

01084



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

**DINÁMICA DE LA SEQUÍA INTRAESTIVAL
EN EL ESTADO DE TLAXCALA**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE:
DOCTOR EN GEOGRAFÍA
(GEOGRAFÍA AMBIENTAL)

PRESENTA:
EL M. en G. JOSÉ JIMÉNEZ LÓPEZ

COMITÉ TUTORAL:
DR. TOMÁS MORALES ACOLTZI
DRA. TERESA REYNA TRUJILLO
DR. JUAN CARLOS GÓMEZ ROJAS

FAC. DE FILOSOFÍA Y LETRAS



DIVISIÓN DE
ESTUDIOS DE POSGRADO

MÉXICO, D.F.

2004



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.

ÍNDICE

ÍNDICE DE MAPAS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
RESUMEN	vi
ABSTRAC	vii
1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVO GENERAL	5
2.1. Objetivos particulares	5
3. METODOLOGÍA	6
3.1. Área de estudio	6
3.2. Climatología del Estado de Tlaxcala	7
3.3. Grupo de climas templados C	8
3.3.1. Templado subhúmedo $C(w_0)(w)(i')g$	9
3.3.2. Templado subhúmedo $C(w_1)(w)ig$	9
3.3.3. Templado subhúmedo $C(w_2)w(i')gw''$	9
3.3.4. Semifrío subhúmedo $Cb'(w_2)(w)ig$	9
3.3.5. Fríos y muy fríos $E(T)CH(w_2)(w)ig$	10
3.4. Heladas y granizadas	10
3.4.1. Heladas	10
3.4.2. Granizadas	10
3.5. Descripción de estaciones meteorológicas	11
3.6. Prueba de homogeneidad de datos	11
3.7. Cálculo de período de crecimiento y húmedo	12
3.7.1. El período de crecimiento	13
3.7.2. El período húmedo	13
3.8. Probabilidad de lluvia	14
3.8.1. Distribución normal	14
3.8.2. Distribución acumulativa	15
3.8.3. Distribución Galton	15
3.8.4. Distribución Gamma incompleta	16
3.9. Prueba de bondad de ajuste de Smirnov	16
3.10. Filtrado de datos con series Fourier	17
3.11. Reanálisis	19
4. RESULTADOS	22
4.1. El filtrado de datos y determinación de los períodos de crecimiento y húmedo	22
4.2. Hipótesis	32
4.3. Un nuevo índice del flujo del este	38

4.4. Prueba dinámica del banco de datos de reanálisis	44
4.5. Conclusiones para Noviembre de 2003	47
4.6. Conclusiones para Diciembre de 2003	51
4.7. Conclusiones para Enero de 2004	55
4.8. Conclusiones para Febrero de 2004	59
4.9. Conclusiones para Marzo de 2004	62
5. CONCLUSIONES	64
5.1. Trabajos futuros	65
6. REFERENCIAS	66
7. APÉNDICE	69
7.1. Apéndice "A" El maíz	69
7.2. Apéndice "B" El método de Fourier para series de tiempo	72
7.2.1. Series de Fourier	72
7.2.2. Conceptos de series de Fourier	72
7.2.3. Series de Fourier con período general	73
7.2.4. Análisis con armónicos	73

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Área de estudio	6
Mapa 2. Fisiografía del Estado de Tlaxcala	7
Mapa 3. Climatología del Estado de Tlaxcala	8
Mapa 4. Trayectorias de huracanes costeando el Litoral del Pacífico Mexicano (1993)	33
Mapa 5. Zona donde la variabilidad de la precipitación es controlada por el Golfo de México	36
Mapa 6. Distribución mensual de la precipitación y la temperatura	37
Mapa 7. Flujo zonal medio de largo plazo a 925mb, para Julio (1960-2000)	38
Mapa 8. Flujo zonal medio de largo plazo a 925mb, para 4-18 de Agosto de 2002	39
Mapa 9. Flujo zonal medio de largo plazo a 925mb, para Agosto	40
Mapa 10. Flujo zonal medio de largo plazo a 925mb, para 19 de Agosto al 5 de Septiembre de 2002	41
Mapa 11. Flujo zonal medio de largo plazo a 925mb, para Septiembre	42
Mapa 12. Flujo zonal medio de largo plazo a 925mb, para 6-17 de Septiembre	43
Mapa 13. Anomalia compuesta para el campo de presión a nivel del mar (Noviembre)	44
Mapa 14. Anomalia compuesta para el campo de temperatura del aire a 1000mb (Noviembre)	45
Mapa 15. Anomalia compuesta para el campo de viento zonal a 925mb (Noviembre)	46
Mapa 16. Anomalia compuesta para el campo de viento vectorial a 850mb (Noviembre)	47
Mapa 17. Anomalia compuesta para el campo de presión a nivel del mar (Diciembre)	48
Mapa 18. Anomalia compuesta para el campo de temperatura del aire a 1000mb (Diciembre)	49
Mapa 19. Anomalia compuesta para el campo de viento zonal a 925mb (Diciembre)	50
Mapa 20. Anomalia compuesta para el campo de viento vectorial a 850mb (Diciembre)	51
Mapa 21. Anomalia compuesta para el campo de presión a nivel del mar (Enero)	52
Mapa 22. Anomalia compuesta para el campo de temperatura del aire a 1000mb (Enero)	53
Mapa 23. Anomalia compuesta para el campo de viento zonal a 925mb (Enero)	54
Mapa 24. Anomalia compuesta para el campo de viento vectorial a 850mb (Enero)	55

Mapa 25. Anomalía compuesta para el campo de presión a nivel del mar (Febrero)	56
Mapa 26. Anomalía compuesta para el campo de temperatura del aire a 1000mb (Febrero)	57
Mapa 27. Anomalía compuesta para el campo de viento zonal a 925mb (Febrero)	58
Mapa 28. Anomalía compuesta para el campo de viento vectorial a 850mb (Febrero)	59
Mapa 29. Anomalía compuesta para el campo de presión a nivel del mar (Marzo)	60
Mapa 30. Anomalía compuesta para el campo de viento zonal a 925mb (Marzo)	61
Mapa 31. Anomalía compuesta para el campo de viento vectorial a 850mb (Marzo)	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Climatología de la razón de precipitación quincenal (mm/día)	2
Figura 2. Representación de los armónicos de la serie de Fourier para la precipitación, Apizaco (1942-2003)	18
Figura 3a. Determinación de los períodos de crecimiento y húmedo sin filtrar (Apizaco)	22
Figura 3b. Determinación de los períodos de crecimiento y húmedo con filtrado (Apizaco)	23
Figura 4a. Determinación de los períodos de crecimiento y húmedo sin filtrar (Atlangatepec)	23
Figura 4b. Determinación de los períodos de crecimiento y húmedo con filtrado (Atlangatepec)	24
Figura 5a. Determinación de los períodos de crecimiento y húmedo sin filtrar (Tlaxcala)	24
Figura 5b. Determinación de los períodos de crecimiento y húmedo con filtrado (Tlaxcala)	25
Figura 6a. Determinación de los períodos de crecimiento y húmedo sin filtrar (Huamantla)	25
Figura 6b. Determinación de los períodos de crecimiento y húmedo con filtrado (Huamantla)	26
Figura 7a. Determinación de los períodos de crecimiento y húmedo sin filtrar (Tlaxco)	26
Figura 7b. Determinación de los períodos de crecimiento y húmedo con filtrado (Tlaxco)	27
Figura 8a. Determinación de los períodos de crecimiento y húmedo sin filtrar (Ixtacuixtla)	27
Figura 8b. Determinación de los períodos de crecimiento y húmedo con filtrado (Ixtacuixtla)	28

