en el Atlántico norte (36° N 59° W $r = 0.4$ y 12.5° N 99° W $r = 0.3$) (Fig. 3.1.3-3). Para Chetumal en el Atlántico norte (37° N 39° W, $r = 0.3$) y el Pacífico norte (35° N 140° W $r = -0.36$) (Fig. 3.1.3-4).



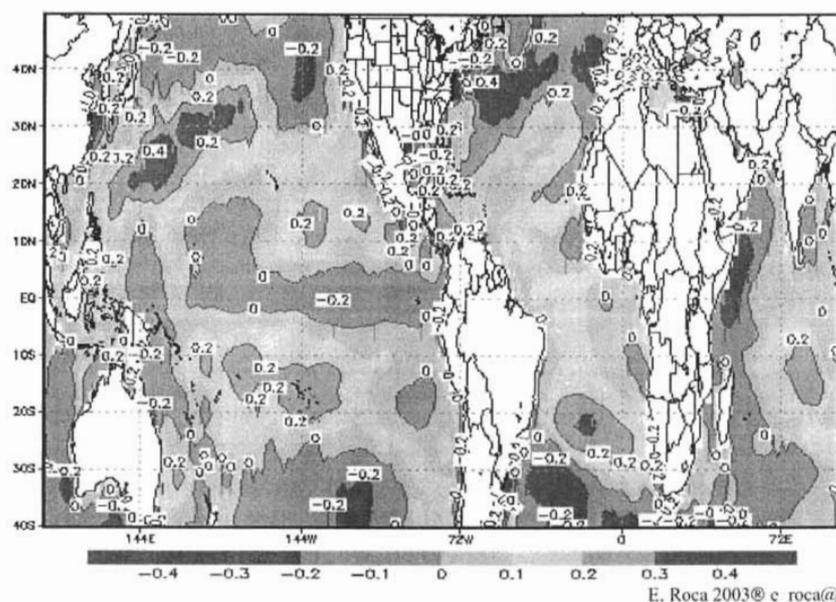
E. Roca 2002@ e_roca@yahoo.com

Fig. 3.1.3-1. Isocorrelación para SST media anual- precipitación total anual en Champotón.



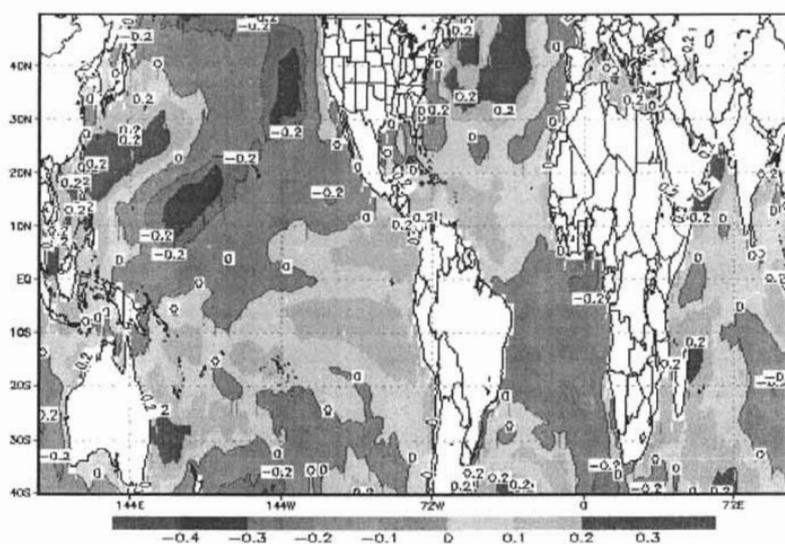
E. Roca 2003@ e_roca@yahoo.com

Fig. 3.1.3-2. Isocorrelación SST- precipitación total anual en Mérida.



E. Roca 2003® e_roca@yahoo.com

Fig. 3.1.3-3. Isocorrelación SST- precipitación total anual en Kantunilkin.



E. Roca 2003® e_roca@yahoo.com

Fig. 3.1.3-4. Isocorrelación SST- precipitación total anual en Chetumal.

3.1.4. PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL

Se elaboraron los mapas de isocorrelación, de Enero a Diciembre, entre SST media mensual histórica y precipitación total mensual en Champotón de 1961 al 2000 (Apéndice A.2).

Las regiones con correlación más significativa están para Enero por Guyana, Pacífico ecuatorial y al norte de Brasil (Amazon); Febrero en el oeste de Norteamérica y al sureste de África; Marzo en Pacífico norte y Azores; Abril en Bering, Hawaii este y Hawaii norte; Mayo en Hawaii y Bermuda; Junio en el Pacífico norte (como en otros meses, solo que en este caso es negativa) y Atlántico norte; Julio en Pacífico norte y Atlántico norte; Agosto en Pacífico norte y Caribe; Septiembre en Pacífico norte, Cuba y Atlántico norte; Octubre en costa este del Pacífico y Atlántico norte; Noviembre en costa este del Pacífico, Atlántico norte; Diciembre en Pacífico norte, Bahamas y Atlántico norte.

3.2. REGRESIÓN

3.2.1. TEMPERATURA MEDIA ANUAL

Calculamos las regresiones de la temperatura media anual con incertidumbres a una desviación estándar (68%).

Para Champotón se realizaron todas las posibles regresiones lineales como combinaciones de los 3 puntos geográficos con mayor correlación, cada uno de las regiones con correlación más alta: Golfo (83 - 97° W 20 - 30° N) con máxima correlación de 0.5 en 90.5° W 26.5° N, Niño (80 - 100° W 5° N - 10° S) con máxima correlación de 0.3 en $84^\circ \pm 1^\circ$ W $0.5^\circ \pm 1.5^\circ$ S y Atlántico ecuatorial americano (Amazon, 40 - 50° W 10° N - 3° S) con máxima correlación de 0.3 en 45.5° W 3° N (Fig. 3.2.1-1), se encontró que la que incluye a los tres tiene la correlación más alta: 0.51, y la regresión con menor incertidumbre de la ordenada al origen es la del Golfo de México y la zona Niño (Tabla 3.2-1).

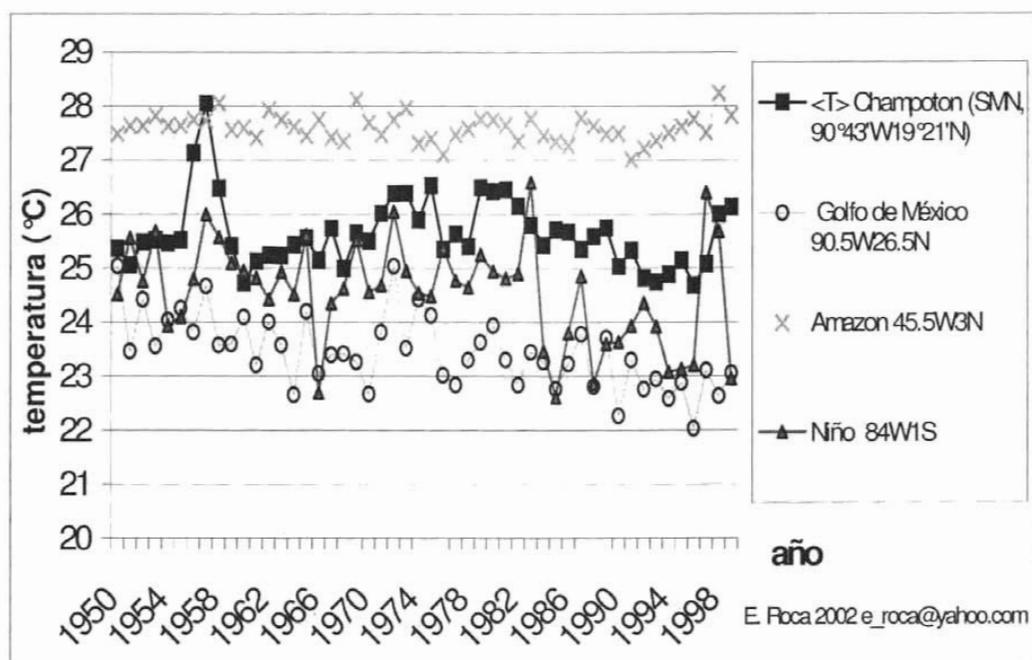


Fig. 3.2.1-1. Temperatura media anual de los predictores de la regresión de mayor correlación (Golfo & Niño & Amazon) en Champotón (SMN y Reynolds).

Es notorio que las incertidumbres dadas por las ecuaciones lineales múltiples son muy grandes, hecho que se tratará en el capítulo de discusión.

Tabla 3.2-1. Parámetros de las regresiones lineales para la temperatura media anual en Champotón.

PREDICTORES (long. lat.)	Correlación	Coefficientes \pm desviación estándar	Ordenada al origen
Golfo de México 90.5W26.5N	0.41	0.40 ± 0.13	16.23 ± 3.01
Niño 84W1S	0.33	0.23 ± 0.09	20.1 ± 2.27
Amazon 45.5W3N	0.30	0.80 ± 0.36	3.5 ± 10.04
Niño & Amazon	0.41	0.61 ± 0.37 & 0.18 ± 0.06	4.44 ± 9.77
Golfo de México & Niño	0.45	0.32 ± 0.14 & 0.14 ± 0.10	14.74 ± 3.16
Golfo de México & Amazon	0.49	0.38 ± 0.12 & 0.72 ± 0.34	-3.29 ± 9.51
Golfo & Niño & Amazon	0.51	0.33 ± 0.14 & 0.09 ± 0.10 & 0.64 ± 0.35	-1.98 ± 9.65

E. Roca 2002@ e_roca@yahoo.com

Considerando estas dos regresiones y tomando la temperatura en 90.5° W 26.5° N (Golfo) como T_{a1} , la de 84° W 1° S (Niño) como T_{a2} y la de 45.5° W 3° N (Amazon) como T_{a3} , entonces las regresiones lineales propuestas para la temperatura media anual en Champotón T_a son la regresión con mayor correlación T_{ac} (ec. 3.2.1-1) y la regresión con menor incertidumbre de la coordenada al origen T_{ad} (ec. 3.2.1-1).

$$T_{ac} = (0.33 \pm 0.14)T_{a1} + (0.09 \pm 0.1)T_{a2} + (0.64 \pm 0.35)T_{a3} - (1.98 \pm 9.65)^\circ\text{C}$$

ec. 3.2.1-1

$$T_{ad} = (0.32 \pm 0.14)T_{a1} + (0.14 \pm 0.1)T_{a2} + (14.74 \pm 3.16)^\circ\text{C}$$

ec. 3.2.1-2

Para Mérida $T_r = (0.73 \pm 0.21)T_{r1}(\text{°C}) + (0.35 \pm 0.22)T_{r2}(\text{°C}) + (-3.39 \pm 5.64)^\circ\text{C}$ ec. 3.2.1-3 de correlación 0.67, donde T_{r1} es la SST (predictor) en 26.5° N 86.5° W (Florida con correlación de 0.6) y T_{r2} en 14° N 98° W (Golfo de Tehuantepec, $r = 0.5$).

Para Kantunilkin $T_n = (1.16 \pm 0.59)T_{n1}(\text{°C}) + (0.72 \pm 0.63)T_{n2}(\text{°C}) + (-24.54 \pm 11.37)^\circ\text{C}$ ec. 3.2.1-4 de correlación 0.54 con los predictores 27.5° N 74° W (Bahamas, $r = 0.5$) como T_{n1} y 23.5° N 81.5° W (Cuba, $r = 0.4$) como T_{n2} .

Para Chetumal $T_e = (-0.4 \pm 0.15)T_{e1}(\text{°C}) + (-0.06 \pm 0.07)T_{e2}(\text{°C}) + (0.44 \pm 0.29)T_{e3}(\text{°C}) + (21.82 \pm 8.45)^\circ\text{C}$ ec. 3.2.1-5 de correlación 0.64 con los predictores, 40° N 168° W (Pacífico norte, $r = -0.5$) como T_{e1} , 46° N 46.5° W (Atlántico norte occidental, $r = -0.5$) como T_{e2} y 16° S 30° W (Brasil, $r = 0.5$) como T_{e3} .

3.2.2. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL

Calculamos la regresión lineal de la precipitación total anual, a una desviación estándar, para Champotón $P_a = (170.71 \pm 86.93)T_{CHA1}(\text{mm}/^\circ\text{C}) + (150.34 \pm 167.67)T_{CHA2}(\text{mm}/^\circ\text{C}) + (-94.33 \pm 94.35)T_{CHA3}(\text{mm}/^\circ\text{C}) + (-4014.43 \pm 4263.75)\text{mm}$ ec. 3.2.2-1 de correlación 0.55 con $30^\circ \text{ N } 19.5^\circ \text{ W}$ (Atlántico ecuatorial africano, $r = 0.5$) como T_{CHA1} , $24.5^\circ \text{ N } 77.5^\circ \text{ W}$ (Florida, $r = 0.45$) como T_{CHA2} y $24^\circ \text{ N } 155^\circ \text{ W}$ (Pacífico noreste, $r = -0.4$) como T_{CHA3} .

Para Mérida $P_f = (104.57 \pm 36.93)T_{M1}(\text{mm}/^\circ\text{C}) + (13.82 \pm 109.8)T_{M2}(\text{mm}/^\circ\text{C}) + (106.29 \pm 130.81)T_{M3}(\text{mm}/^\circ\text{C}) + (-4131.03 \pm 2437.38)\text{mm}$ ec. 3.2.2-2 de correlación 0.54 con $42.5^\circ \text{ N } 57^\circ \text{ W}$ (Atlántico norte, $r = 0.5$) como T_{M1} , $11^\circ \text{ N } 93^\circ \text{ W}$ (Pacífico ecuatorial, $r = 0.33$) como T_{M2} y $19.5^\circ \text{ N } 73^\circ \text{ W}$ (Haití, $r = 0.3$) como T_{M3} .

Para Kantunilkin $P_n = (382.28 \pm 152.4)T_{K1}(\text{mm}/^\circ\text{C}) + (286.91 \pm 172.41)T_{K2}(\text{mm}/^\circ\text{C}) + (-15188.42 \pm 4986.12)\text{mm}$ ec. 3.2.2-3 de correlación 0.54 con $36^\circ \text{ N } 59^\circ \text{ W}$ (Atlántico norte, $r = 0.4$) como T_{K1} y $12.5^\circ \text{ N } 99^\circ \text{ W}$ (Guerrero, $r = 0.3$) como T_{K2} .

Y para Chetumal $P_c = (188.12 \pm 87.87)T_{CHE1}(\text{mm}/^\circ\text{C}) + (-212.18 \pm 87.23)T_{CHE2}(\text{mm}/^\circ\text{C}) + (1284.12 \pm 2588.22)\text{mm}$ ec. 3.2.2-4 de correlación 0.46 con $37^\circ \text{ N } 39^\circ \text{ W}$ (Atlántico norte, $r = 0.3$) como T_{CHE1} y $35^\circ \text{ N } 140^\circ \text{ W}$ (Pacífico norte, $r = -0.36$) como T_{CHE2} .

3.2.3. PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL

Calculamos la regresión para la precipitación total mensual en Champotón de Enero a Diciembre, a una desviación estándar (Tabla 3.2-2).

Tabla 3.2-2. REGRESIONES PARA LA PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL EN CHAMPOTÓN, PREDICTORES Y CORRELACIONES r.