Figura 9a. Determinación de los períodos de crecimiento y húmedo sin filtrar (Tepetitla)	28
Figura 9b. Determinación de los períodos de crecimiento y húmedo con filtrado (Tepetitla)	29
Figura 10a. Determinación de los períodos de crecimiento y húmedo sin filtrar (Españita)	29
Figura 10b. Determinación de los períodos de crecimiento y húmedo con filtrado (Españita)	30
Figura 11a. Índice de lluvia Tepetitla, Ixtacuixtla y Españita con análisis Fourier	34
Figura 11b. Índice de lluvia Apizaco, Huamantla, Tlaxco y Tlaxcala con análisis Fourier	34
Figura 12. Rosa de los vientos mostrando direcciones preferentes	35
Figura 13. Comparación de inviernos con temperatura mínima	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de las estaciones en estudio, del Estado de Tlaxcala	11
Tabla 2. Datos ordenados de temperatura mínima a escala pentadal	12
Tabla 3. Promedio de los datos pentadales	13
Tabla 4. Períodos de crecimiento (IITE)* (IATH)**	31
Tabla 5. Períodos húmedos	31
Tabla 6. Valores extremos de los máximos relativos que rodean a la Canícula (IITE)	31
Tabla 7. Distribución de los huracanes a escala decadal. Ciclones tropicales en la Península de Baja California de 1950-2003	32

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se da una explicación Dinámica de la Sequía Intraestival en el Estado de Tlaxcala, desde un punto de vista regional, para ello se consideraron ocho estaciones meteorológicas, se generaron datos pentadales de las variables climáticas: precipitación, temperatura mínima y evaporación, es importante mencionar, que ha partir de la evaporación, se obtuvo la evapotranspiración potencial. Se determinaron periodos de crecimiento y húmedo, con relación al cultivo del maíz; debido a la alta frecuencia de los datos fue necesario aplicar una representación de series de Fourier para incluir las componentes de baja frecuencia.

Se pudo considerar una regionalización del comportamiento de la Canícula, es decir, para las estaciones de Apizaco, Atlangatepec, Huamantla y Tlaxcala, el máximo ocurre en la primera fase. Mientras que para Ixtacuixtla, Tepetitla y Españita el máximo relativo ocurre en la segunda fase.

Para explicar la regionalización en los máximos relativo, se consideró el banco de datos de reanálisis a escala sinóptica, en el se pueden identificar los vientos máximos asociados a los alisios y su recurva frente a la República Mexicana sobre las costas del Golfo de México.

Como una contribución principal de esta investigación, es la propuesta que la recurva de vientos del Este están asociados al calentamiento de la parte continental del Sur de los Estados Unidos de Norteamérica. De tal manera, que toda esta circulación es complementaria al sistema conocido como monzón Mexicano.

PALABRAS CLAVE: Canícula/Sequía Intraestival, Regionalización, Reanálisis, monzón Mexicano

ABSTRACT

This research explains the dynamic alternating wet-dry-wet period in Tlaxcala State, México. We considered eight specific meteorological stations, from there we obtained pentades data from climatic variables: rainfall, minimum temperature and evaporation. It is relevant to say that from evaporation we obtained potential evapotranspiration. Growing and humid periods were determined dealing with corn crops, due to high frequency it was necessary to use a stage Fourier representation adding some low frequency components.

It was considered, as well, a specific area of Dowble peak structure development. The highest first stage was shown in the meteorological station in Apizaco, Atlangatepec, Huamantla and Tlaxcala; whereas in Ixtacuixtla, Tepetitla and Españita, the relative highest point shown the second stage.

To understand the area at a relative highest stage reanalyze-recorded data were considered at a snotic scale. There we can identify the highest scale. There we can identify the highest winds in relation to alisius winds and its recorve in front of the Mexican coast in the Mexican Golf.

The main contribution of this research is the proposal to the recorve of East winds related to United States Continental South heating. This wind circulation is a complement to the well known Mexican Monsoon System.

Keywords: Dowble peak structurrate, alternating wet-dry-wet period, reanalyze record data, North American Monsoon System

I. INTRODUCCIÓN

La precipitación, en el Estado de Tlaxcala, se caracteriza por un período de lluvia de mayo a octubre y uno seco entre noviembre y abril. Tal conocimiento es utilizado para la determinación del inicio de las actividades de siembra de temporal durante la primavera.

En ocasiones, las variaciones que el tiempo tiene, con respecto a la normal, se traducen en pérdidas de cultivos o daños a la población. Las sequías, las inundaciones, las diferentes intensidades de la Canícula, resaltando la “Canícula Seca” y la “Canícula Húmeda” corresponden a mínimos relativos de precipitación por debajo o por arriba de lo “normal”, respectivamente, y dada la gran importancia de la presentación de la Canícula y su categoría, con relación a las etapas fenológicas de los cultivos, es importante seleccionar este tipo de variabilidad para su estudio.

La presentación en particular, de la “Canícula Seca” aumenta los riesgos de temperaturas bajas e inclusive de heladas, debido a que no habrá vapor de agua disponible en la atmósfera, en consecuencia permitiendo un enfriamiento debido a que la radiación en onda larga escapa al espacio exterior. Para un agricultor, por ejemplo, de Toluca de Guadalupe lugar en que fue sugerido el concepto de “Canícula Seca” resulta de vital importancia conocer con tiempo adecuado una planificación para la toma de decisión del o los cultivos que presenten menos riesgo de inversión. Por lo tanto, al desarrollar una caracterización de la Sequía Intraestival, considerando los dos extremos en la distribución de la precipitación y su dinámica, ayudará a reducir los gastos de inversión de un agricultor.

En México, “la Canícula o Canículas” se presenta (n) al final de julio e inicio de agosto, es decir, la segunda quincena de julio y la primera de agosto, lo que indica que la variabilidad del campo de vientos del Este predomina en este período (Amador, 1988).

Uno de los fenómenos asociados a las fluctuaciones que el tiempo experimenta es el fenómeno de El Niño, el cual ha recibido durante 1997 y 1998 una gran atención de los medios de información. La ocurrencia de El Niño o de su contraparte, La Niña, ha unido a la comunidad científica internacional dedicada a las Ciencias Ambientales, a establecer intensas campañas de observación y estudio de los procesos atmosféricos y oceánicos asociados al clima.

Las campañas de observación, el uso de satélites y el aumento de las comunicaciones han incrementado el conocimiento del fenómeno de El Niño, y así hoy se sabe cual es el patrón de anomalías en la superficie del mar que lo caracteriza y en qué medida afecta el clima del planeta.

La distribución temporal y geográfica de la lluvia, ha sido estudiada por diversos autores, entre ellos: Mosiño y García (1966), Reyna (1970,1993), Flores (1984), Beltrán (1990), Magaña, Amador y Medina (1999), Pérez (2002), entre otros, quienes señalan la existencia de una distribución bimodal de la lluvia en algunas regiones del país.

El estudio para la República Mexicana, de la Canícula (Figura 1), Magaña y Morales (1998), permite inferir un comportamiento medio de la Canícula para el Estado de Tlaxcala,

debido a la escala incluida. Considerando un sistema de ejes coordenados cartesianos, el Estado de Tlaxcala se encuentra en el cuadrado, con coordenadas (4,4), se nota la presencia de la Canícula con una amplitud igual en cada máximo relativo, sin embargo un comportamiento específico para el Estado de Tlaxcala no se puede inferir. Por lo tanto, es deseable realizar un estudio de la Canícula a escala de estación climatológica y regional, haciendo énfasis en el diferente comportamiento de la distribución de la precipitación,

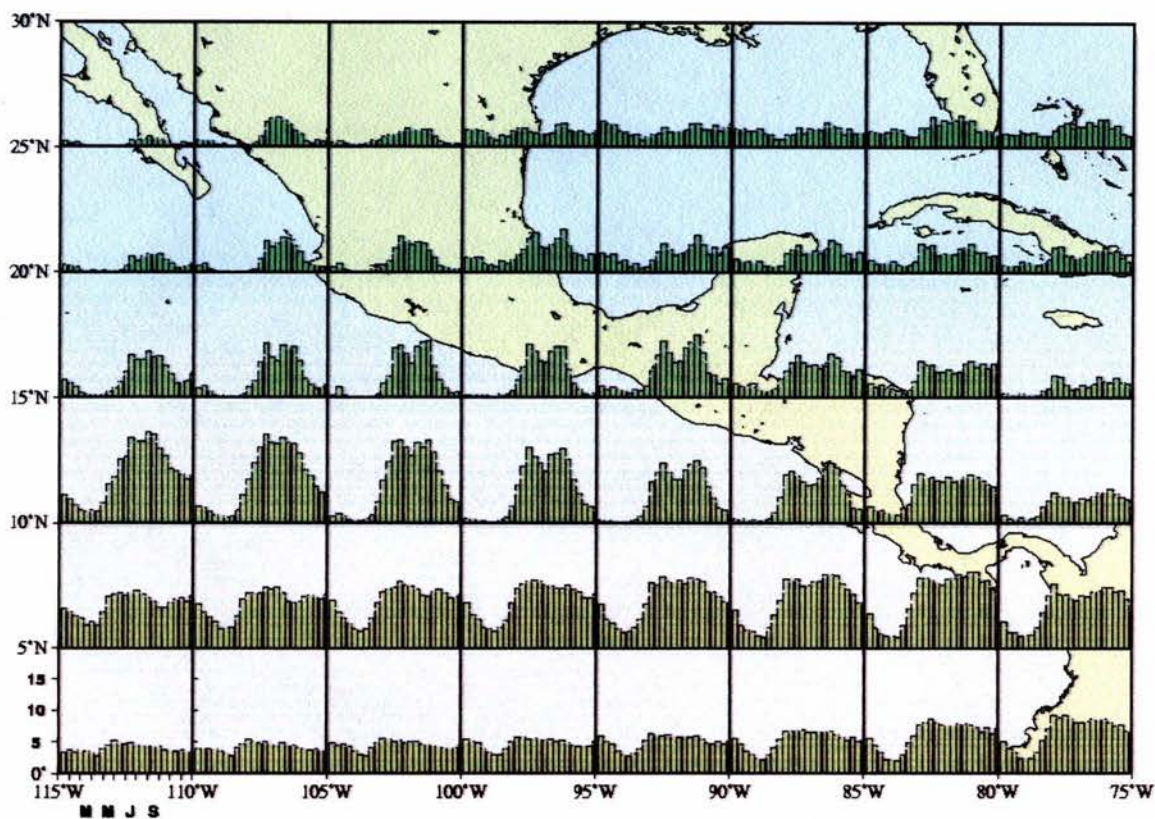


Figura 1. Climatología de la razón de precipitación quincenal (mm/día).

Flores (1984), estudiaron la relación entre la Sequía Intraestival y la producción de granos en Michoacán (México), observaron que los bajos rendimientos del maíz y el frijol fueron causados por la Sequía, evento que se presentó en los años de 1970-1980 con una intensidad de 45.1%, en base a las fórmulas propuestas por Mosiño y García (1966), para cuantificarla, en casos excepcionales éstas no dieron una idea exacta de la intensidad del fenómeno, por lo que señalan la conveniencia de modificarlas para que abarquen la totalidad de casos en que se presenta.

Mosiño y Reyna (1989), enfatizan que una causa parcial de la Sequía Intraestival son los ciclones tropicales que penetran o se forman en el Golfo de México, pero sin entrar al territorio mexicano, se asocian a una configuración de las isohipsas, en la forma de una celda anticiclónica, cuya presencia los abraza por el norte produciendo una lengua de aire seco, subsidente, cuya presencia constituye la recesión en las lluvias, sobre la mitad oriental del país.

Taboada, Reyna, Oliver, y Beltrán (1993), consideraron que la Sequía Intraestival es un fenómeno que se presenta con mayor o menor frecuencia e intensidad en el Estado de Morelos y determinaron que la designación de “Sequía de agosto” frecuentemente utilizada, resulta impropia, si se considera que el mínimo secundario de precipitación se presenta lo mismo en junio, julio o en septiembre.

En el Estado de Morelos, con grandes contrastes topográficos influyen notablemente sobre la intensidad de las precipitaciones a lo largo del año, los sistemas de circulación atmosférica y definen claramente dos épocas, la húmeda (de mayo a octubre) y la seca (de noviembre a marzo principalmente).

La explicación que dan sobre las causas que provocan la Canícula se basan en los cambios atmosféricos –pero no indican cuáles– que se presentan durante el verano, y particularmente en el hemisferio norte, parecen ser aceptables y no la explicación que durante tanto tiempo se utilizó en el sentido de que era un fenómeno producido por el doble paso del sol por el cenit en un determinado lugar.

Pereyra, Angulo, y Palma (1994), mostraron el efecto de El Niño/Oscilación del Sur (ENSO) sobre la Sequía Intraestival o Canícula en el Estado de Veracruz. Compararon la precipitación promedio mensual de los años de El Niño con los de no El Niño, de 51 estaciones climatológicas. Los resultados mostraron que durante los eventos de El Niño disminuye o desaparece la Sequía Intraestival, en casi todo el Estado de Veracruz. Esto ocurre durante los meses de julio y agosto, con excepción de la región alta del centro del Estado, que incluye Xalapa, Naolinco y Orizaba, donde se incrementa la Sequía.

Hernández (1996), analizaron cuantitativa y cualitativamente cuánto afectó al cultivo de maíz a través del tiempo (1988 a 1992) en el Estado de Morelos, confirmaron que toda la entidad presenta en mayor o menor medida, una Sequía relativa que afecta no sólo a los cultivos de maíz, sino que desencadena una serie de efectos a nivel físico como aumento de temperatura y erosión de suelo, y sociales como pérdida del líquido para consumo humano, aunque los índices de Sequía en Morelos, son bajos en comparación con los altos porcentajes alcanzados en otras entidades de la República Mexicana como por ejemplo en: Chihuahua, Coahuila y Tamaulipas. La mayor incidencia, en el período analizado, fue en 1991 y el mes que más afectó por la intensidad fue agosto y en menor proporción julio.

Magaña, Amador y Medina (1999) presentan la hipótesis de la alberca de agua caliente y su intermitencia, para explicar la Sequía Intraestival. Peña (2001) y Negrete (2002), ambos asesorados por Morales realizaron una caracterización espectral de la precipitación pluvial de acuerdo al ciclo vegetativo del maíz para Apizaco, Tlaxcala y Tepechitlán, Zacatecas, respectivamente.

Herrera (2000) realizó un análisis estadístico de las Sequías en México a partir de 1921 a 1987, a través del Índice de “Severidad de Sequía de Palmer” consideró la regionalización del país elaborada por Douglas (1985). Además, relaciono los valores del Índice de Palmer, con las anomalías de temperaturas generadas por el fenómeno de “El Niño”. Encontró que en todas las

regiones se tienen tanto periodos húmedos como secos, sin embargo, existen periodos en los cuales los eventos de Sequía se presentan con mayor intensidad.