MES	PREDICTORES (ubicación, r)	REGRESIÓN (\pm una desviación estándar),	r
Enero	T_{011} ($15^\circ \text{ N } 136^\circ \text{ W}$, Pacífico ecuatorial, 0.4) T_{012} ($5^\circ \text{ N } 41^\circ \text{ W}$, Amazon, -0.35) T_{013} ($28^\circ \text{ N } 36^\circ \text{ W}$, Azores, -0.36)	$P_{01} = (22.57 \pm 5.59)T_{011}(\text{mm}/^\circ\text{C}) + (-39.43 \pm 11.83)T_{012}(\text{mm}/^\circ\text{C}) + (-18.43 \pm 14.66)T_{013}(\text{mm}/^\circ\text{C}) + (830.92 \pm 406.33)\text{mm}$ ec. 3.2.3-1	0.67
Febrero	T_{021} ($22^\circ \text{ N } 75.5^\circ \text{ W}$, Cuba, 0.45) T_{022} ($27.5^\circ \text{ N } 35^\circ \text{ W}$, Atlántico norte, -0.34)	$P_{02} = (42.22 \pm 13.28)T_{021}(\text{mm}/^\circ\text{C}) + (-33.56 \pm 13.21)T_{022}(\text{mm}/^\circ\text{C}) - (350.14 \pm 440.52)\text{mm}$ ec. 3.2.3-2	0.56
Marzo	T_{031} ($36.5^\circ \text{ N } 172^\circ \text{ E}$, Pacífico norte, -0.45) T_{032} ($29.5^\circ \text{ N } 31^\circ \text{ W}$, Azores, 0.36)	$P_{03} = (-22.43 \pm 7.19)T_{031}(\text{mm}/^\circ\text{C}) + (-4.56 \pm 6.07)T_{032}(\text{mm}/^\circ\text{C}) + (436.51 \pm 158.71)\text{mm}$ ec. 3.2.3-3	0.46
Abril	T_{041} ($50.5^\circ \text{ N } 160^\circ \text{ W}$, Bering, 0.4) T_{042} ($24^\circ \text{ N } 141^\circ \text{ W}$, Hawaii este, 0.3)	$P_{04} = (12.33 \pm 6.23)T_{041}(\text{mm}/^\circ\text{C}) + (3.14 \pm 4.41)T_{042}(\text{mm}/^\circ\text{C}) + (-1.85 \pm 3.85)T_{043}(\text{mm}/^\circ\text{C}) + (-81.35 \pm 135.43)\text{mm}$	0.48

	T ₀₄₃ (32° N 173° W, Hawaïi norte, -0.3)	ec. 3.2.3-4	
Mayo	T ₀₅₁ (30° N 144° W, Hawaïi, 0.6) T ₀₅₂ (28° N 57° W, Bermuda, 0.4)	P ₀₅ = (41.2±10.94)T ₀₅₁ (mm/°C) + (29.03±16.91)T ₀₅₂ (mm/°C) + (-1462.1±382.77)mm ec. 3.2.3-5	0.64
Junio	T ₀₆₁ (30° N 159° W, Pacífico norte, -0.4) T ₀₆₂ (37.5° N 69° W, Atlántico norte, 0.35)	P ₀₆ = (-60.87±16.02)T ₀₆₁ (mm/°C) + (60.57±16.8)T ₀₆₂ (mm/°C) + (191.97±563.36)mm ec. 3.2.3-6	0.62
Julio	T ₀₇₁ (31° N 167° E, Pacífico norte, 0.4) T ₀₇₂ (49.5° N 35° W, Atlántico norte, 0.35)	P ₀₇ = (42.88±14.87)T ₀₇₁ (mm/°C) + (27.22±11.08)T ₀₇₂ (mm/°C) + (-1277.78±381.97)mm ec. 3.2.3-7	0.52
Agosto	T ₀₈₁ (24° N 160° W, Pacífico norte, 0.35) T ₀₈₂ (15.5° N 75° W, Caribe, -0.2)	P ₀₈ = (75.47±31.67)T ₀₈₁ (mm/°C) + (-52.8±39.89)T ₀₈₂ (mm/°C) + (-231.85±1548.61)mm ec. 3.2.3-8	0.41
Septiembre	T ₀₉₁ (46° N 131° W, Pacífico norte, 0.35) T ₀₉₂ (23.5° N 86° W, Cuba, 0.27) T ₀₉₃ (38±2° N 8±2° W, Atlántico norte, -0.3)	P ₀₉ = (52.54±22.09)T ₀₉₁ (mm/°C) + (89.98±46.34)T ₀₉₂ (mm/°C) + (-53.64±20.82)T ₀₉₃ (mm/°C) + (-2114.83±1354.26)mm ec. 3.2.3-9	0.55
Octubre	T ₁₀₁ (11° N 106° W, costa del Pacífico, -0.35) T ₁₀₂ (21.5° N 45° W, Atlántico norte, 0.3)	P ₁₀ = (-111.68±31.66)T ₁₀₁ (mm/°C) + (87±27.99)T ₁₀₂ (mm/°C) + (929.34±1156.25)mm ec. 3.2.3-10	0.56
Noviembre	T ₁₁₁ (16° N 108° W, costa del Pacífico, -0.4) T ₁₁₂ (36° N 24° W, Atlántico norte, 0.4) T ₁₁₃ (46° N 47° W, Atlántico norte, -0.4)	P ₁₁ = (-41.53±14.17)T ₁₁₁ (mm/°C) + (20.31±8.48)T ₁₁₂ (mm/°C) + (-5.88±2.57)T ₁₁₃ (mm/°C) + (894.67±468.31)mm ec. 3.2.3-11	0.64
Diciembre	T ₁₂₁ (14.5° N 152° W, Pacífico norte, 0.3) T ₁₂₂ (27° N 70° W, Bahamas, 0.3) T ₁₂₃ (44° N 63° W, Atlántico norte, -0.4)	P ₁₂ = (12.09±9.04)T ₁₂₁ (mm/°C) + (14.9±9.86)T ₁₂₂ (mm/°C) + (-10.48±3.95)T ₁₂₃ (mm/°C) + (-562.07±343.49)mm ec. 3.2.3-12	0.54

3.3. ESCENARIOS

3.3.1. SERIES ANUALES

3.3.1.1. TEMPERATURA MEDIA ANUAL

Se calcularon los escenarios anuales de la temperatura media anual $T_x + \langle D \rangle$ en Champotón, Mérida, Kantunilkin y Chetumal del año 1900 al 2100, comparamos con los predictores (solo para Champotón (Golfo, Niño y Amazon)), los datos históricos (SMN), la temperatura para el punto de la rejilla SST predictor más cercano a la península de Yucatán (CGCM2, 90° W 20.41° N), la regresión con predictores de SST histórica T_x (Reynolds) y la regresión con SST predictor T_x (CGCM2) (Fig. 3.3-1 a Fig. 3.3-4).

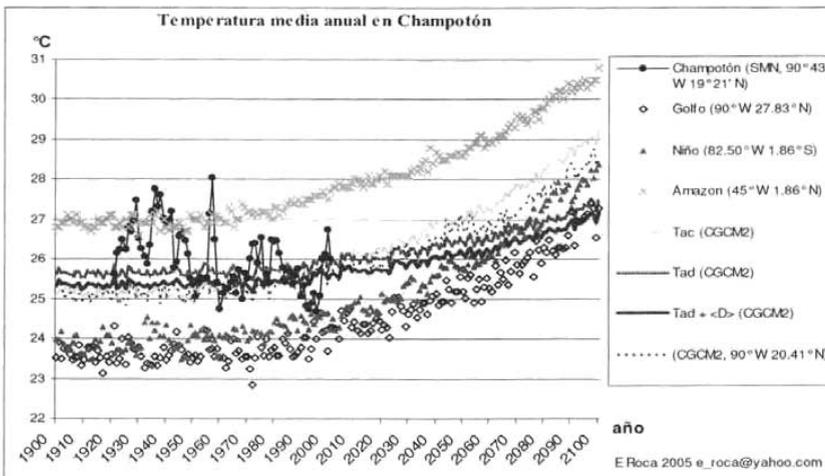


Fig. 3.3-1. Temperatura media anual en Champotón (registro histórico, pronósticos y predictores).

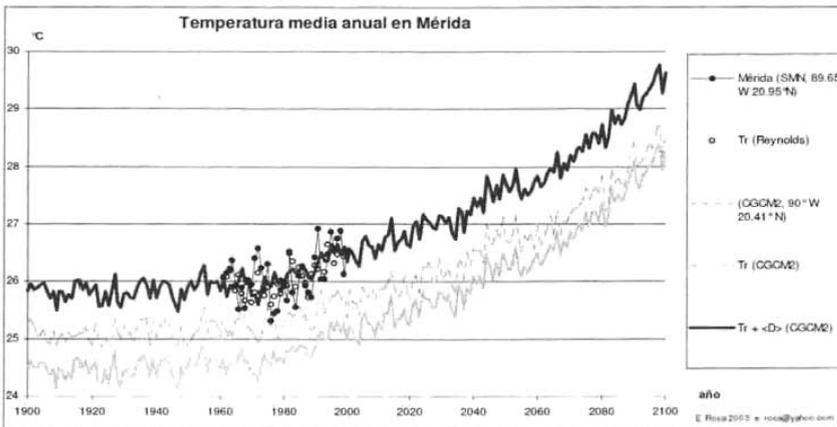


Fig. 3.3-2. Temperatura media anual en Mérida (registro histórico y pronósticos).

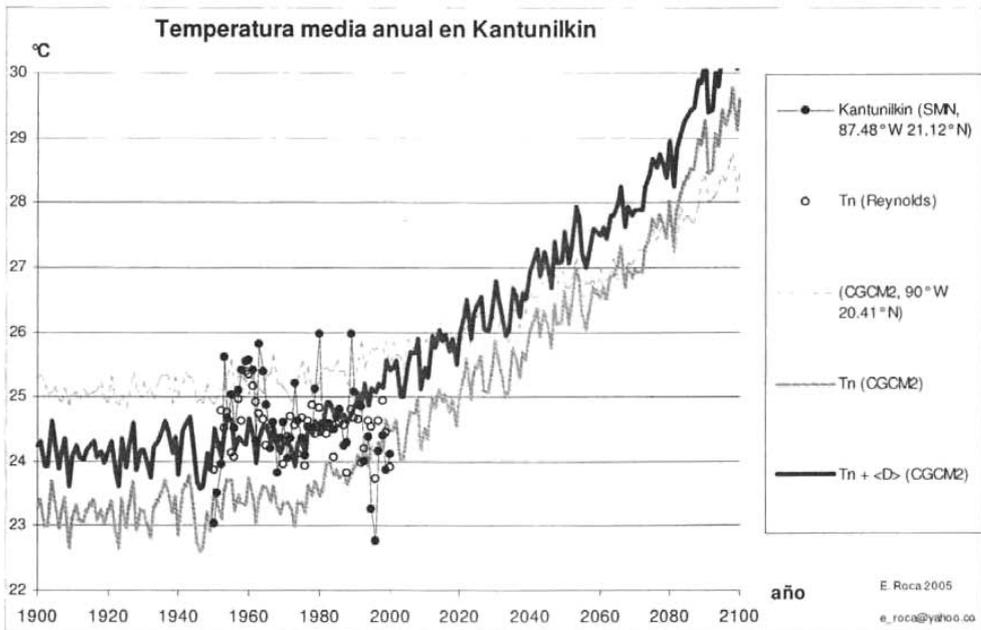


Fig. 3.3-3. Temperatura media anual en Kantunilkin (registro histórico y pronósticos).

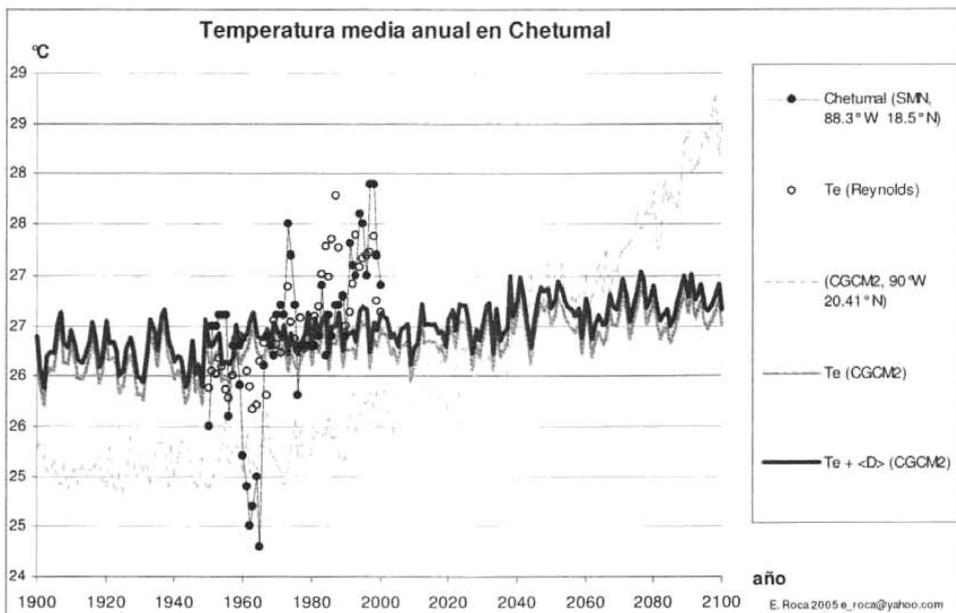


Fig. 3.3-4. Temperatura media anual en Chetumal (registro histórico y pronósticos).

3.3.1.2. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL

Comparamos el escenario de la precipitación total anual $P_x + \langle D \rangle$ en Champotón, Mérida, Kantunilkin y Chetumal con el registro histórico (SMN), la serie con SST histórica P_x (Reynolds), la regresión con SST predictor P_x (CGCM2) y la precipitación para el punto de rejilla (90° W 20.41° N) del modelo CGCM2 más cercano a la Península (Fig. 3.3-5 a Fig. 3.3-8).

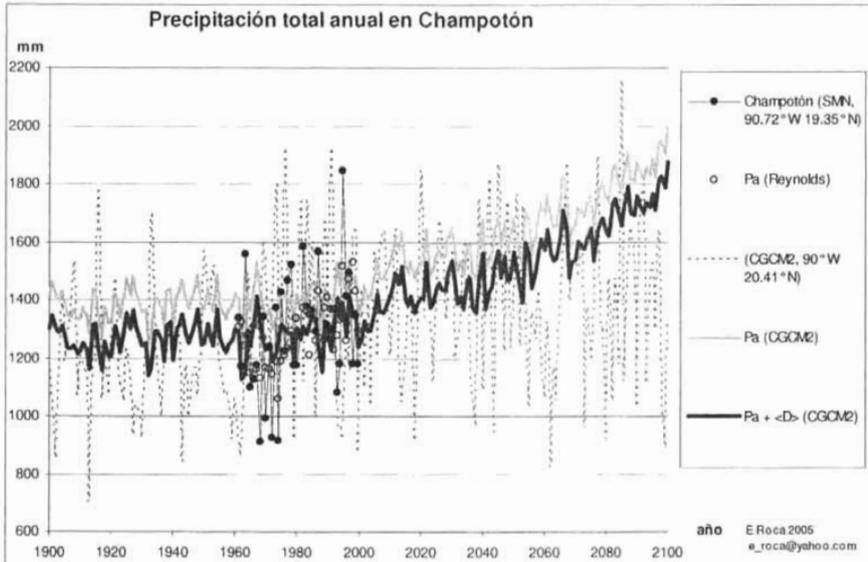


Fig. 3.3-5. Precipitación total anual en Champotón (registro histórico y pronósticos).

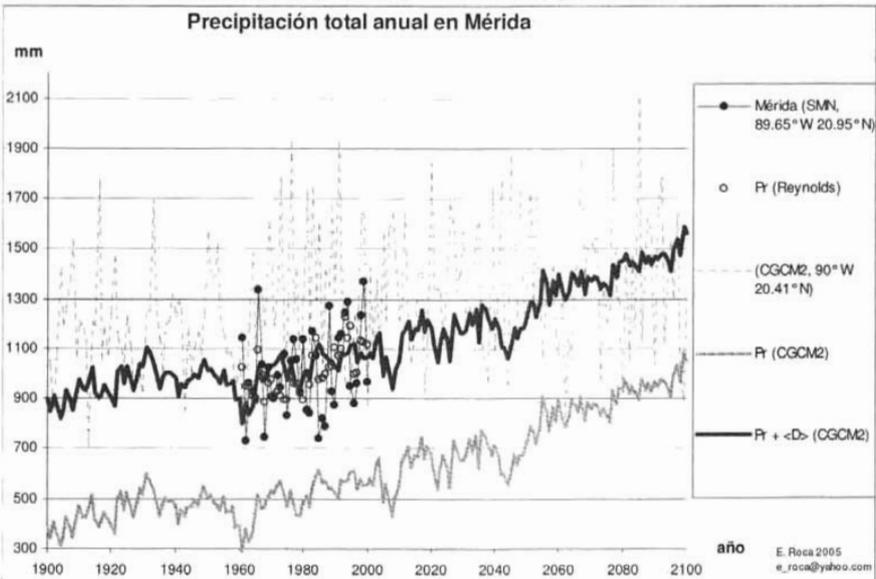


Fig. 3.3-6. Precipitación total anual en Mérida (registro histórico y pronóstico).

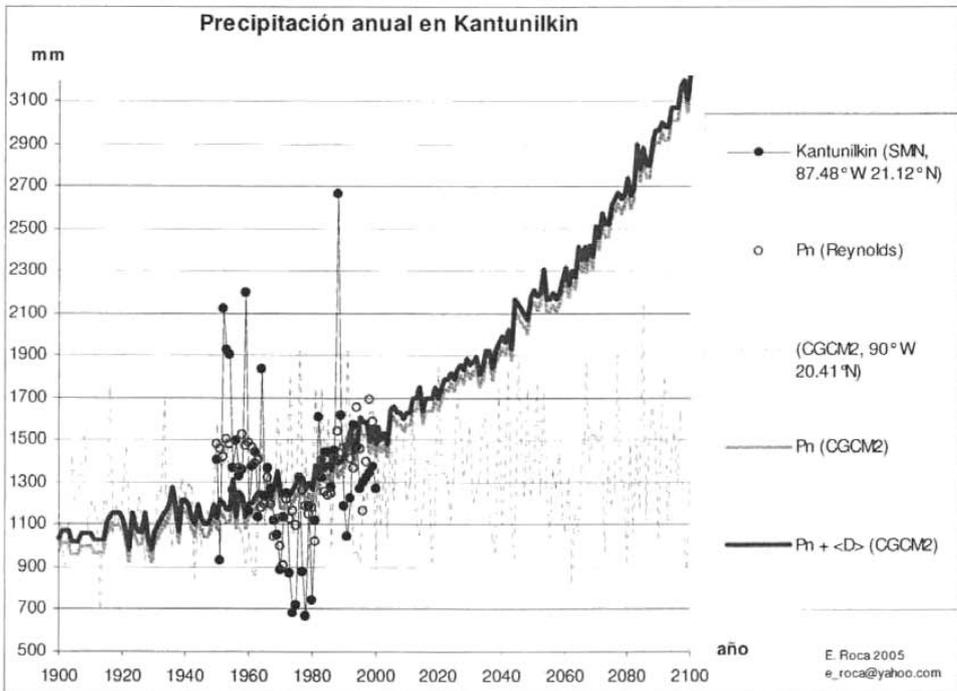


Fig. 3.3-7. Precipitación total anual en Kantunilkin (registro histórico y pronósticos).

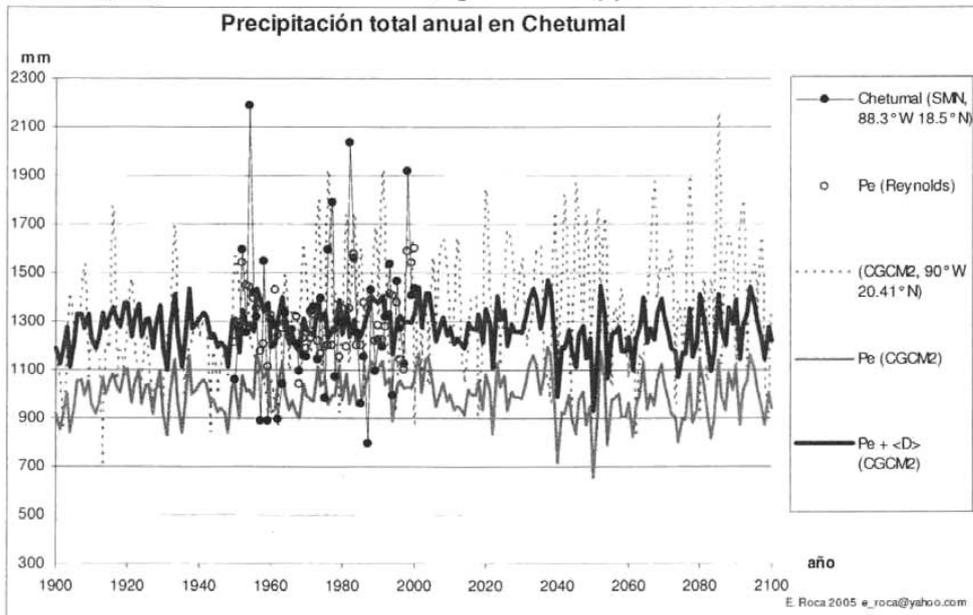


Fig. 3.3-8. Precipitación total anual en Chetumal (registro histórico y pronósticos).

3.3.1.3. PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL

El escenario de la precipitación total mensual de Enero a Diciembre en Champotón P_N se compara con el registro histórico (SMN), la regresión evaluada con SST histórica (Reynolds), la regresión evaluada con SST predictor y la precipitación mensual correspondiente para el punto de rejilla (90° W, 20.41° N) del modelo CGCM2 más cercano a Champotón (Fig. 3.3-9a Fig. 3.3-20).

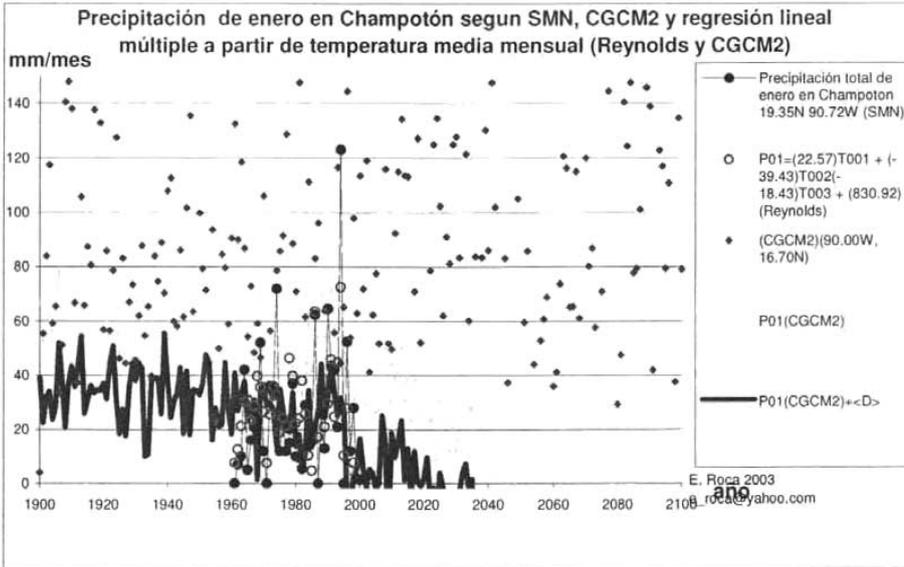


Fig. 3.3-9. Precipitación total mensual de Enero en Champotón (registro histórico y pronósticos).

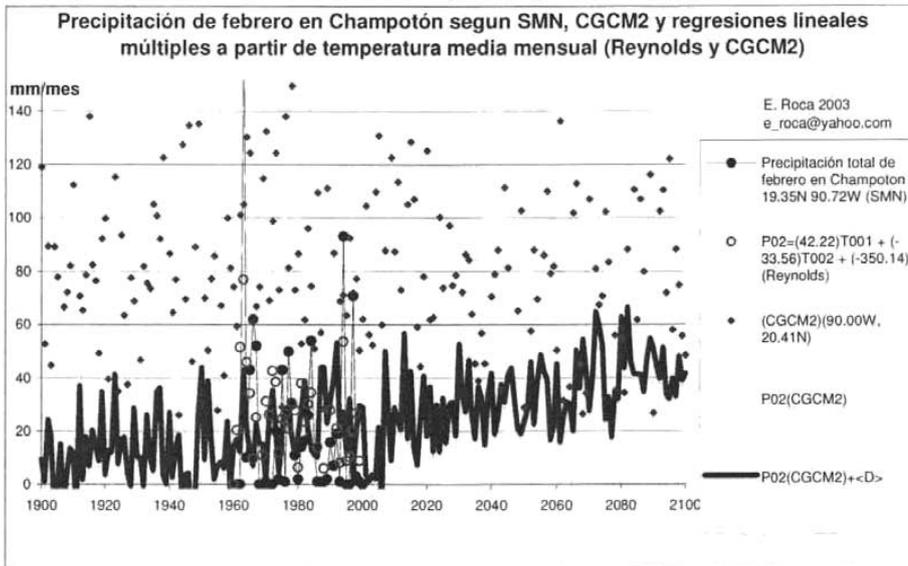


Fig. 3.3-10. Precipitación total mensual de Febrero en Champotón (registro histórico y pronósticos).

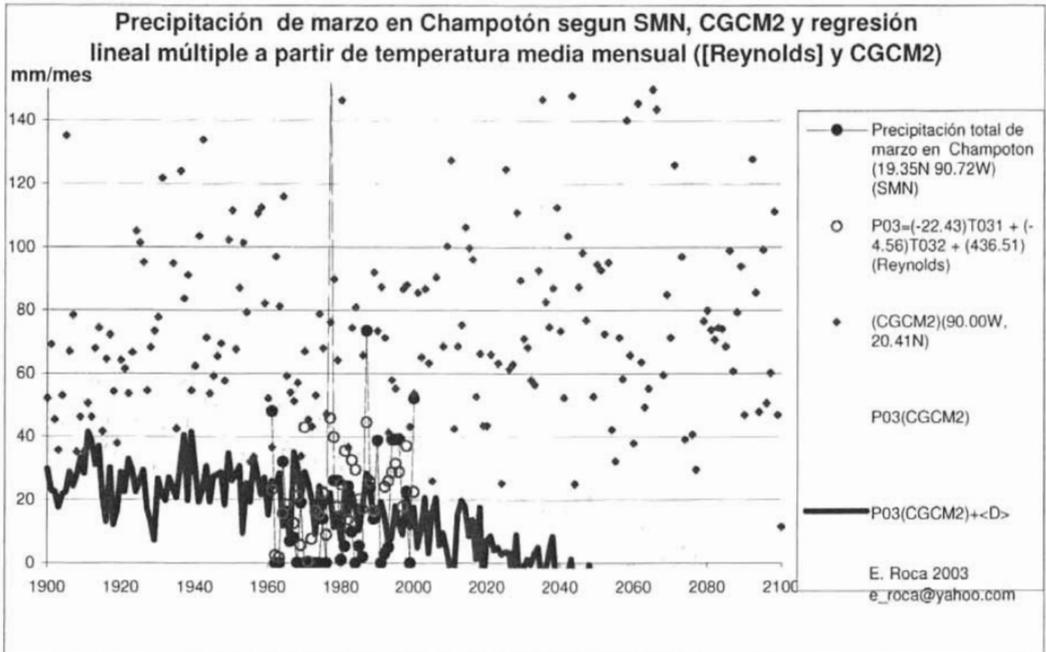


Fig. 3.3-11. Precipitación total mensual de Marzo en Champotón (registro histórico y pronósticos).

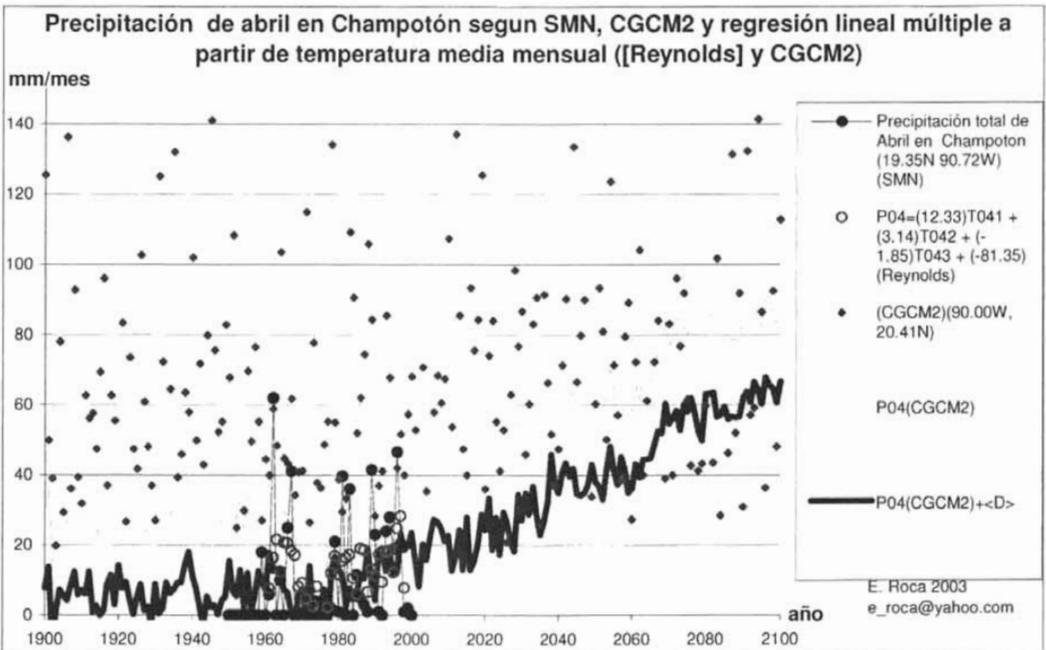


Fig. 3.3-12. Precipitación total mensual de Abril en Champotón (registro histórico y pronósticos).

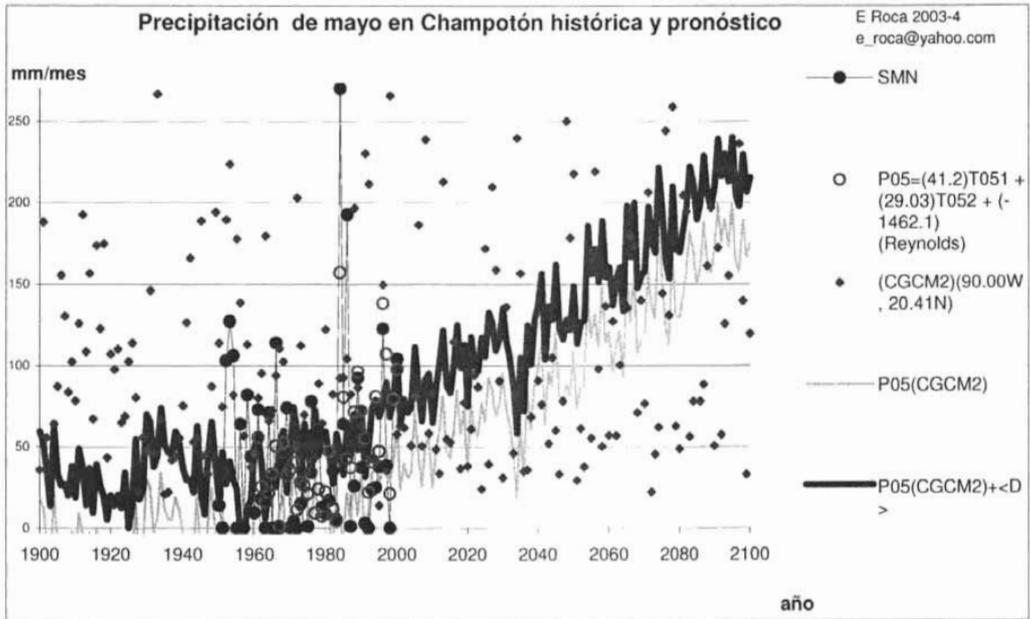


Fig. 3.3-13. Precipitación total mensual de Mayo (registro histórico y pronósticos).

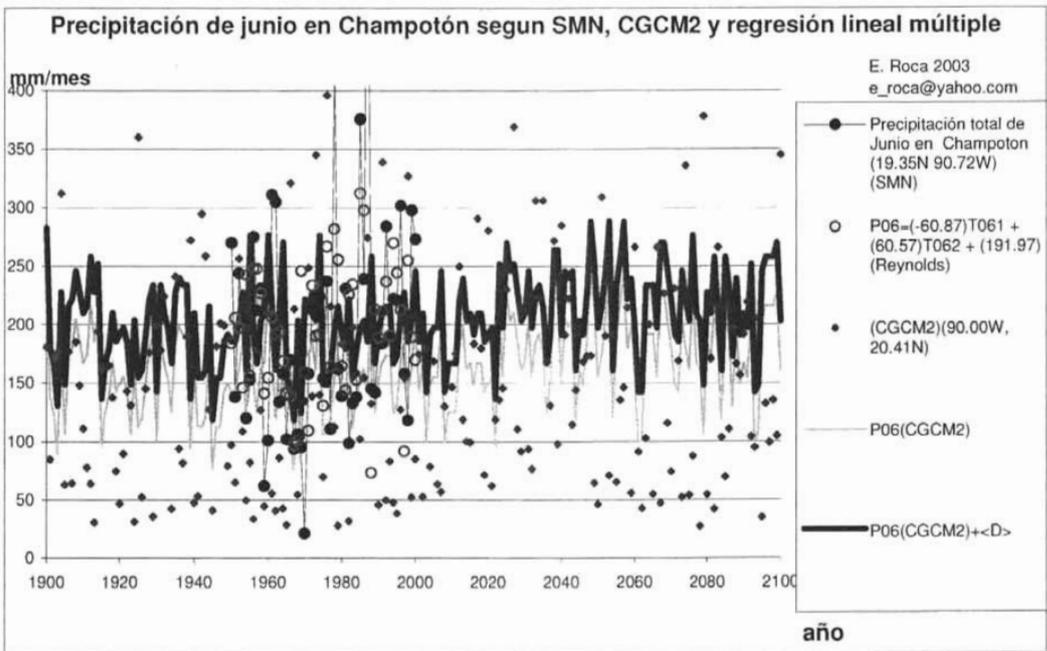


Fig. 3.3-14. Precipitación total mensual de Junio en Champotón (registro histórico y pronósticos).

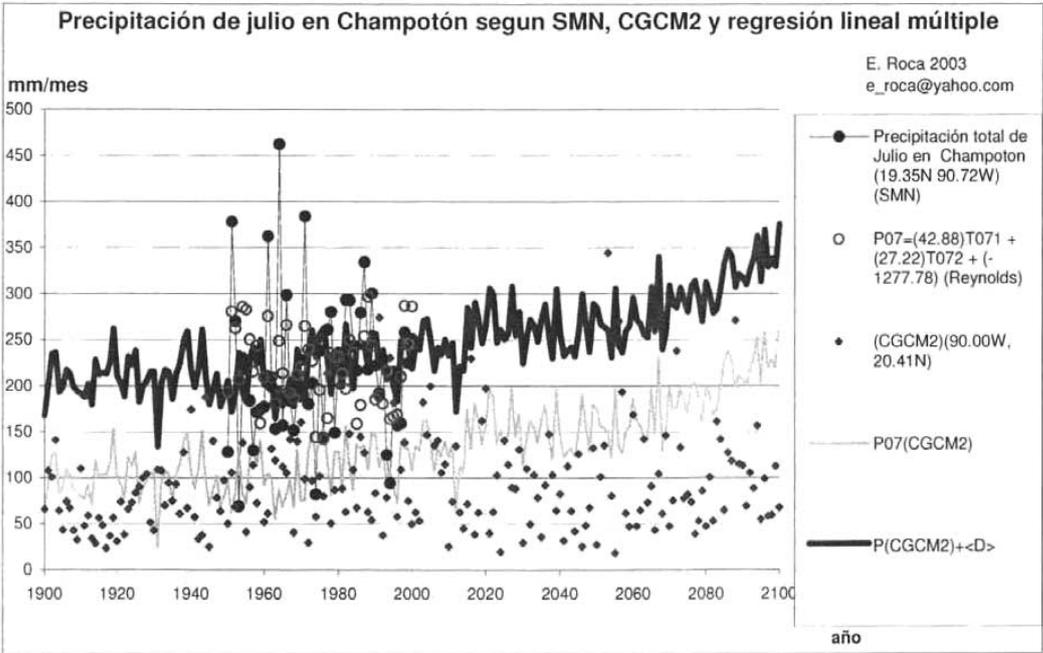


Fig. 3.3-15. Precipitación total mensual de Julio en Champotón (registro histórico y pronósticos).