En comparación del fenómeno de “El Niño” en relación con el Índice de Palmer analizó la región en donde este fenómeno se presenta que es la 5, ya que se caracteriza por la incidencia de Sequía extrema más fuerte del país.

Reyna, Fernández y Rodríguez (2004) estudiaron el comportamiento de la Sequía Intraestival en el occidente de la Isla de Cuba y en la Isla de la Juventud, así como su intensidad relativa. Comprobaron que la Sequía cubre a los dos distritos en la temporada veraniega y se registró sin excepción ninguna la disminución relativa de la precipitación. Los valores de la intensidad de la Sequía fueron variables en todo el territorio, en el occidente de la Isla de Cuba, oscilan de 0 a más del 30%, los mayores se encuentran en estaciones cercanas a la costa, situadas en diferentes regiones físico-geográficas.

El propósito principal de esta investigación, es analizar la Canícula a escala regional, en particular, en el Estado de Tlaxcala, sin perder el enfoque de una región de control mayor, que incluya los posibles mecanismos responsables de esta dinámica característica. Además, de que cada año los agricultores tienen pérdidas económicas por dicho evento, tan sólo en este año, en la parte noroeste se afectaron parcialmente 25 mil hectáreas de cebada, las pérdidas fueron de 60 millones de pesos, por tal motivo se insistió con el gobierno del Estado que Tlaxcala, fuese considerada zona de desastre (Sol de Tlaxcala 17 de octubre 2004).

2. OBJETIVO GENERAL

Analizar los patrones de precipitación, con énfasis en la Canícula, en el Estado de Tlaxcala, y su explicación dinámica, aplicando la plataforma del banco de datos creado recientemente y conocido mundialmente como “ reanálisis” .

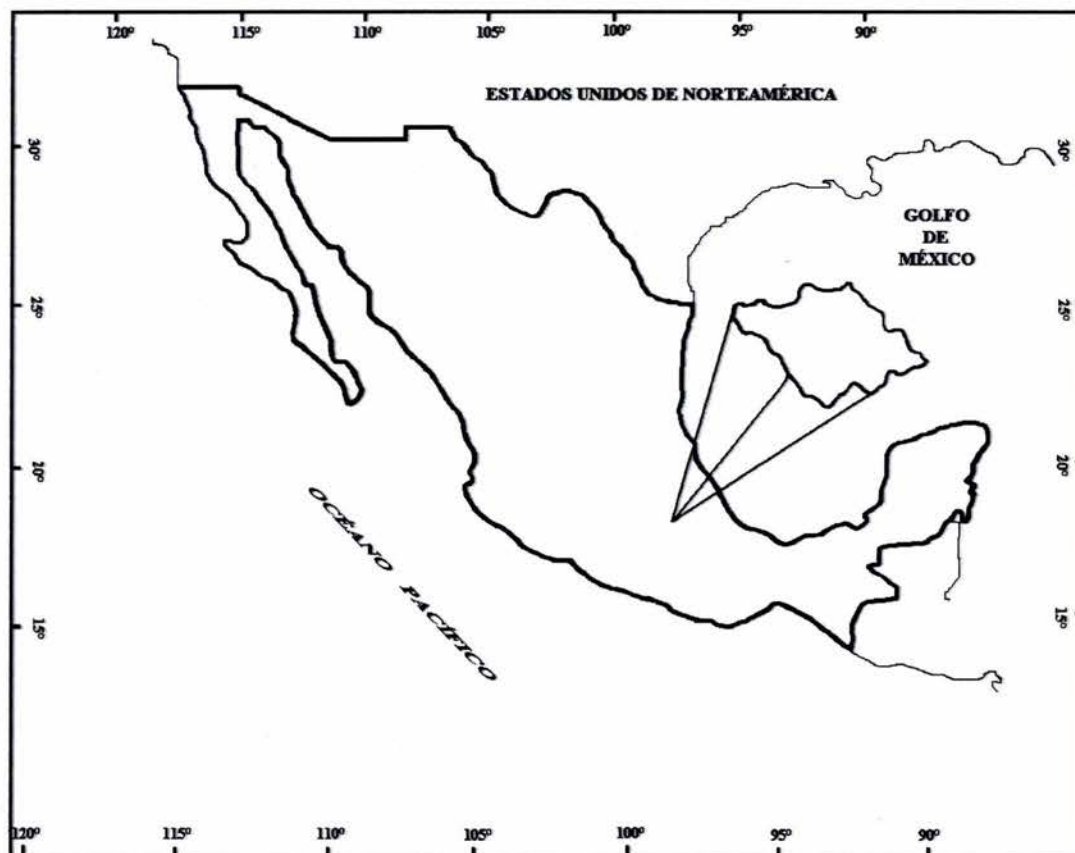
2.1 OBJETIVOS PARTICULARES

1. Identificar las formas de variabilidad de la Sequía Intraestival en regiones del Estado de Tlaxcala.
2. Investigar la posibilidad de poder regionalizar el comportamiento de la Canícula.
3. Asociar a la Canícula, patrones de circulación de viento -de reanálisis- en niveles “bajos”, donde se encuentra el Jet del Caribe, es decir, en el nivel de 700 mb (con una altura de 3 kilómetros, aproximadamente), que es representativo en el Altiplano Mexicano y en el Sistema Neovolcánico Transversal.
4. Analizar los rangos de vientos zonal y meridional, para identificar la dinámica de los alisios interactuando con el flujo del Oeste y su desviación hacia el NO-N, forzado por el calentamiento asociado al continente de Estados Unidos de Norteamérica, como parte complementaria del monzón Mexicano.
5. Realizar un pronóstico aplicando básicamente datos de reanálisis, que nos permita evaluar, desde un punto de vista dinámico y operativo, la información contenida en la plataforma de los datos de reanálisis y, por tanto, las conclusiones derivadas de ésta.

3. METODOLOGÍA

3.1. ÁREA DE ESTUDIO.

El Estado de Tlaxcala, queda inscrito en una parte de la subprovincia de los lagos y volcanes del Sistema Volcánico Transversal (Mapa 1).



Mapa 1. Área de estudio.