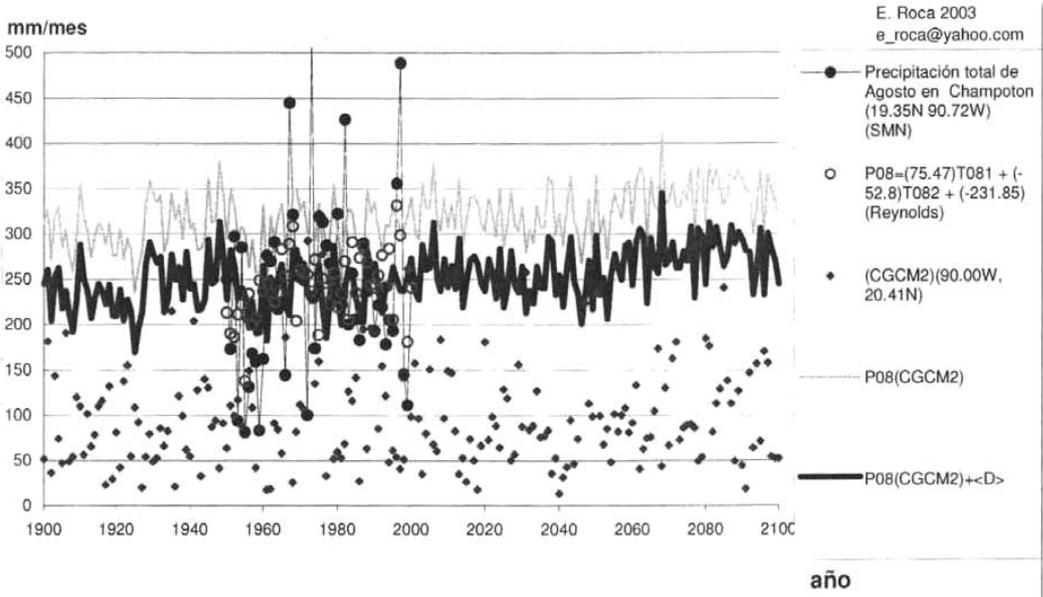


Fig. 3.3-16. Precipitación total mensual de Agosto en Champotón (registro histórico y pronósticos).

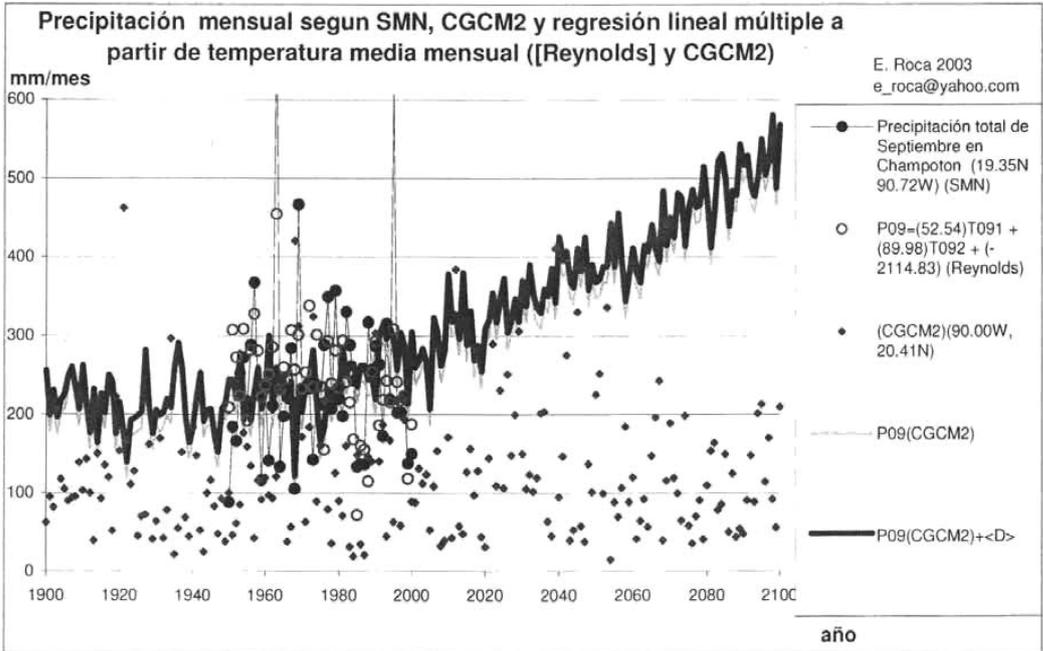


Fig. 3.3-17. Precipitación total mensual de Septiembre en Champotón (registro histórico y pronósticos).

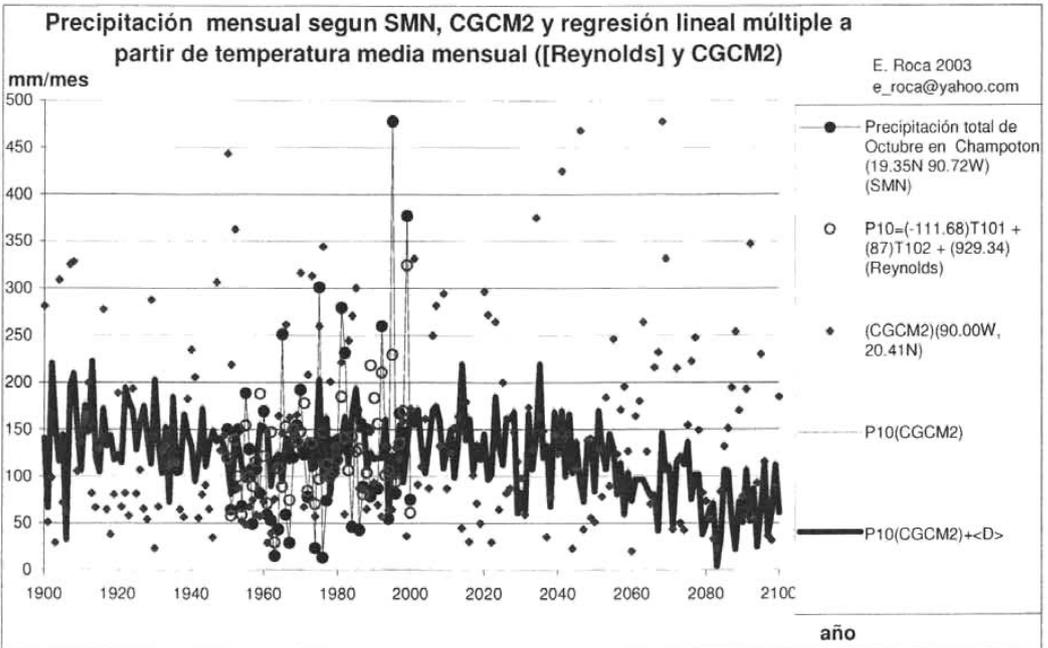


Fig. 3.3-18. Precipitación total mensual de Octubre en Champotón (registro histórico y pronósticos).

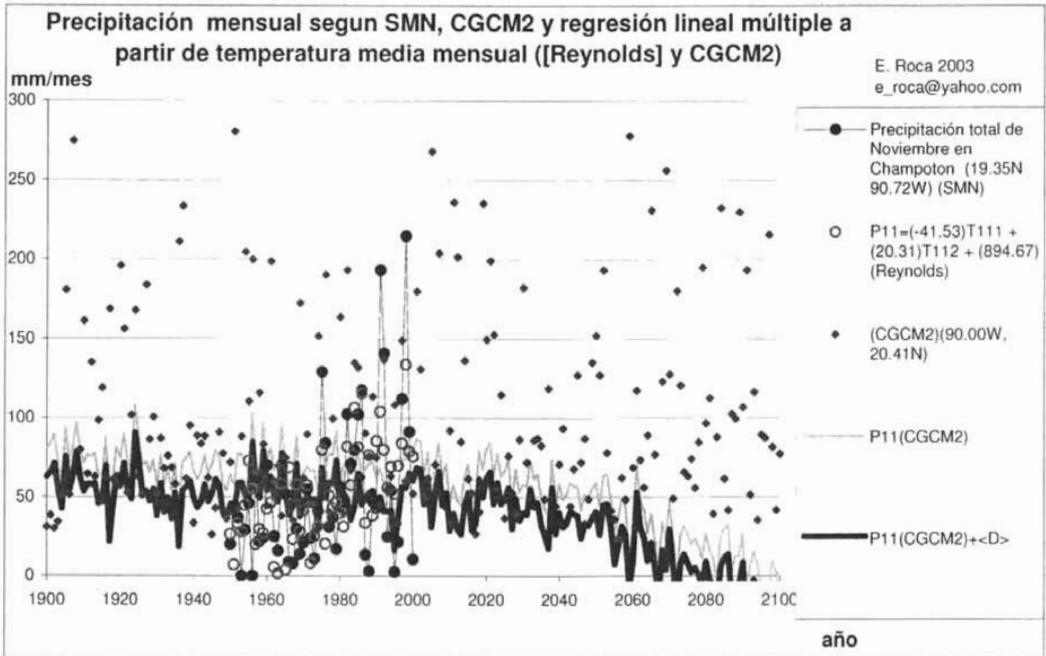


Fig. 3.3-19. Precipitación total mensual de Noviembre en Champotón (registro histórico y pronósticos).

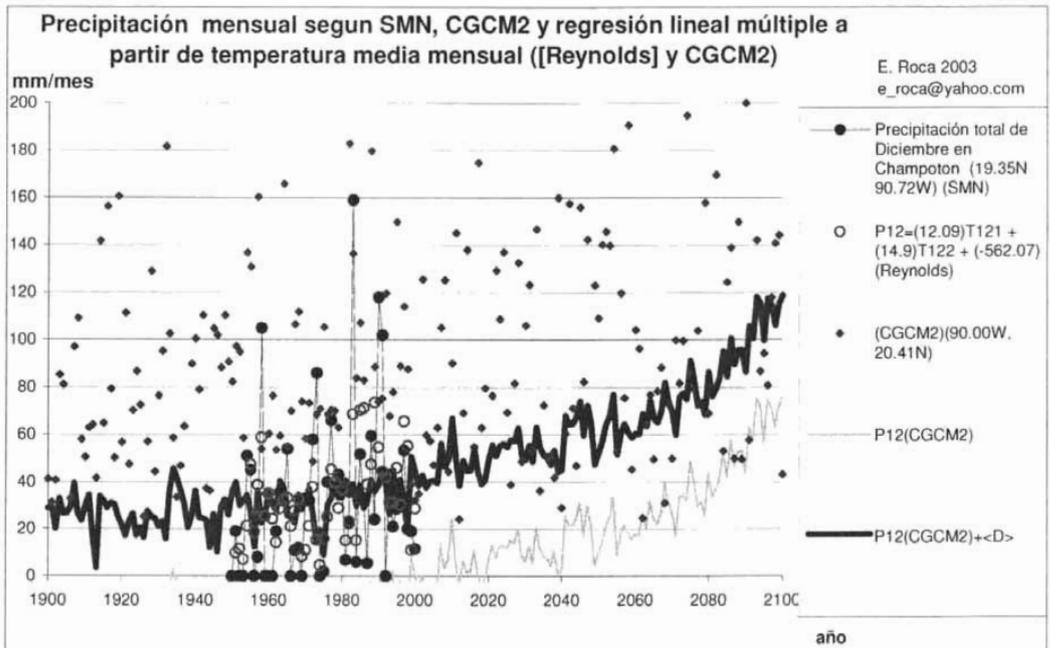


Fig. 3.3-20. Precipitación total mensual de Diciembre en Champotón (registro histórico y pronósticos).

3.3.2. ESCENARIO 2XCO₂

3.3.2.1. TEMPERATURA MEDIA ANUAL DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

Elaboramos el mapa de isotermas de la anomalía climática de temperatura ΔT_M (Fig. 3.3-21).

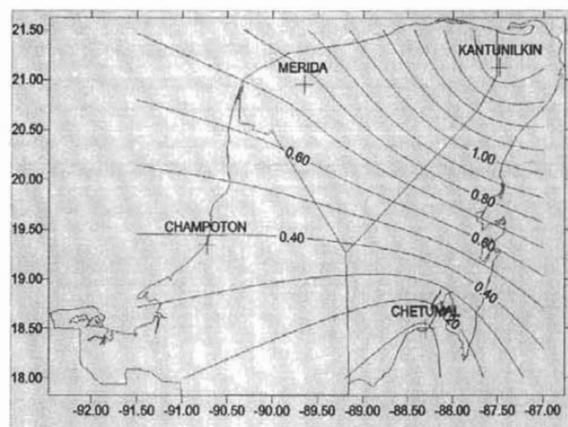


Fig. 3.3-21. Anomalía climática de la temperatura media anual.

3.3.2.2. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

Elaboramos el mapa de isoyetas de la anomalía climática de precipitación C_{pM} (Fig. 3.3-22). La correlación entre las anomalías de temperatura y precipitación es de 0.98.

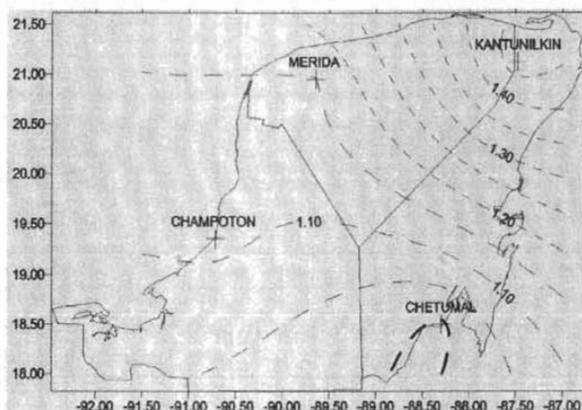


Fig. 3.3-22. Anomalía climática de la precipitación total anual.

3.3.2.3. PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL EN CHAMPOTÓN

Obtenemos de las simulaciones los pronósticos para las precipitaciones totales mensuales para el 2023 y calculamos la medias históricas (Fig. 3.3-23).

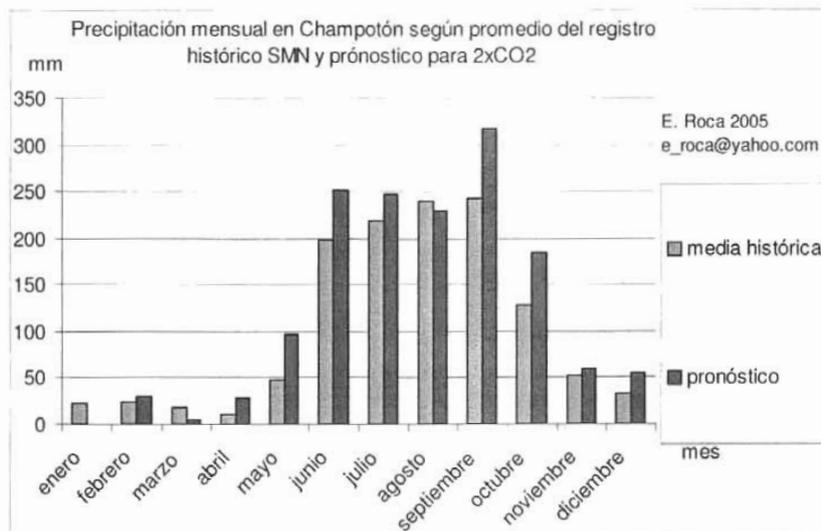


Fig. 3.3-23. Precipitación total mensual en Champotón (media histórica, pronóstico 2xCO₂).

4. DISCUSIÓN

4.1. MAPAS DE ISOCORELACIÓN

4.1.1. Temperatura media mensual

La temperatura media mensual en Progreso tiene correlación significativa, en un periodo extenso de tiempo, con la SST de 2 regiones: desde diciembre hasta abril con la costa de Florida y de abril a agosto con el Pacífico al sur de Oaxaca, determinado esto por los fenómenos norte y monzón mexicano. Para la temperatura media mensual en Champotón, se encontró, alta correlación de octubre hasta abril con el Golfo de México y de mayo hasta agosto con el Pacífico en ZITC (Zona Intertropical de Convergencia) y en el Oeste de Baja California. También se encontró correlación de la temperatura media mensual en Champotón y Progreso con el Atlántico en trópico de cáncer, norte de Brasil, costa este de E.U.A. y Hawaii. Lo que determina regiones de influencia de acuerdo a la proximidad geográfica: región cercana: 130 - 75° E, 30 - 10° N, región media: 140 - 30° E, 30° N - 20° S y región lejana: 160 - 25° E, 50° N - 40° S.

4.1.2. Temperatura media anual

Considerando en conjunto la posición geográfica de los predictores para la temperatura media anual en Champotón, Mérida, Kantunilkin y Chetumal encontramos que la temperatura media anual en la Península de Yucatán tiene una dominante correlación con SST en el Golfo de México y poca con el Caribe (Fig. 4-1).

4.1.3. Precipitación total anual

La principal correlación se da con el Atlántico norte, teniendo también con Bahamas, ZITC y el Pacífico norte (Fig. 4-2).

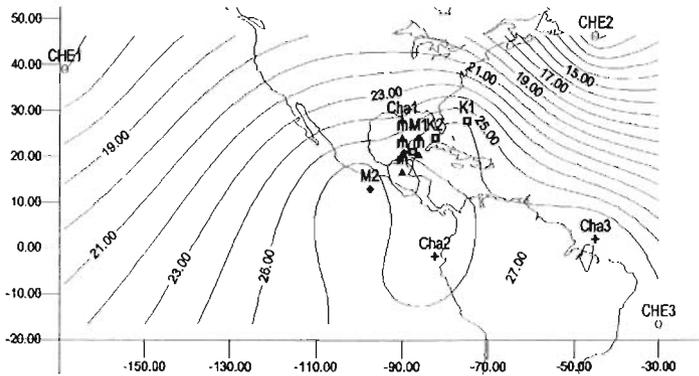
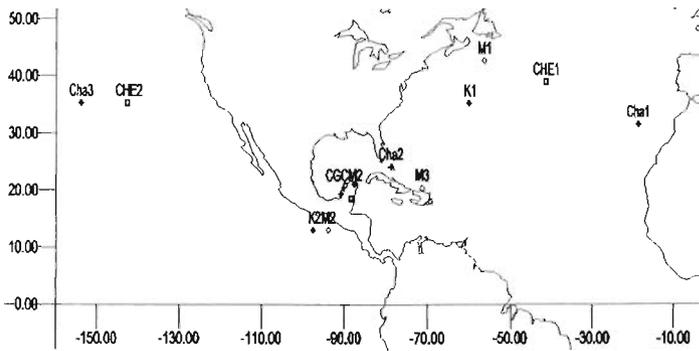


Fig. 4-1. Ubicación geográfica de los predictores para la temperatura media anual en Champotón, Mérida, Kantunilkin y Chctumal y mapa de isotermas de los mismos (CGCm2) para la condición 2xCO₂ (año 2023).



E. Roca 2003 e_roca@yahoo.com

Fig. 4-2. Ubicación geográfica de los predictores para la precipitación total anual en Champotón, Mérida, Kantunilkin y Chctumal.

4.1.4. Precipitación total mensual

La precipitación total mensual en Champotón tiene alta correlación con SST en dos regiones: principalmente con el Pacífico norte-tropical y además con el Atlántico norte.

Comparando las regiones de mayor correlación con los patrones de viento y corrientes marinas, encontramos que en muchos casos estas coinciden con las corrientes y vientos afluentes a la Península de Yucatán.

4.2. REGRESIONES

En general son muy altas las incertidumbres en las ecuaciones de regresión.

Los resultados de las regresiones no tienen el mismo tipo de distribución que el de los datos históricos (SMN), como ejemplo veamos la precipitación mensual de diciembre en Champotón (Fig. 4-3) en donde la regresión lineal nos produce valores con distribución tipo normal a pesar de que los datos iniciales tienen evidentemente distribución tipo Poisson.

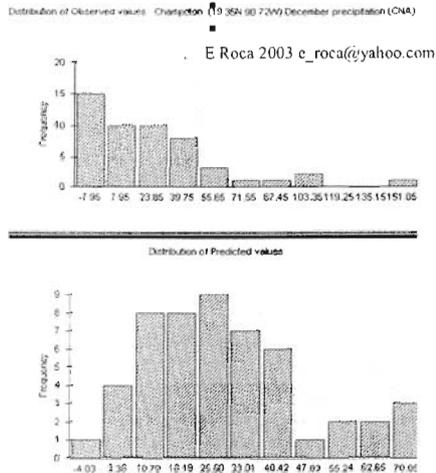


Fig. 4-3. Datos estadísticos de la regresión lineal para la precipitación total mensual de diciembre en Champotón.

4.3. ESCENARIOS

4.3.1. SERIES ANUALES

4.3.1.1. Temperatura media anual

Para Champotón encontramos que a pesar de que la regresión T_{ac} (Golfo & Niño & Amazon) tiene un comportamiento más semejante al modelo CGCM2, más alta correlación con el registro histórico y mayor cantidad de predictores que la regresión T_{ad} (Golfo & Niño), esta última se “acerca” más a los datos históricos (Fig. 3.1.1-4). Así tomamos por escenario la serie ajustada de T_{ad} , que presenta un aumento de 1.5 °C dado de 1990 al 2100 en contraste con los 3.5 °C dado por T_{ac} en el mismo intervalo de tiempo. La simulación T_{ad} tiene un comportamiento creciente (menor que SST predictor y el pronóstico de CGCM2 para la estación), presentándose así una diferencia cualitativa importante con los datos históricos, dado que estos tienen un comportamiento decreciente.

Para Mérida, el escenario tiene un comportamiento creciente muy semejante al pronóstico de CGCM2 y análogo al registro histórico.

En Kantunilkin la tendencia histórica es decreciente, lo cual no está de acuerdo con el comportamiento creciente del escenario, que es semejante al pronóstico del CGCM2.

Para Chetumal el escenario muestra una ligera tendencia creciente, sin embargo, el registro histórico y el modelo CGCM2 tienen comportamiento creciente marcadamente mayor. Este es el escenario con menor incremento, apenas de 1 °C en 200 años con variaciones de alrededor de 0.75 °C, como nuestros datos históricos se encuentran dispersos entre los valores 24 °C y 28 °C, se pronostica un cambio nulo en la temperatura (Fig. 4-4).

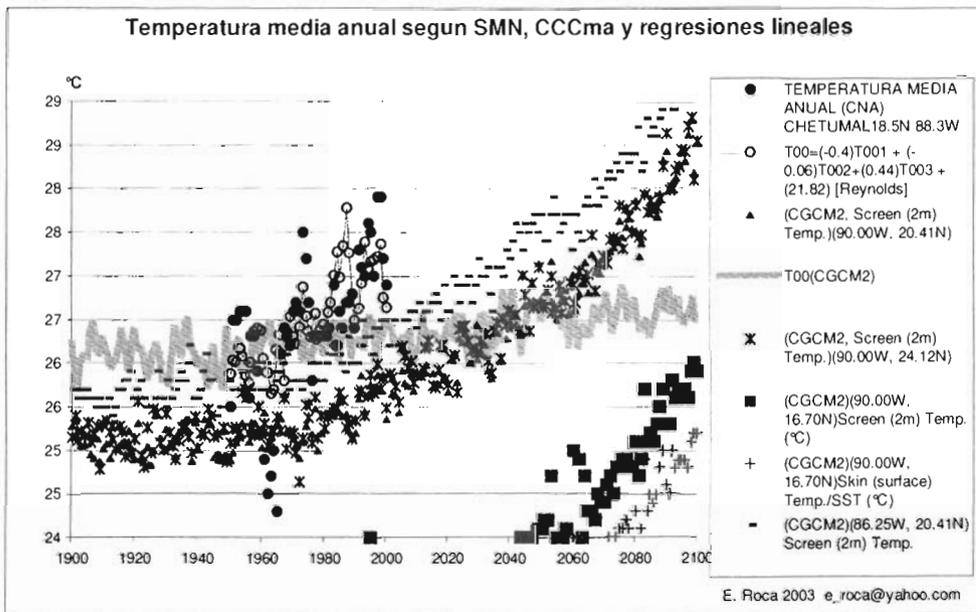


Fig. 4-4. Temperatura anual promedio en Chetumal, histórica, pronóstico y puntos de rejilla del modelo CGCM2 cercanos.

4.3.1.2. Precipitación total anual

Todos los escenarios muestran la tendencia histórica: positiva en Champotón, Mérida y Kantunilkin y constante en Chetumal, a diferencia del comportamiento caótico, para todos los casos, en el pronóstico del modelo CGCM2.

4.3.1.3. Precipitación total mensual

Los escenarios para las precipitaciones totales mensuales en Champotón, muestran variación del régimen de lluvias con el tiempo (Tabla 4-1).

Tabla 4-1. Cambios en el régimen de lluvias en Champotón.

mes	Tendencia según registros históricos (SMN)	Tendencia según pronóstico
Enero	Se espera hasta 70 mm/mes, extraordinariamente hasta 120 mm/mes y años secos casuales	Disminución de 0.6 mm/año hasta que en el 2030 cesa
Febrero	Se espera hasta 60 mm/mes, extraordinariamente hasta 180 mm/mes y años secos frecuentes	Aumento constante de 0.2mm/año
Marzo	Se espera hasta 50 mm/mes con años secos eventuales, extraordinariamente hasta 150 mm/mes	Disminución de 0.4 mm/año desapareciendo en el 2040
Abril	Hasta 40 mm/mes con años secos frecuentemente	Aumento de 0.3 mm/año
Mayo	Hasta 100 mm/mes con años secos frecuentes y extraordinariamente hasta 250 mm/mes	Aumento de 1 mm/año
Junio	De 100 a 350 mm/mes sin años secos y extraordinariamente hasta 600 mm/mes	No se presenta cambio en la tendencia
Julio	De 100 a 400 mm/mes sin años secos	Aumento de 0.6 mm/año
Agosto	De 100 a 450 mm/mes sin años secos	No se presenta cambio en la tendencia
Septiembre	De 100 a 350 mm/mes sin años secos y extraordinariamente hasta 700 mm/mes	Aumento de 1.6 mm/año
Octubre	De 30 a 300 mm/mes sin años secos y extraordinariamente hasta 450 mm/mes	Disminución de 0.2 mm/año
Noviembre	Hasta 150 mm/mes con años secos ocasionales	Disminución de 0.2 mm/año desapareciendo en el 2090
Diciembre	Hasta 40 mm/mes con años secos frecuentes	Aumento de 0.4 mm/año

E. Roca 2003 e_roca@yahoo.com

La precipitación anual para Champotón dada por la suma de las series de los escenarios para las precipitaciones mensuales, concuerda tanto con los registros (SMN), como con la simulación para la precipitación total anual (Fig. 4-5).

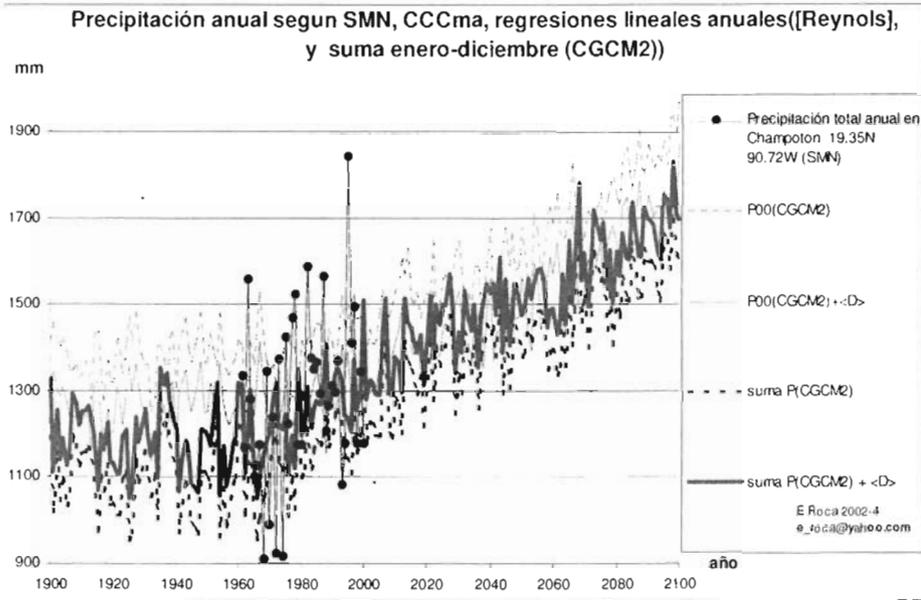


Fig. 4-5. Precipitación total anual, registro histórico, escenario, regresiones lineales anuales (Reynolds, CGCM2) y suma (enero-diciembre) de escenarios mensuales.

4.3.2. ESCENARIO 2xCO₂

4.3.2.1. Temperatura media anual

La anomalía climática de temperatura media anual en la Península de Yucatán ΔT_M es de menor magnitud y coincide cualitativamente con lo reportado por Magaña (2002) para verano con el modelo CCC, GFDL-R30 y NCAR, y para invierno con GFDL-R30.

4.3.2.2. Precipitación total anual

La anomalía climática de precipitación C_{pM} está anticorrelacionada con lo reportado por Magaña (2002) para invierno con el modelo GFDL-R30.

Existe una relación lineal de 0.98 entre la anomalía de temperatura media anual y la de precipitación total anual.

4.3.2.3. Precipitación total mensual

Nuestro pronóstico indica un incremento global de las precipitaciones totales mensuales, principalmente en Septiembre y Junio. Se presenta la aparición de canícula en Agosto, análogo al pronóstico del modelo GFDL reportado por Orellana (2002), para el que ocurre en Julio (Fig. 4-7).

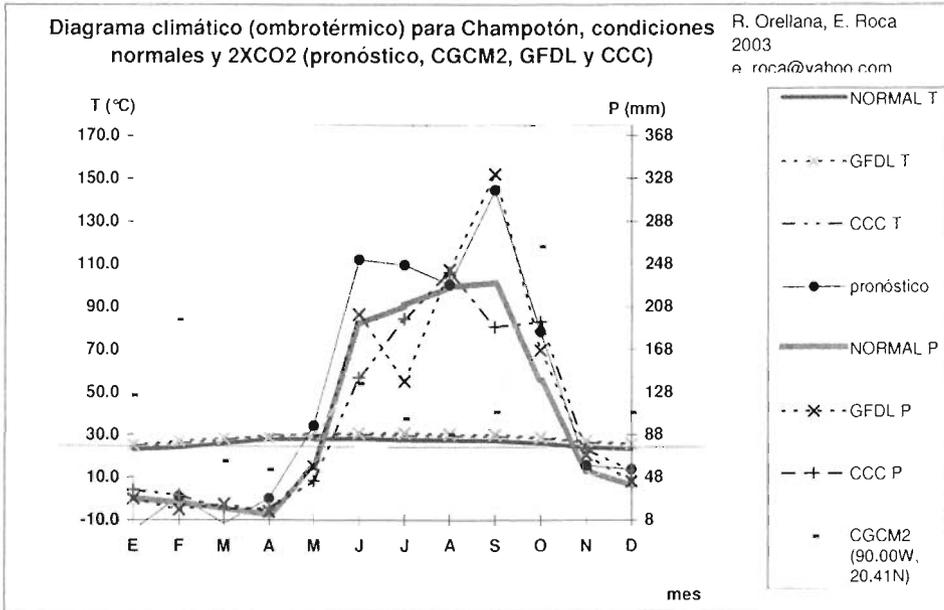


Fig. 4-7. Diagrama climático (ombrotérmico) para Champotón, condiciones normales y 2XCO₂ (pronóstico, CGCM2, GFDL y CCC).

5. CONCLUSIÓN

Las regiones de mayor correlación para SST con la temperatura y precipitación (anual y mensual) en la Península de Yucatán son las zonas norte y ecuatorial del Pacífico y del Atlántico (incluido el Golfo de México). Suponemos que la correlación se da por la influencia de vientos y corrientes marinas que provienen de dichas regiones.

Al estudiar la temperatura media anual en Champotón se encontró que la regresión que mejor aproxima los datos históricos es la que tiene menor incertidumbre de la coordenada al origen (T_{ad}) y no la de mayor correlación (T_{ac}).

Con el tiempo aumentarán la temperatura media anual y la precipitación total anual en la Península de Yucatán, excepto en Chetumal (Fig. 5-2). Los pronósticos de temperatura están altamente correlacionados con los correspondientes pronósticos de precipitación.

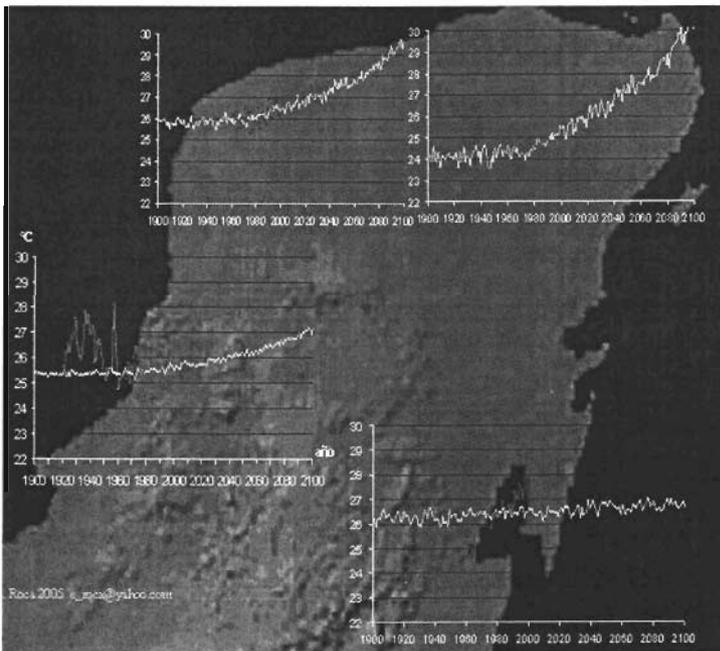


Fig. 5-2. Temperatura media anual en Champotón, Mérida, Kantunilkin y Chetumal, histórica y simulación.

El régimen de lluvias en Champotón cambiará con el tiempo. El aumento mayor será mayor en Kantunilkin que en Mérida y Champotón, en Chetumal será nulo.

Se tienen más altas incertidumbres para precipitación que para temperatura; sin embargo, las tendencias centrales son significativas. Los pronósticos de precipitación son significativamente menos caóticos que los dados por modelos de circulación general.

La anomalía climática de precipitación total anual C_{PM} es más significativa que la de temperatura media anual ΔT_M , teniendo estas una alta correlación lineal y difiriendo cualitativamente con escenarios reportados, excepto con el obtenido por Magaña (2000) a partir del modelo GFDL.

El escenario de precipitaciones totales mensuales en Champotón para $2xCO_2$ muestra un incremento global de las mismas (principalmente en Septiembre y Junio) y la aparición de sequía en invierno (Octubre, Noviembre, Enero y Marzo). Se presenta la aparición de canícula en Agosto, análogo al pronóstico del modelo GFDL reportado por Orellana (2002).

El método aplicado es consistente entre escalas temporales.

Con el aumento de temperatura y precipitación y el cambio del régimen de lluvias, que se espera sea el fenómeno más dramático, se verán afectadas naturaleza (clima y ecosistemas nativos) y sociedad (urbanismo y economía: agricultura, pesquería, industria,...).