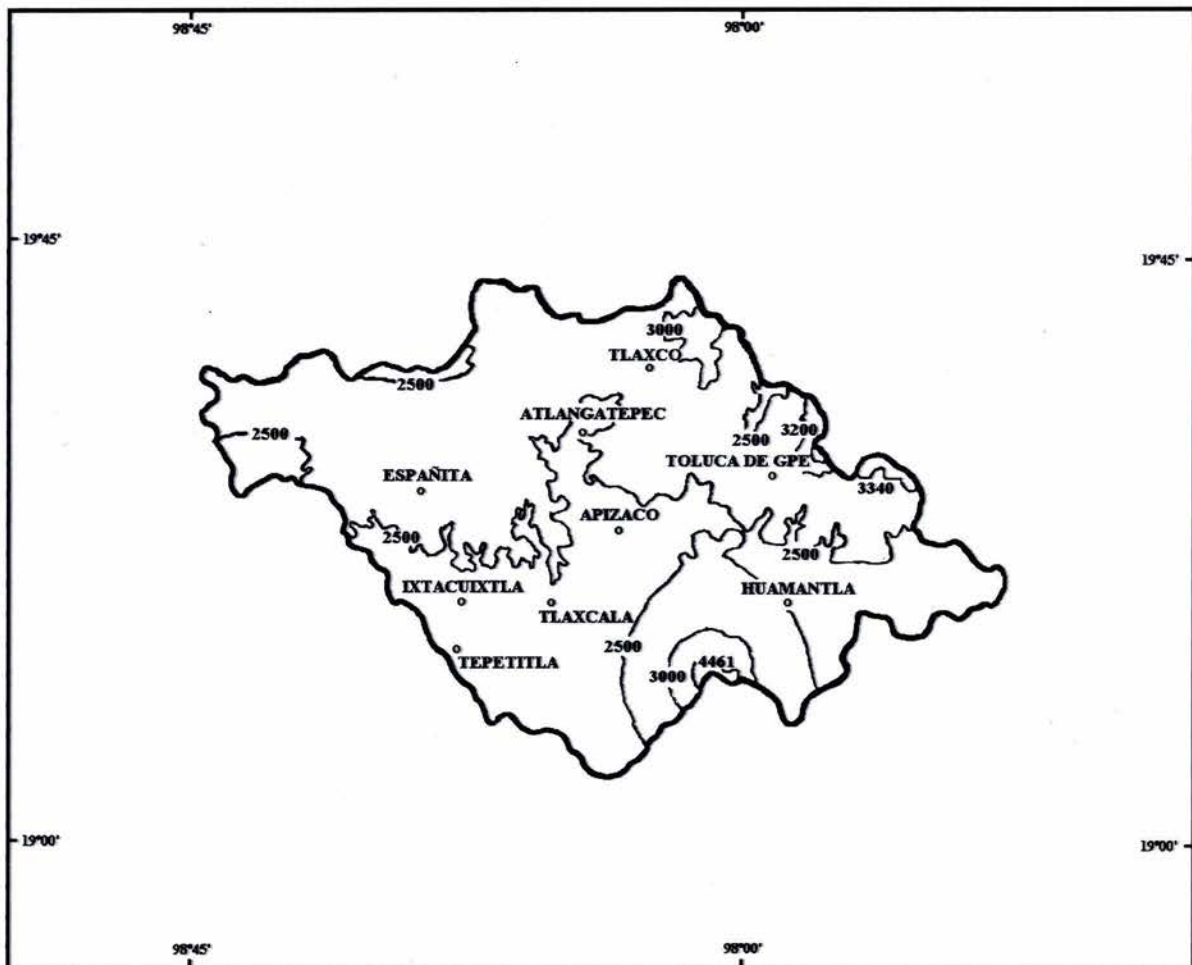
En el Estado de Tlaxcala, se encuentra un angosto corredor llano de carácter aluvial (a unos 2 400 msnm), que va en sentido Noroeste-Sureste, que conecta los llanos Hidalguenses de Apan con la llanuras de la cuenca de Puebla. Dentro de esta alargada llanura nace el río Zahuapan, el afluente más septentrional del Balsas, a la altura de Apizaco.

Limitan por el Norte a este corredor de Calpulalpan, Hueyotlipan, Apizaco y Huamantla, unidades de lomeríos de origen ígneo, algunas asociadas con llanos. Estos rematan al Oriente con mesetas y lomeríos lávicos y al Norte con los bordes de la Sierra Volcánica de Tlaxco.

Por el lado Sur, el corredor limita al Oeste con los lomeríos periféricos de la Sierra Nevada, al centro de las cañadas de la meseta o bloque de Tlaxcala y, al Oriente con el volcán La

Malintzi. El río Zahuapan cruza el Suroeste por un angosto valle entre estas dos últimas unidades donde se ubica la capital del Estado.

El volcán La Malintzi, está considerado como una ruina volcánica pliocénica, el muñón erosionado de lo que fuera en otros tiempos un enorme estratovolcán. Por el área que abarca, poco más de 30 km de diámetro, es uno de los mayores del país. Sus faldas inferiores se tienden radialmente con pendientes poco pronunciadas, en tanto que sus laderas centrales, desde unos 3 300 msnm, son muy escarpadas y se levantan hasta los 4 460 msnm. Sus características más notables son las siguientes: una gran barranca que baja hacia el poblado de San José Ixtenco al Oriente, el rasgo circular al Este de la cima llamado Octlayo (INEGI) (Mapa 2).

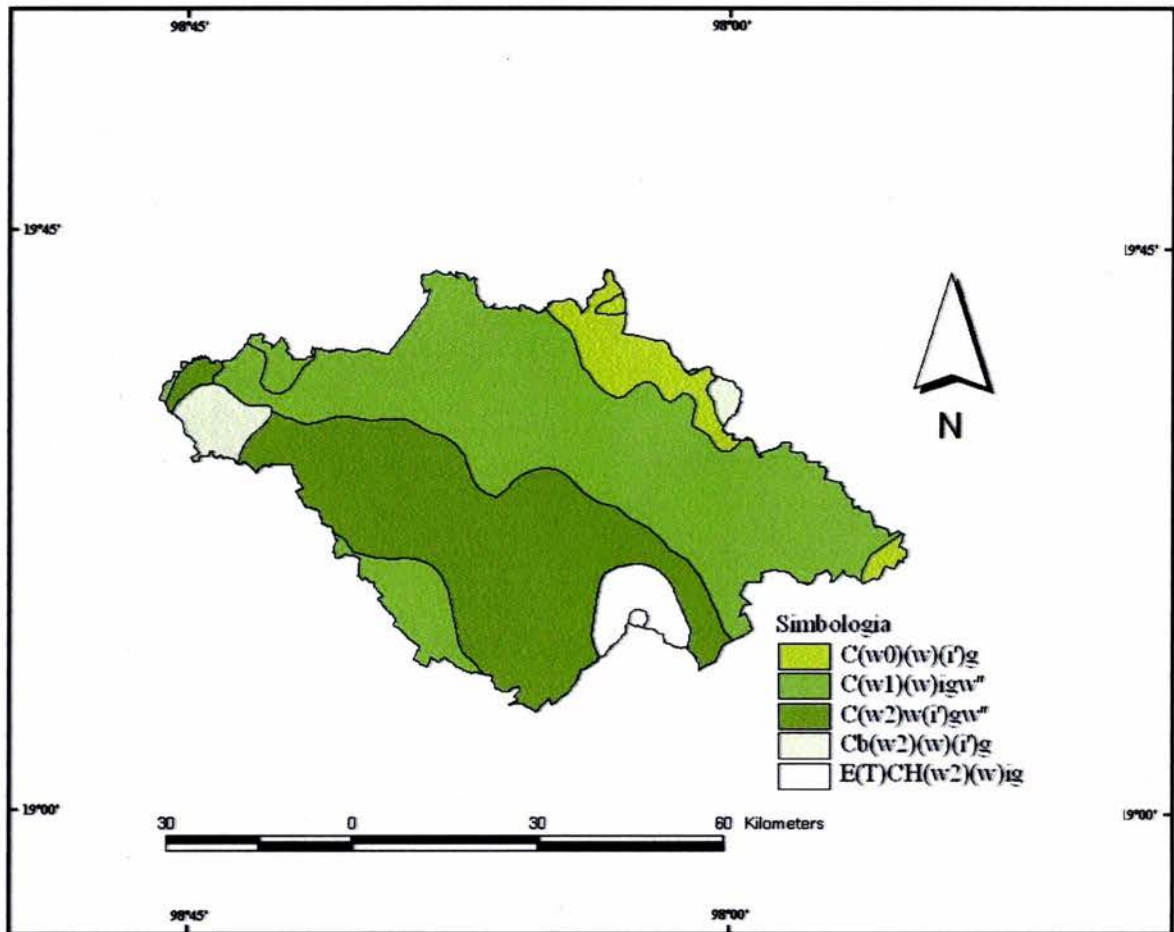


Mapa 2. Fisiografía del Estado de Tlaxcala.