PERSPECTIVAS FUTURAS

Para abatir incertidumbres podemos establecer como predictores el promedio de SST en la región de alta correlación y no valores puntuales (punto de rejilla). Es importante aplicar métodos que disminuyan las incertidumbres y reproduzcan la distribución de la variable local en los pronósticos.

Para completar la cobertura propuesta en el presente trabajo, hay que construir el escenario de temperaturas medias mensuales en Champotón, completando así el diagrama ombrotérmico. Hacer los escenarios de temperatura media mensual y precipitación total mensual para las demás localidades (Mérida, Kantunilkin y Chetumal). Se pueden realizar escenarios análogos con datos de modelos del Hadley Center (HadCM2, 1998) u otros centros.

Se puede realizar un estudio con mayor resolución geográfica agregando Progreso, Palizada, Cancún, Campeche, Zoh-Laguna y Tekax. Se puede comparar la influencia de diferentes variables físicas agregando otras variables de gran escala. Son fundamentales la temperatura y presión atmosférica, además, sabemos que las corrientes oceánicas juegan un importante papel en el clima continental, por lo que sería conveniente usar la temperatura submarina.

Es interesante analizar correlaciones con desfases temporales. El transporte de energía en las corrientes marinas que llegan a México (Atlántica y Pacífica meridional) (Stommel, 1979), afecta con "retardo" de tiempo en el continente. La altura geopotencial (potenciales de velocidad) a 30mb oscila quasi-bianualmente (Gray, 1984).

AGRADECIMIENTOS

A mi padre (Carlos Fernando Roca Alfaro) por su determinada integridad e infinito amor. " Y él me enseñaba, y decía: Retenga tu corazón mis razones, guarda mis mandamientos, y vivirás" Pr 4:4.

Oscar Sánchez por las correcciones, enseñarme SURFER y facilitarme los mapas base. C. Gay por su dirección. Víctor Orlando Magaña por su apoyo incluyendo 2 meses de beca. Roger Orellana por los datos proporcionados de la Península de Yucatán, tanto los registros históricos como los de doblamiento de carbono. Cecilia Conde, Matías Méndez y Jorge Luis Vázquez, por el compañerismo solidario.

Este trabajo fue financiado por el PROgrama de BEcas para las TESIS de Licenciatura (PROBETEL, 8/01-11/02), UNAM.

REFERENCIAS¹

- CCCma, 2002. Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis.** <http://www.cccma.bc.ec.gc.ca>
- Centre Second-Generation General Circulation Model and Its Equilibrium Climate. *J. of Climate*, 5, 1013-1044.
- Conde C, Sánchez O, Gay C, 1994. Escenarios básicos y regionales - Estudio de país: México. Memorias del primer taller de estudio de país: México, p. 39-43. INE\SEMARNAP, USCSP, CCA\UNAM.
- Conde C, Sánchez O, Magaña V, Gay C, 1995. Escenarios climáticos básicos y regionales. Memorias del segundo taller de estudio de país: México, p. 101-111. INE\SEMARNAP, USCSP, CCA\UNAM.
- Day R, 1988. How to write & publish a scientific paper. Oryx press.
- Douglas A, 1996. Mexican temperature, precipitation and drought data base documentation. National Climate Data Center, Asheville, NC.
- García E, 1986. Apuntes de Climatología.**
- Gay C, 2000. "México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México".** INE\SEMARNAP, USCSP, CCA\UNAM, PUMA\UNAM.
- Gay C, Conde C, Pérez J L, 2001. Escenarios Climáticos Regionales para Estudios de Cambio y Variabilidad Climáticas en México. comunicación privada.
- Gray, W M, 1984. Atlantic Seasonal Hurricane Frequency. Part I: El Niño and 30 mb Quasi-Biennial Oscillation Influences. *Mon. Wea. Rev.*, 12, pp. 1649-1667.
- HadCM2, 1998. IPCC Data Distribution Centre HadCM2 Results http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/cru_data/datadownload/HadCM2/HadCM2_download.html. Details of HadCM2 http://www.cru.uea.ac.uk/link/experiments/1b_experi_contents.html
- IPCC, 2001. Third Assessment Report - Climate Change 2001: The Scientific Basis, Summary for Policymakers.
- Magaña V O, 1999. Los impactos de El Niño en México, IAI/SEP-CONACYT/SG-DGPC/UNAM-CCA,.
- Magaña V, 1994. An strategy to determine regional climate change. Memorias del primer taller de estudio de país: México, p. 45-53. INE\SEMARNAP, USCSP, CCA\UNAM.
- Magaña V, 1995. Escenarios Físicos del cambio climático. Memorias del segundo taller de estudio de país: México, p. 93-99. INE\SEMARNAP, USCSP, CCA\UNAM.
- Magaña V, 1999. Los impactos de El Niño en México, IAI/SEP-CONACYT/SG-DGPC/UNAM-CCA.

¹ Las referencias en negritas son las principales.

- Magaña V, Conde C, Sánchez O, Gay C, 1997. Assesment of current and future regional climate scenarios for Mexico. *Clim Res*, vol. 9, p. 107-114.
- Magaña V, Conde C, Sánchez O, Gay C, 2000. Evaluación de escenarios regionales de clima actual y de cambio climático futuro para México. "México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México", p. 1-24. INESEMARNAP, USCSP, CCA\UNAM, PUMA\UNAM. Versión ampliada de (Magaña, 1997).
- McFarlane N A, Boer G J, Blanchet J P, and Lazare M (1992): *The Canadian Climate*
- Morales R, Magaña V, Millan C, Pérez J L, 2002. Efectos del calentamiento global en la disponibilidad de los recursos hidráulicos de México. Proyecto HC-0112, IMTA-CNA, comisión de tecnología hidráulica, subcoordinación de hidráulica ambiental.
- Orellana R, 1999. Atlas de procesos territoriales de Yucatán. Evaluación climática. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida.**
- Orellana R, 2002. Diagramas ombrotérmicos, comunicación privada.
- Parker R E, 1981. Cuadernos de Biología.
- Pérez J L, 1997. Cambio Climático Regional en México, tesis de física, Facultad de Ciencias UNAM.
- Reynolds D (Richard.W.Reynolds@noaa.gov), Stokes D (Diane.Stokes@noaa.gov), and Smith, 2002. Global Sea Surface Temperature (SST) analyses and climatologies <ftp://ncardata.ucar.edu/datasets/ds277.0/data/>
- Schneider S H, 1990. The Changing Climate. *Managing Planet Earth: Readings from Scientific American magazine.*
- Stommel H, 1979. Oceanic Warming of Western Europe. *Proc. Nat. Acad. Sci., USA*, 76, pp. 2518-2521.
- Tokio conference, 1989. Background paper. United Nations Environment Programme, World Resources Institute.
- Wilks D S, 1995. *Statistical methods in the atmopheric science*, Academic Pres, pp. 200-202, 357.

APÉNDICE A. MAPAS DE ISOCORRELACIÓN

1. TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DE 1950 A 1999

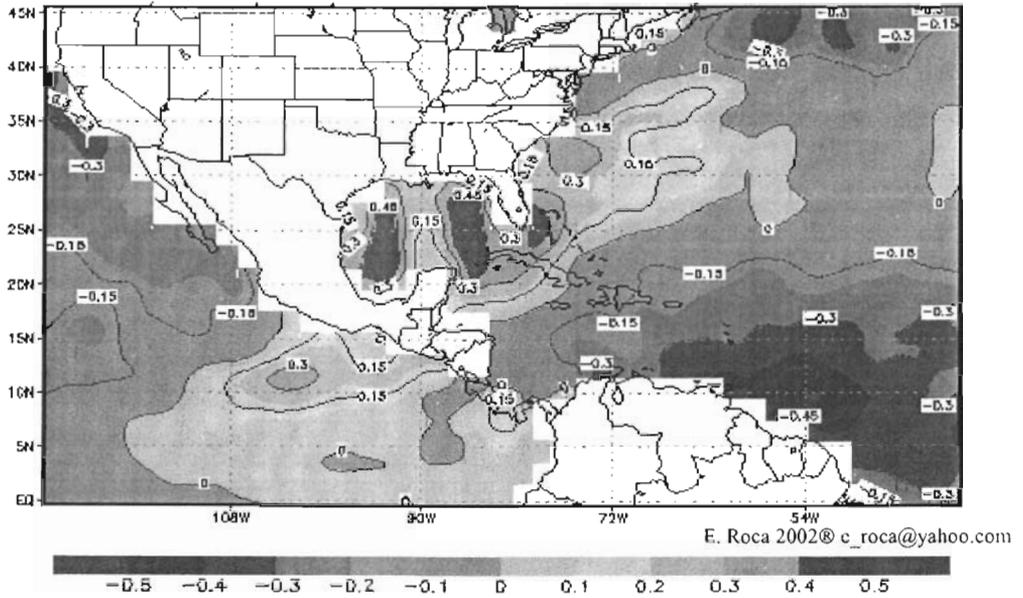


Fig. 1.1.2-1. Isocorrelación SST - temperatura en Progreso, medias mensuales de enero.

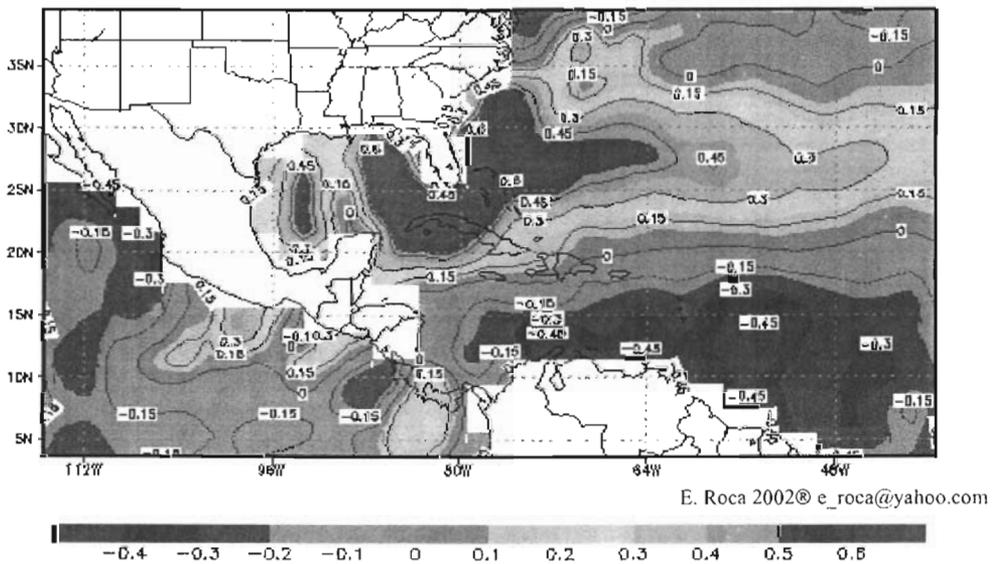
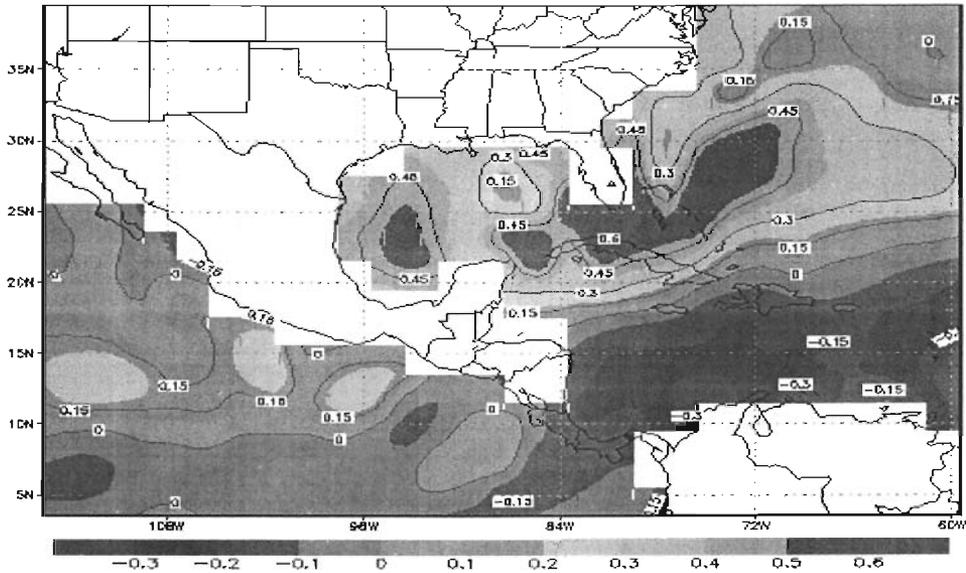
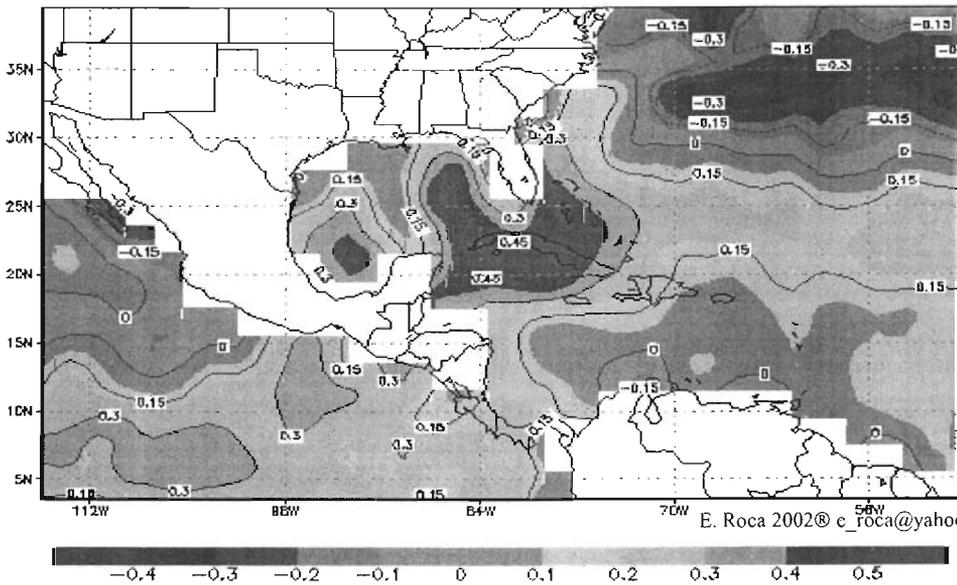


Fig. 1.1.2-2. Isocorrelación SST - temperatura en Progreso, medias mensuales de febrero.



E. Roca 2002© e roca@yahoo.com

Fig. 1.1.2-3. Isocorrelación SST - temperatura en Progreso, medias mensuales de marzo.



E. Roca 2002© e_roca@yahoo.com

Fig. 1.1.2-4. Isocorrelación SST - temperatura en Progreso, medias mensuales de abril.

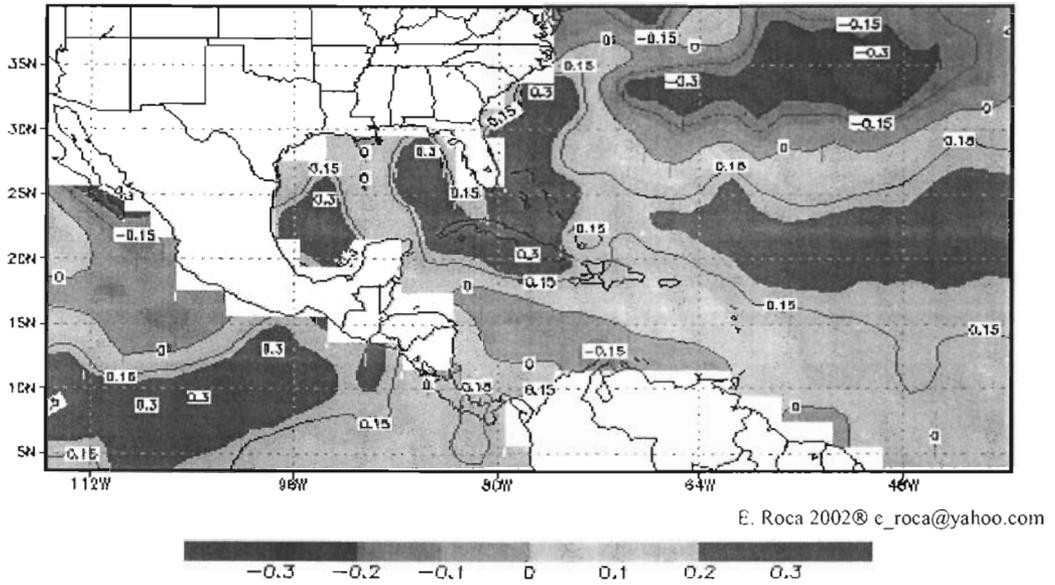


Fig. 1.1.2-5. Isocorrelación SST - temperatura en Progreso, medias mensuales de mayo.