3.2. CLIMATOLOGÍA DEL ESTADO DE TLAXCALA.

El Estado de Tlaxcala tiene en general climas templados subhúmedos con lluvias de verano. Las precipitaciones medias anuales son más abundantes en el Centro y Sur, donde oscilan 600 a 1200 mm, en tanto que en el Noroeste y Oriente las lluvias son menores de 500 mm al año.

Los climas templados se presentan particularmente en los valles y las llanuras. El volcán de la Malintzi, al Sur del Estado tiene un clima semifrío, excepto en sus cumbres más altas, donde el clima puede calificarse como frío (CONABIO) (Mapa 3).



Mapa 3. Climatología del Estado de Tlaxcala.

A continuación se hace una descripción detallada de la climatología de la entidad.

3.3. GRUPO DE CLIMAS TEMPLADOS C

Presenta una temperatura media anual de entre 12 y 18°C, la del mes más frío oscila entre 3 y 18 °C. Este tipo de clima cubre alrededor del 34% de la superficie del Estado y se presenta con cuatro modalidades distintas en cuanto a grado de humedad y porcentaje de lluvia invernal de ellas, sólo se analizarán las más importantes.

3.3.1. TEMPLADO SUBHÚMEDO C(w0)(w)(i')g

El rasgo que caracteriza a este clima es un régimen térmico medio anual entre los 12 y 18°C. Se localiza en pequeñas zonas del Este y Oeste de la entidad, en los municipios de Calpulalpan y el Carmen Tequextitla.

3.3.2. TEMPLADO SUBHÚMEDO C(w1)(w)ig

Es intermedio en cuanto a humedad, con precipitaciones en verano y un porcentaje de lluvia invernal menor de 5%. Es el clima que se encuentra más extendido en la entidad pero se le localiza principalmente hacia el Norte, en una franja que va de Este a Oeste, en partes de los siguientes municipios. Ixtacuixtla, Nativitas, Tetlatlahuca, Lázaro Cárdenas y Hueyotlipan. Domingo Arenas, Tlaxco, Apizaco, Tetla, Terrenate, Xalostoc y Tocatlán. El régimen pluvial medio anual oscila entre 600 y 1000 mm y la temperatura media anual fluctúa entre 12 y 16°C.

Los meses de junio, julio y agosto registran la mayor precipitación, que oscila de 150 a 160 mm, en tanto que febrero presenta la mínima de 5 %.

La más alta temperatura media mensual corresponde de abril a mayo, con valores entre 18 y 19°C y la mínima se presenta en enero, con una media de 13 y 14°C.

3.3.3. TEMPLADO SUBHÚMEDO C(w2)w(i')gw''

Es el más húmedo de los templados con lluvia en verano y porcentaje de lluvia invernal menor de 5%. Se distribuye en el Sur de la entidad, en una franja de Este a Oeste y comprende parte de los municipios de Mariano Arista, Españita, Ixtacuixtla, Xaltocan, Huamantla, Santa Cruz Tlaxcala, Juan Cuamantzi, Miguel Hidalgo, José María Morelos, Xicohtencatl, Tenancingo, San Pablo del Monte, Cuaxomulco y Tzompantepec.

La precipitación media anual fluctúa entre 700 y 1000 mm. y la temperatura media anual entre 12 y 18°C. La máxima incidencia de lluvia se presenta en julio, con un rango de 150 a 160 mm, en tanto que la Sequía se registra en los meses de enero y febrero, con un valor menor de 10 mm, esto dependiendo del Estado activo del Océano Atlántico, es decir de "EL NIÑO", "LA NIÑA" o condiciones normales (Magaña y Morales, 1998).

Los meses más cálidos son marzo, junio, julio y agosto, con una temperatura entre 14 y 15°C, y los meses más fríos son enero y diciembre, con una temperatura entre 11 y 12 °C, respectivamente.

3.3.4. SEMIFRÍO SUBHÚMEDO Cb'(w2)(w) ig

Es el más húmedo de los semifríos y tiene lluvias en verano. La precipitación del mes más seco registra un valor de 40 mm, y un porcentaje de lluvia invernal menor de 5%. Se ubica en pequeñas zonas del Suroeste y Sureste de la entidad, que comprenden secciones de los

municipios de Chiautempan, Teolocho, Huamantla, Calpulalpan y Trinidad Sánchez Santos. La precipitación media anual oscila de 700 a 1000 mm, y la temperatura media anual tiene un valor menor de 12°C.

La máxima precipitación se presenta en junio, con un rango que oscila entre 160 y 170 mm, y la mínima se registra en febrero y diciembre, con un valor menor de 10 mm.

Los meses más cálidos son abril, mayo y junio, con temperatura media de 13 a 14°C y los meses más fríos son enero y febrero, con medias que fluctúan entre 8 y 9°C.

3.3.5. FRÍOS Y MUY FRÍOS E(T)CH(w2)(w)ig

Se caracteriza porque en el mes más cálido se registra una temperatura media menor de 6.5°C, lo que sólo permite el desarrollo de asociaciones de líquenes, musgos y hierbas cuya estructura recuerda la tundra, típica cubierta vegetal de la llanuras árticas, que en nuestro país sólo se encuentra en la partes más altas de la montañas, encima de la línea arbolada. Este clima se localiza en la cumbre de la Malintzi y cubre alrededor del 1% de su superficie.

3.4. HELADAS Y GRANIZADAS

La descripción de las heladas y granizadas se realizan de acuerdo con las zonas definidas por el clima y se encuentran distribuidas de la siguiente manera:

3.4.1. HELADAS

En los climas templados, las heladas se presentan casi siempre con una frecuencia de 20 a 40 días al año, aunque hay años con heladas durante 140 y hasta 150 días. En los climas semifríos la frecuencia de heladas se encuentra dentro del rango de 80 a 100 días al año, con extremos hasta de 140 y 160 días durante algunos años. El clima frío se presenta sólo en un área de la parte alta de la Malintzi, donde se registran heladas con un rango de 140 a 160 días al año.

En algunas regiones las heladas se presentan durante todo el año. La máxima incidencia de este fenómeno se registra durante los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero.

3.4.2. GRANIZADAS

Graniza de 2 a 4 días al año en promedio sobre 40% del Estado aproximadamente, en especial en las zonas donde imperan climas templados subhúmedos y en una pequeña porción de aquellas en las que rigen los semifríos subhúmedos.

Un 30% del Estado tiene en promedio 2 días al año con granizo, en zonas de climas templados subhúmedos. En otras zonas en donde se presenta el mismo clima y que cubren el 15% del Estado, y en parte del área con clima semifrío subhúmedo, graniza de 4 a 6 días al año. En

10% del Estado, en otras zonas que también presentan climas templados subhúmedos, graniza de 6 a 8 días al año. En el 5% restante de la entidad, las granizadas se presentan de 8 a 16 días al año, como promedio. Este fenómeno no guarda un patrón de comportamiento definido y está asociado con el de lluvia. Su máxima incidencia se presenta en los meses de julio y agosto (INEGI 1986).

3.5. DESCRIPCIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS.

En la presente investigación, se consideraron ocho estaciones meteorológicas del Estado de Tlaxcala las de mayor período de registro. A continuación, se realiza una descripción de éstas, para definir su ubicación en relación con las coordenadas geográficas, se presenta: latitud norte, longitud oeste y altura sobre el nivel del mar en metros, de acuerdo a la CNA, indicando el período de registro correspondiente. Se requirió de la recopilación de datos de precipitación (PCP), temperatura mínima (TMÍN) y evaporación (EVAP) generadas en las mencionadas estaciones meteorológicas distribuidas en el Estado de Tlaxcala.