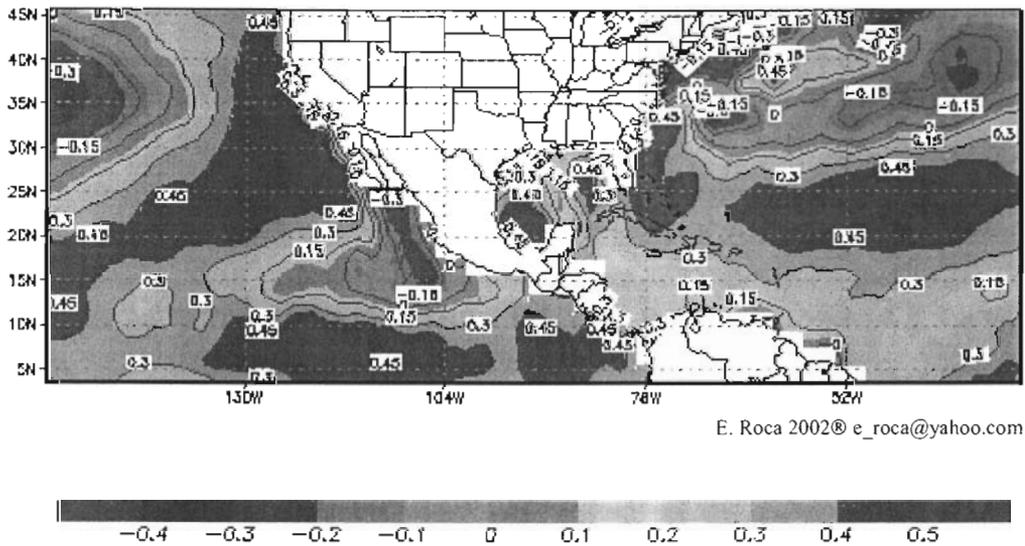
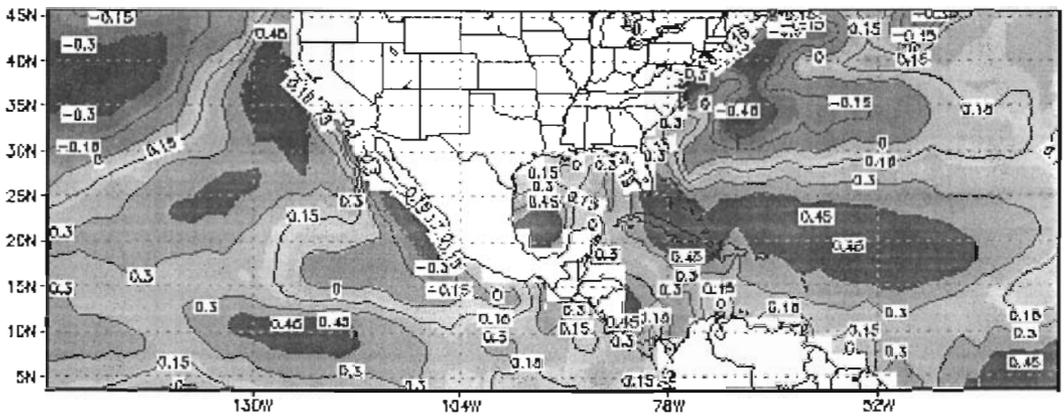


Fig. 1.1.2-6. Isocorrelación SST - temperatura en Progreso, medias mensuales de junio.



E. Roca 2002@ c_roca@yahoo.com

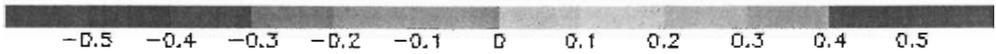
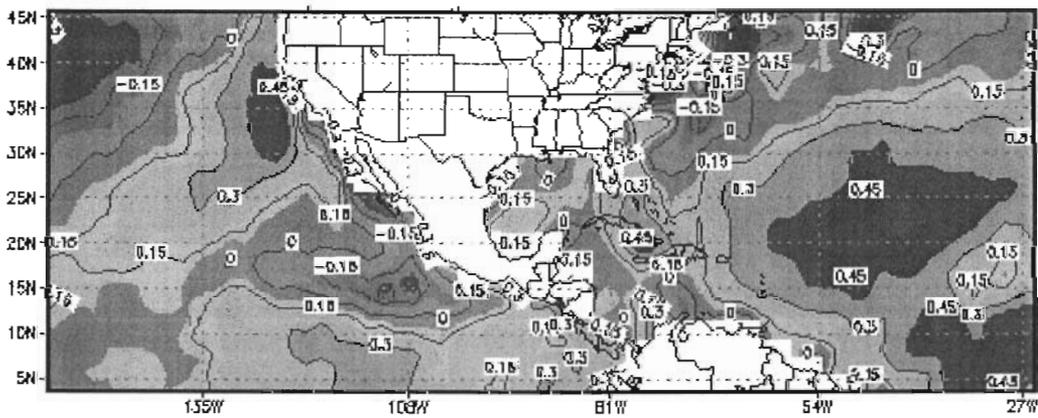


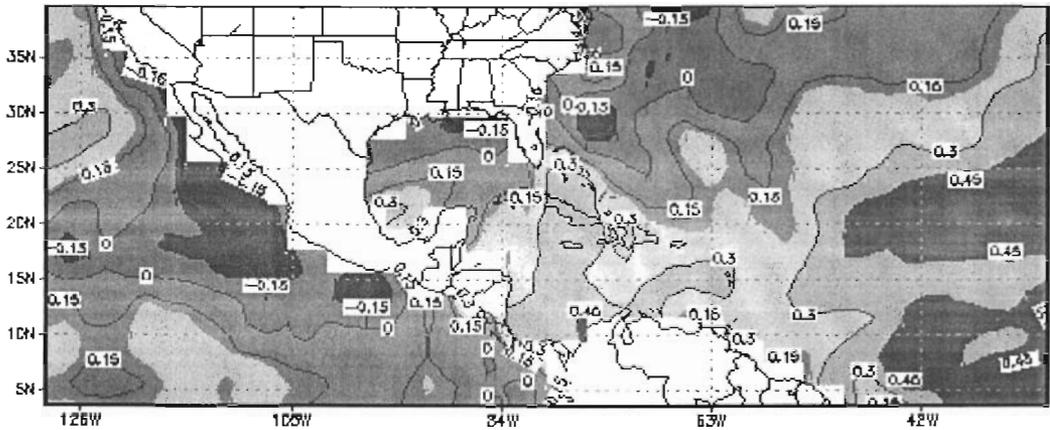
Fig. 1.1.2-7. Isocorrelación SST - temperatura en Progreso, medias mensuales de julio.



E. Roca 2002@ c_roca@yahoo.com

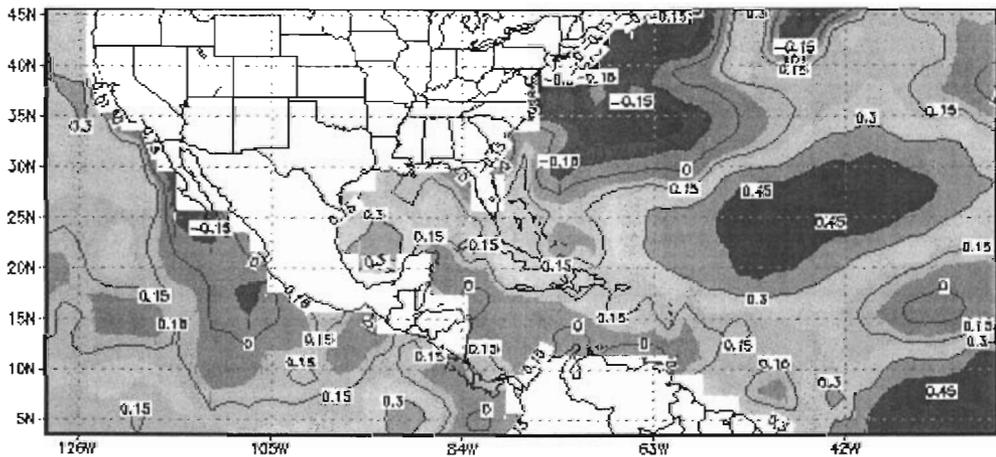


Fig. 1.1.2-8. Isocorrelación SST - temperatura en Progreso, medias mensuales de agosto.



E. Roca 2002@ e_roca@yahoo.com

Fig. 1.1.2-9. Isocorrelación SST - temperatura en Progresso, medias mensuales de septiembre.



E. Roca 2002@ e_roca@yahoo.com

Fig. 1.1.2-10. Isocorrelación SST- temperatura en Progresso, medias mensuales de octubre.

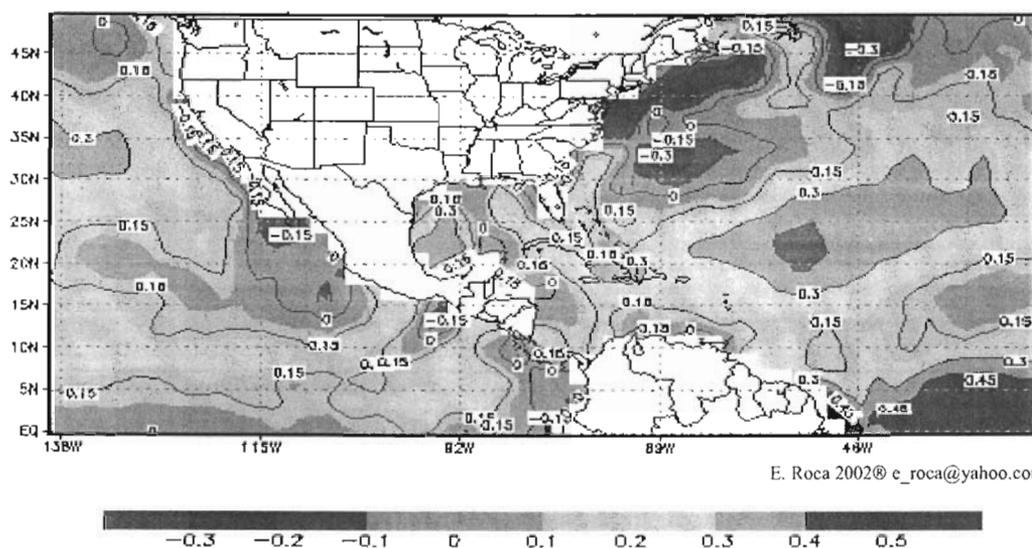


Fig. 1.1.2-11. Isocorrelación SST- temperatura en Progreso, medias mensuales de noviembre.

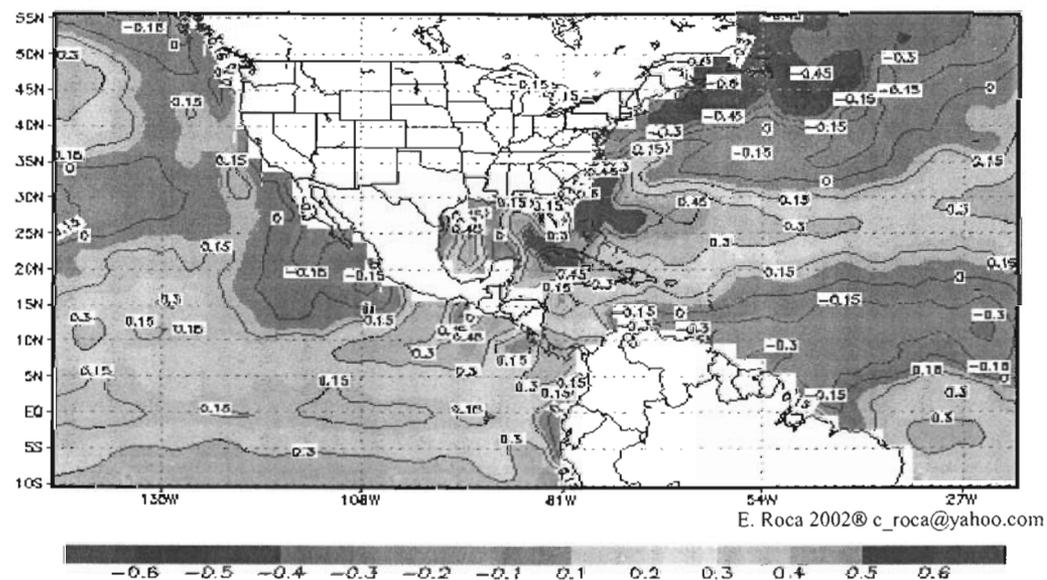
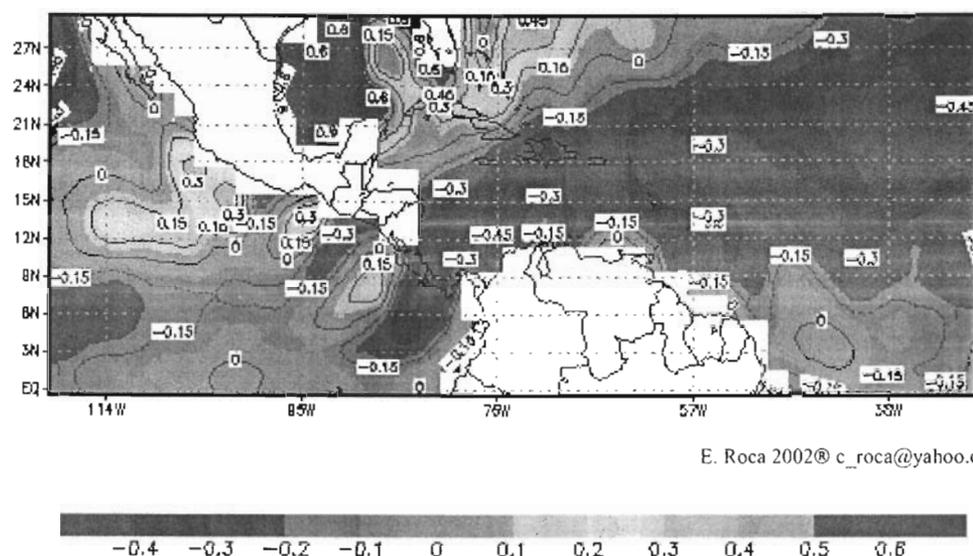


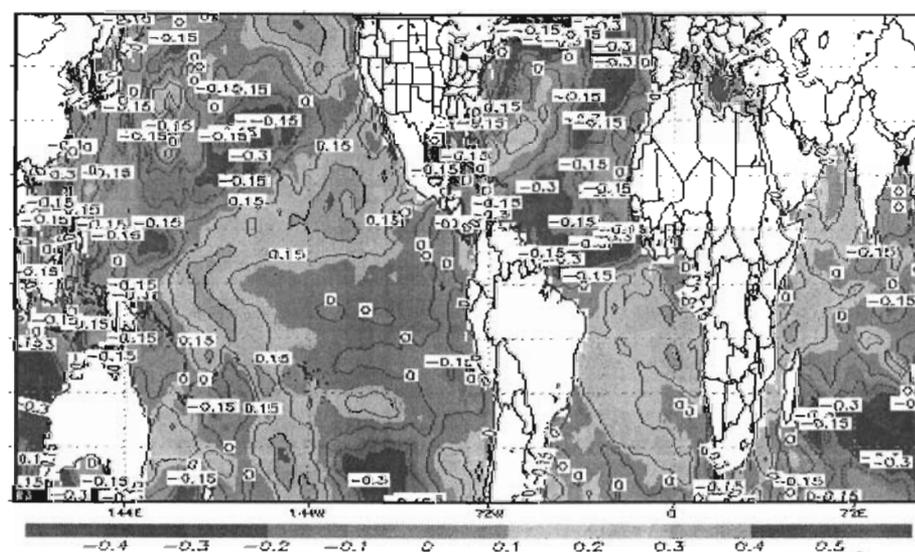
Fig. 1.1.2-12. Isocorrelación SST- temperatura en Progreso, medias mensuales de diciembre.



E. Roca 2002© c_roca@yahoo.com

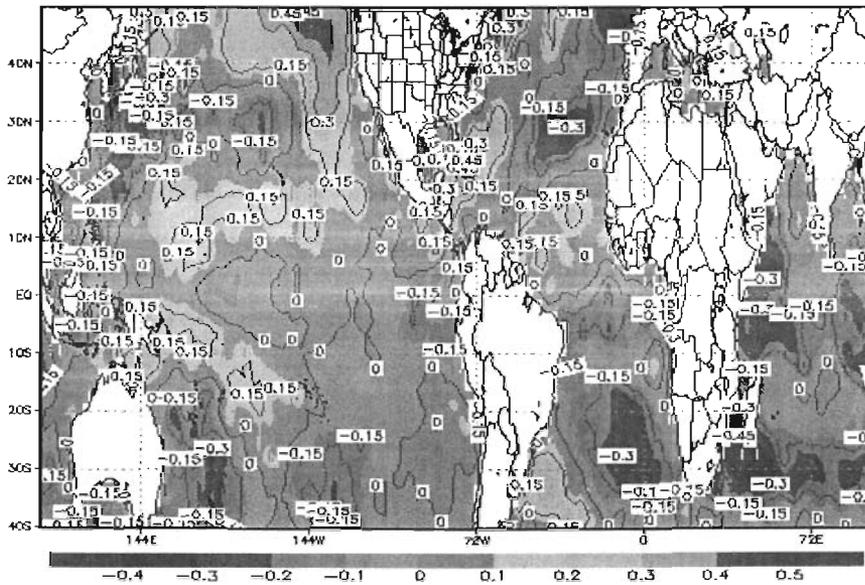
Fig. 1.1.2-13. Isocorrelación SST - temperatura en Champotón, medias mensuales de marzo.

2. PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL DE 1961 AL 2000 EN CHAMBOTÓN



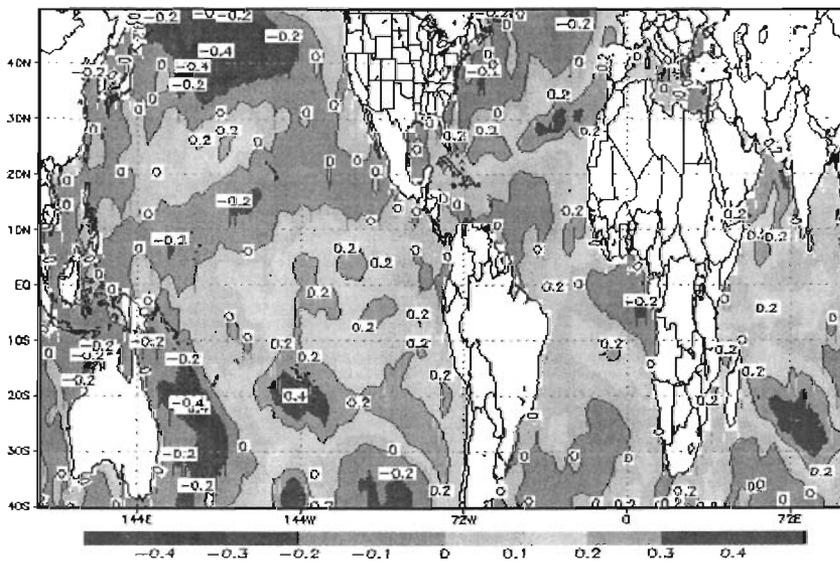
E. Roca 2002© c_roca@yahoo.com

Fig. 1.1.2-1. Isocorrelación para Enero SST media - precipitación total en Champotón.



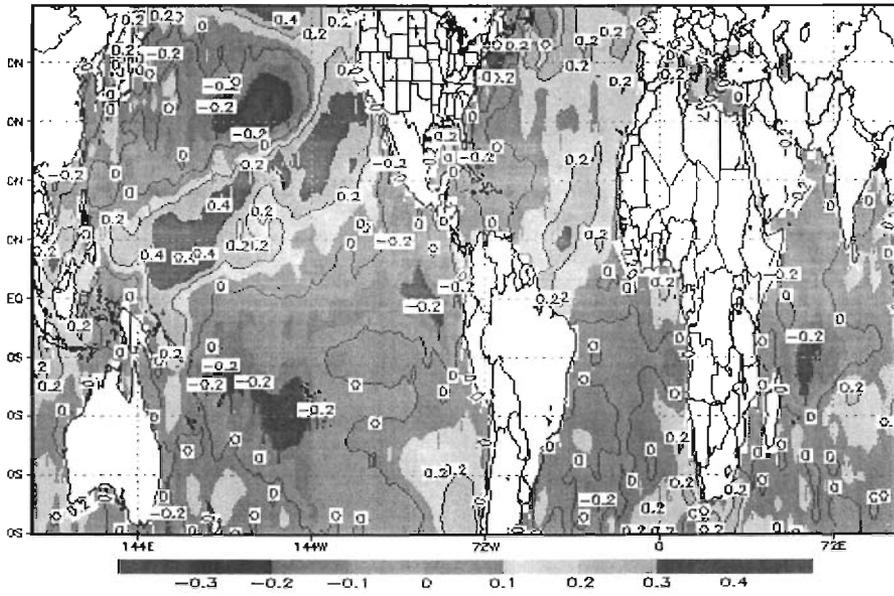
E. Roca 2002® c_roca@yahoo.com

Fig. 1.1.2-2. Isocorrelación para Febrero SST media - precipitación total en Champotón.



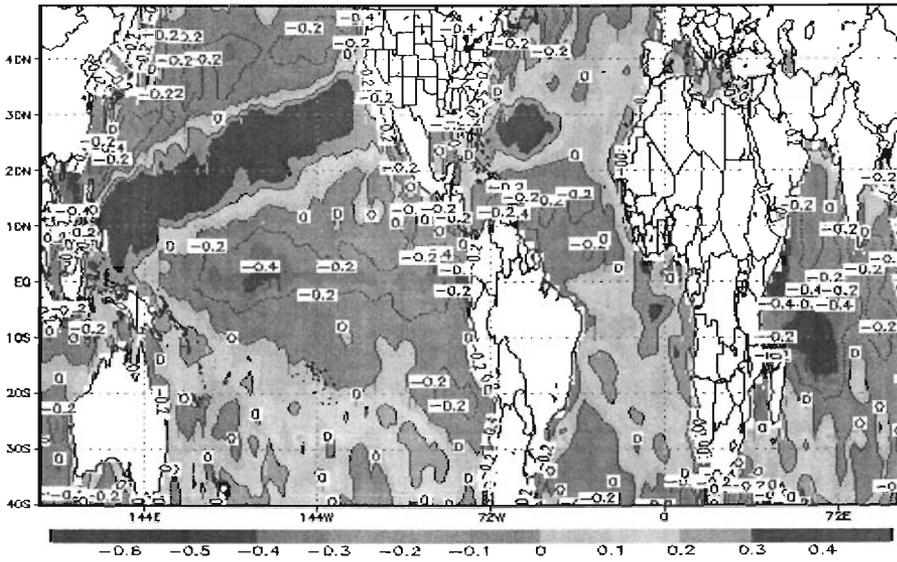
E. Roca 2002® c_roca@yahoo.com

Fig. 1.1.2-3. Isocorrelación para Marzo SST media - precipitación total en Champotón.



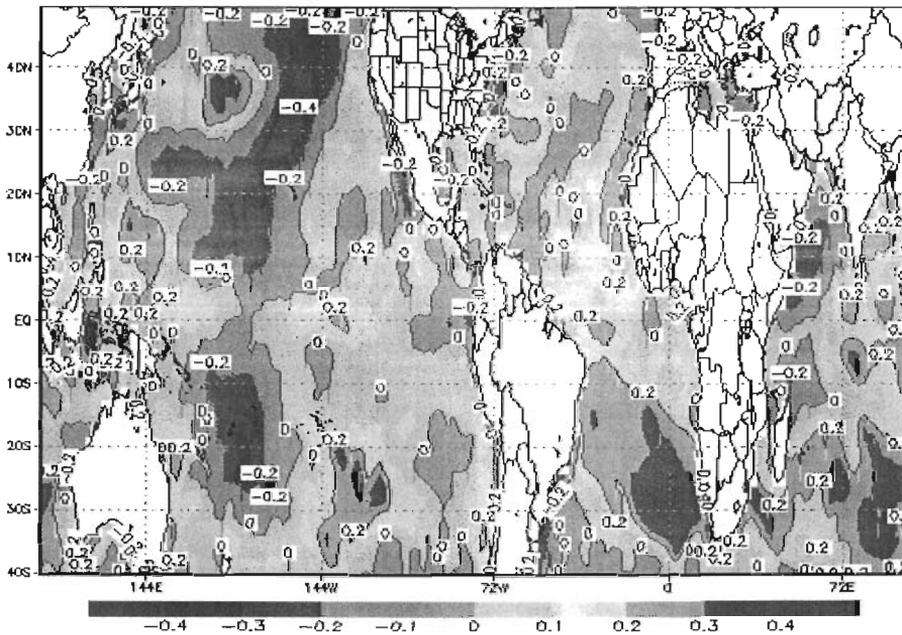
E. Roca 2003@ e_roca@yahoo.com

Fig. 1.1.2-4. Isocorrelación para Abril SST media - precipitación total en Champotón.



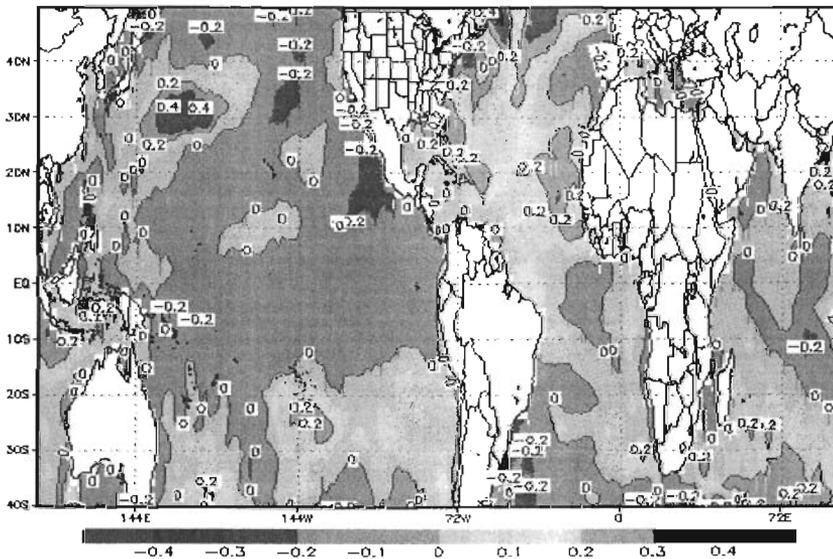
E. Roca 2003@ e_roca@yahoo.com

Fig. 1.1.2-5. Isocorrelación para Mayo SST media - precipitación total en Champotón.



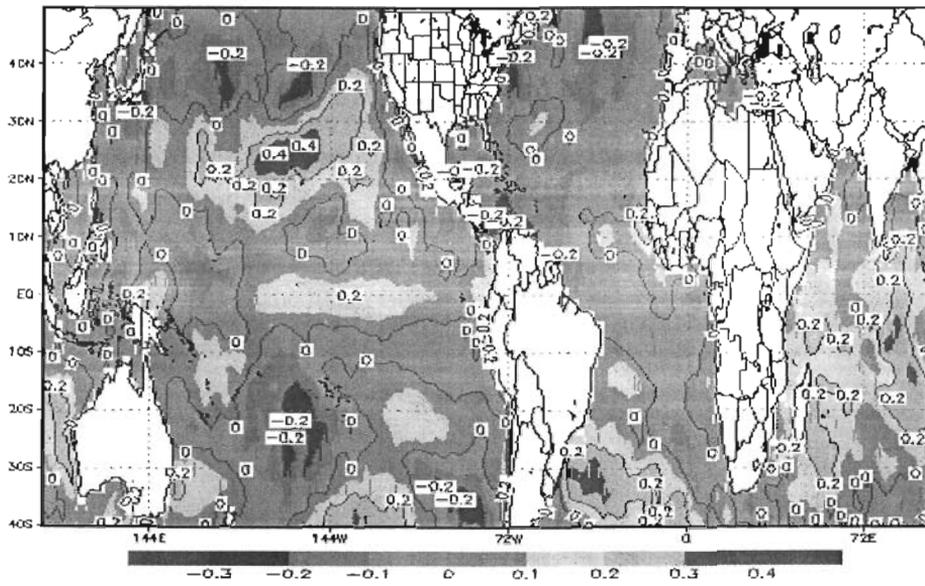
E. Roca 2003© e_roca@yahoo.com

Fig. 1.1.2-6. Isocorrelación para Junio SST media - precipitación total en Champotón.



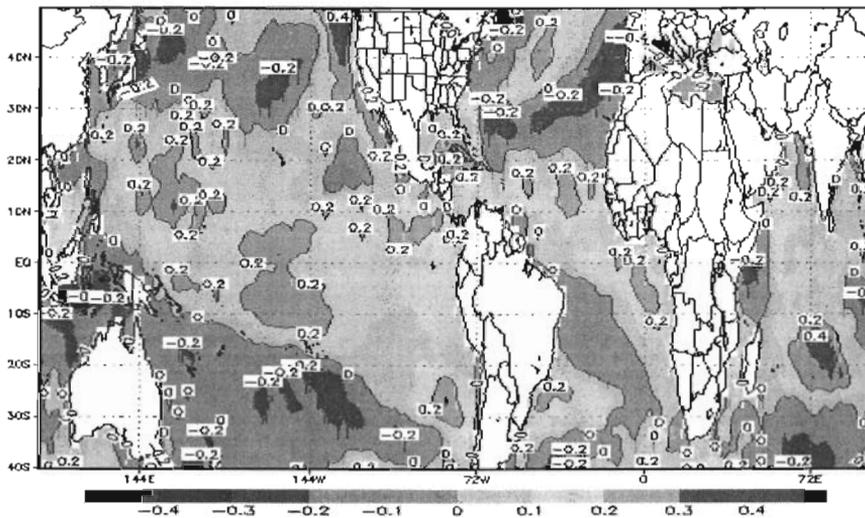
E. Roca 2003© e_roca@yahoo.com

Fig. 1.1.2-7. Isocorrelación para Julio SST media - precipitación total en Champotón.



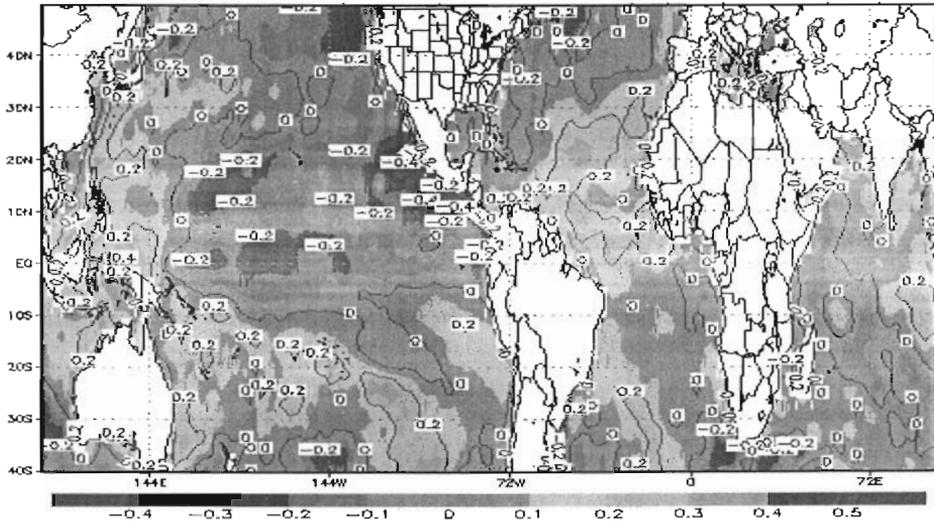
E. Roca 2003® e_roca@yahoo.com

Fig. 1.1.2-8. Isocorrelación para Agosto SST media - precipitación total en Champotón.



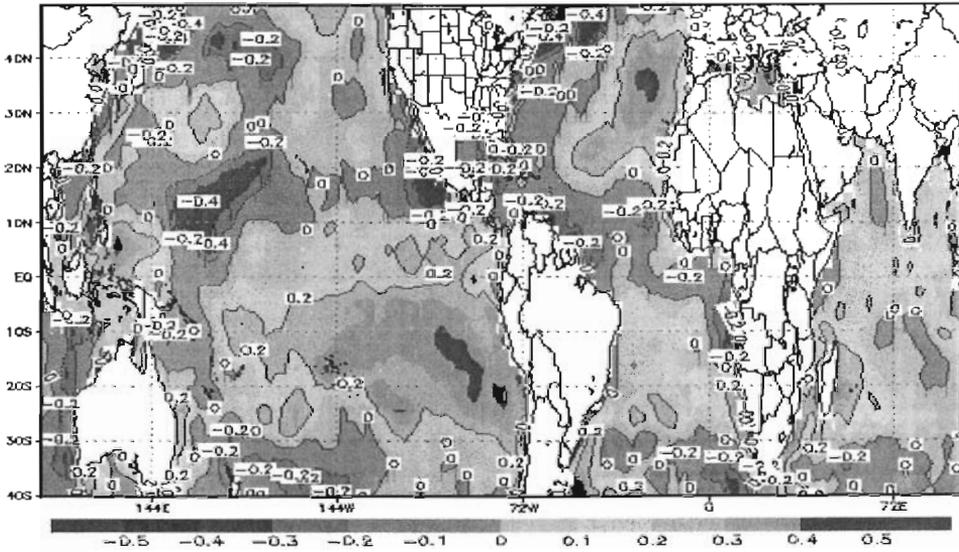
E. Roca 2003® e_roca@yahoo.com

Fig. 1.1.2-9. Isocorrelación para Septiembre SST media - precipitación total en Champotón.



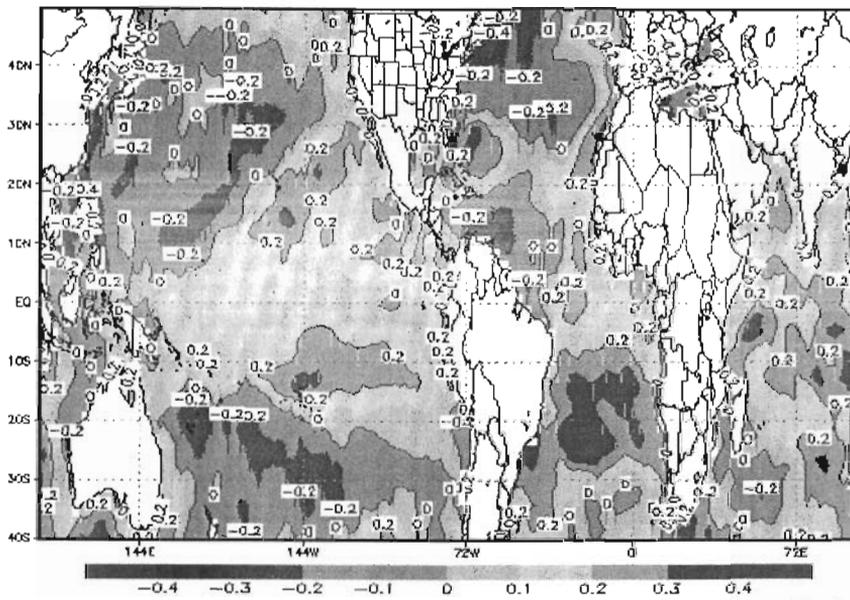
E. Roca 2003 © c_roca@yahoo.com

Fig. 1.1.2-10 Isocorrelación para Octubre SST media - precipitación total en Champotón.



E. Roca 2003 © c_roca@yahoo.com

Fig. 1.1.2-11 Isocorrelación para Noviembre SST media - precipitación total en Champotón.



E. Roca 2003® e_roca@yahoo.com

Fig. 1.1.2-12. Isocorrelación para Diciembre SST media - precipitación total en Champotón.