El proceso de esta información, consistió en la actualización de las series de tiempo de precipitación pluvial, temperatura mínima y evaporación de cada estación a escala diaria, además, se prepararon las series de tiempo antes mencionadas a escala pentadal.

Tabla 1. Coordenadas de las estaciones en estudio del Estado de Tlaxcala.

ESTACIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS LATITUD NORTE (ϕ), LONGITUD OESTE (ψ) Y ALTITUD (msnm)	PERÍODO
Apizaco	19° 25' 40", 98° 07' 51", 2408 msnm	1942 a diciembre de 2003
Atlangatepec	19° 33' 20", 98° 12' 10", 2489 msnm	1959 a diciembre de 2003
Españita	19° 27' 28", 98° 25' 20", 2340 msnm	1977 a diciembre de 2003
Huamantla	19° 18' 57", 97° 54' 40", 2500 msnm	1987 a diciembre de 2003
Ixtacuixtla	19° 19' 36", 98° 21' 58", 2240 msnm	1974 a diciembre de 2003
Tepetitla	19° 15' 41", 98° 22' 14", 2200 msnm	1974 a diciembre de 2003
Tlaxcala	19° 19' 26", 98 °14' 48", 2240 msnm	1948 a diciembre de 2003
Tlaxco	19° 35' 33", 98° 07' 32", 2473 msnm	1941 a diciembre de 2003

3.6. PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE DATOS.

Sobre la homogeneidad de datos registrados, existen diferentes métodos obtenidos para conocer la confiabilidad de los mismos, en este caso el método empleado fue el de Sved Eisenhart. Se utilizan los datos en orden cronológico y después de haber determinado el valor de

la mediana m , se cuenta el número de veces en que la serie cambia de valores superiores a inferiores de m y viceversa. El número total de cambios S se aumenta en una unidad y se compara con los límites de la distribución normal que se halla a partir de:

$$\begin{aligned} 1+1.1 (n/2) & \text{ Límite superior} \\ -1+0.9 (n/2) & \text{ Límite inferior} \end{aligned}$$

Donde n es el número de años.

Cuando S está entre los límites se considera que la muestra es homogénea con lo cual puede hacerse un análisis de probabilidad (Ortiz, 1987).

Después de realizar la prueba de homogeneidad de datos se procedió de la siguiente manera:

3.7. CÁLCULO DE PERÍODO DE CRECIMIENTO Y HÚMEDO

Se calcularon los periodos de crecimiento y húmedo para las estaciones meteorológicas de mayor registro de información y las que pasaron una prueba de homogeneidad de datos, con respecto al cultivo del maíz (Apéndice "A"), a escala pentadal para tener alta resolución en la variabilidad en la precipitación (PCP), evapotranspiración potencial (ETP), 50% de la evapotranspiración potencial (ETP/2), temperatura mínima (TMIN) en la estación, pues generalmente, los estudios realizados antes han sido a escala quincenal y mensual (Magaña y Morales, 1998), entre otros.

La escala pentadal se refiere al promedio de 5 cinco días, por ejemplo, del 1 de enero al 5 de enero es una pentada, por tanto un año tiene 73 pentadas, estos datos fueron ordenados de la siguiente manera para cada una de las variables climáticas (ver tabla 2).

Tabla 2. Datos ordenados de temperatura mínima a escala pentadal

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	ESTACIÓN APIZACO													
2	VARIABLE: TEMPERATURA MÍNIMA													
3														
4	PENTADAS													
5	AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12...	73
6	1954	-0.3	-1.9	8.4	12.2	10.6	10.4	11.0	10.4	6.6	10.6	9.6	8.4	3.6
7	1955	0.5	1.4	0.7	0.6	0.6	0.8	0.6	0.4	0.0	0.3	0.9	1.7	2.1
8	1956	1.8	-3.4	-5.4	-2.6	0.6	1.8	2.0	1.6	1.2	1.4	1.4	4.9	5.4
9	1957	1.0	-1.6	-2.0	-0.2	1.0	0.6	1.0	0.6	-0.6	1.4	3.2	1.0	0.4
10	1958	1.0	1.8	1.4	3.0	0.6	1.1	-0.2	0.2	-0.4	3.0	4.2	0.2	2.6
11	1959	1.6	2.6	0.0	3.4	1.8	0.6	1.3	0.4	1.9	2.0	1.9	2.7	3.3
12	1960	0.4	3.6	-0.4	-0.8	0.0	0.6	0.0	-1.4	-1.8	-0.8	2.2	0.0	0.6
13	1961	1.4	1.2	1.0	1.4	1.6	1.1	1.8	1.2	2.3	1.0	1.6	1.7	2.8
14	1962	1.1	0.4	-0.6	1.4	-1.0	-0.2	0.4	1.6	1.2	2.6	3.2	2.2	2.8
15	1963	-0.8	1.6	1.2	0.8	3.0	0.4	2.4	-2.3	1.0	0.8	2.2	3.2	6.3
16	1964	-0.6	4.2	0.6	3.4	4.0	3.6	4.0	3.8	2.8	2.5	0.2	1.8	4.1
17	1965	-0.4	0.6	1.0	-2.0	0.8	0.9	2.6	3.6	-0.1	2.6	3.4	0.0	1.0
18	1966	-1.0	-0.8	-0.6	-1.4	1.0	3.6	0.0	2.6	5.6	4.0	4.4	3.2	3.0
19	1967	-2.4	-5.4	1.0	0.6	0.8	1.0	-1.4	2.6	-1.6	-0.4	1.2	1.9	1.6
20	⋮													
21	2003	3.0	3.4	3.0	-1.2	1.2	2.0	3.2	4.2	2.6	4.2	4.0	4.4	4.0
22	PROM	0.3	0.2	0.1	0.2	1.0	1.1	1.4	1.3	1.3	1.8	2.3	2.0	2.8

Posteriormente se realizaron promedios por columna, de la misma manera este tratamiento se hizo para cada variable climática y así obtener los datos a graficar (ver tabla 3).

Tabla 3. Promedio de los datos pentadales.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	DATOS PARA PERÍODO DE CRECIMIENTO Y HÚMEDO													
2	ESTACIÓN: APIZACO													
3	ESCALA PENTADAL													
4														
5	VARIABLE	PENTADAS												
6		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12...	73
7	PCP	16	13	26	2.2	2.0	2.1	2.5	2.1	1.2	1.2	2.1	2.1	2.7
8	ETP	13.56	14.09	14.24	13.89	14.74	15.89	16.04	16.44	17.29	18.26	18.39	18.92	13.17
9	ETP/2	6.78	7.047	7.122	6.947	7.372	7.946	8.022	8.221	8.644	9.129	9.197	9.458	6.587
10	TMIN	0.3	0.1	0.0	0.2	1.0	1.0	1.4	1.2	1.3	1.8	2.3	2.0	0.6
11	PROB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Para el cálculo de los periodos de crecimiento, de la variable PCP se tomó la total acumulada y se promedió entre los años existentes de datos en periodos de 5 días (pentadas). Para calcular la ETP se utilizó el criterio de (Ortiz, 1981), donde se toma en cuenta el tipo de clima que predomina en una región determinada. Para estimar la ETP, se utiliza la siguiente fórmula:

$$ETP=0.7 (EVAP)$$

Donde:

EVAP= la evaporación media en la tina de tipo A (mm)

0.7= valor estándar para sitios semi-áridos.

Para calcular la ETP/2, simplemente se multiplica por 0.5 o se divide por 2 a la ETP. El valor de 0.5 no es casual, fue determinado considerando las necesidades de agua para la germinación de los cultivos.

Los promedios de PCP, ETP; ETP/2, y Temperatura Mínima, se graficaron para la estimación de la intersección de las curvas y diferenciar los periodos de crecimiento y húmedo, considerando el siguiente criterio.

3.7.1. EL PERÍODO DE CRECIMIENTO.

Para determinarlo está basado en el comienzo de la estación lluviosa, específicamente se obtiene cuando la PCP es igual a la ETP/2, y cuando la PCP es igual o mayor a la ETP/2, se satisface ese hecho.

3.7.2. EL PERÍODO HÚMEDO.

Un período de crecimiento normal se define cuando existe un período húmedo, este es el intervalo de tiempo en el cual la PCP es mayor a la ETP ($PCP > ETP$), cuando existe un período húmedo, no solamente se satisfacen las demandas de la evapotranspiración de los cultivos a una completa o máxima cobertura, sino que también el déficit de humedad que se encuentra en el perfil del suelo.

La terminación de la estación lluviosa. Esta termina cuando la $PCP=ETP/2$, después del período húmedo.

La terminación del período de crecimiento. Es cuando existe período húmedo, la terminación del período de crecimiento va más allá de la terminación de la estación lluviosa (aproximadamente 5 días después), ya que los cultivos frecuentemente maduran con la reserva de humedad almacenadas en el perfil del suelo (Ortiz, 1981) (Quinteros, 1991).

3.8. PROBABILIDAD DE LLUVIA

En estudios climáticos, la precipitación es a la que se le da mayor atención en general, se puede decir que cuando se investiga la variabilidad de la precipitación pluvial y la estimación de las probabilidades para su aplicación en la agricultura, se trata de saber con que frecuencia se recibirá determinada cantidad de lluvia y la frecuencia con la que se recibirá una cantidad superior o inferior a ella.

No tiene utilidad para fines agrícolas especificar una cantidad inferior al 10% de precipitación (1 de cada 10 años) o superior al 90% (9 de cada 10 años).

Con frecuencia los grados de probabilidad que se adopten para el pronóstico de la precipitación dependen de consideraciones económicas, así, por ejemplo, se puede aceptar que un cultivo fracase por falta de agua de 1 de cada 5 años o de 1 de cada 10 años, etc.

Las consecuencias de estos análisis son evidentes en las prácticas agrícolas, una vez que se conoce la demanda mínima de lluvia de determinado cultivo, se pueden evaluar rápidamente los riesgos de establecer dicho cultivo en una región.

Esto constituye desde luego la primera medida que se deberá adoptar, para después, investigar como se distribuye la lluvia durante el período de crecimiento del cultivo y ver la capacidad de almacenamiento del agua en el suelo.

La seguridad del análisis tiene dos restricciones:

Su validez en cuanto a extensión es limitada, especialmente en áreas montañosas y las series de observaciones de lluvia de menos de 10 a 15 años no contienen suficientes datos para llegar a conclusiones definitivas.

También para calcular la probabilidad de heladas, se emplearon los mismos criterios y restricciones que la probabilidad de lluvia, como los grados de la probabilidad que debe de ser a 80%, ya que este evento puede ocasionar grandes pérdidas a los productores, por lo mismo es de gran importancia.

3.8.1. DISTRIBUCIÓN NORMAL

La distribución normal es una de las funciones más sencillas que se utiliza para deducir las probabilidades de lluvia. Las principales características de la distribución normal son las siguientes.

Los datos de precipitación se ordenan de mayor a menor.

Se calcula Z con la media de la precipitación (\bar{x}) y la desviación estándar σ de la misma.

$$Z = (p - \bar{x}) / \sigma$$

Ir a tablas de Z para calcular la probabilidad

3.8.2. DISTRIBUCIÓN ACUMULATIVA

La distribución acumulativa da la probabilidad mediante la fórmula:

$$F = \frac{N}{n+1}$$

Donde:

N = es el número de orden y n el número de años.

F = es la probabilidad de ocurrencia de una cantidad de lluvia mayor o igual a un valor establecido $P(x \geq x_0)$

3.8.3. DISTRIBUCIÓN GALTON

La distribución Galton se aplica comúnmente a datos asimétricos, usando una Z que se calcula de la siguiente manera.

$$Z = (\text{Log } X/G) / (\text{Log } Gg).$$

Donde X son los datos de precipitación originales, G es la media geométrica y Gg la desviación geométrica.

y

$$G = [(X_1)(X_2) \dots (X_n)]^{1/n}$$

También

$$\text{Log } G = [1/n] \Sigma \text{Log } X_i$$

y

$$\text{Log Gg} = \sqrt{\sum (\log X_1 - \log G)^2 / n}$$

3.8.4. DISTRIBUCIÓN GAMMA INCOMPLETA

Cuando una serie de datos asimétricos no puede corregirse con la distribución anterior, Galton, se pueden usar otras funciones como la Gamma-Incompleta.

1. La distribución Gamma se calcula de la siguiente forma.

$$F(x) = \left[1 + X/\beta + 1/2!(X/\beta)^2 + \dots + 1/\alpha!(X/\beta)^\alpha \right] e^{-PCP/\beta}$$

$$\alpha = X^2 / S^2 \quad \text{y} \quad \beta = S^2 / x$$

2. Donde X es el promedio de la muestra y S^2 la varianza de la muestra.

Las restricciones para la aplicación de esta fórmula son:

- a) Los valores de precipitación necesitan ser mayores o iguales a cero.
- b) α es entero y positivo.

3.9 PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV.

Existen varias pruebas para elegir a la distribución de mejor ajuste, de las cuales la más usada es la de Kolmogorov-Smirnov. La prueba se basa en la fórmula.

$$D = \text{máxima} [F_0(x) - S_N(x)]$$

Donde:

$F_0(x)$ = es la probabilidad de la distribución que se desea probar su ajuste (Normal, Galton, Gamma-Incompleta).

$S_N(x) = K/N$, K es el número de orden y N el número total de observaciones.

D = es la máxima diferencia o desviación entre $F_0(x)$ y $S_N(x)$

El valor obtenido de D, se compara con el valor de D tabulado, que se escoge en función de un nivel de probabilidad α y el número total de observaciones N.

Sí $[D \text{ máx}] < [D \text{ tablas}]$ entonces existe buen ajuste.

Los resultados de esta prueba, nos muestra que método tiene “un mejor ajuste” en este trabajo el mejor método ajustado fue la Distribución acumulativa.

3.10. FILTRADO DE DATOS CON SERIES FOURIER.

Como el procedimiento para determinar período de crecimiento y período húmedo, requiere de encontrar los puntos de intersección entre la curva de la PCP y la curva de la ETP/2 y la curva de la PCP con la curva de la ETP total, respectivamente, resulta en algunas ocasiones difícil de asignar un período de crecimiento y húmedo pues debido a la alta variabilidad en la PCP, al forzamientos de gran escala y a forzamientos locales con diferentes periodos de duración, es necesario aplicar un método matemático que permita representar, sin pérdida alguna de información a cada una de las series de tiempo graficadas y que a su vez permita “filtrar” la variabilidad de alta frecuencia, asociada a eventos especiales como, brisa de valle, brisa de montaña, orografía, etc. Por lo que en esta investigación se aplicó el método conocido como análisis de Fourier. El cual se describe en el (Apéndice B).

Con este método, puede eliminarse la variabilidad de alta frecuencia y sólo trabajar con la variabilidad de baja frecuencia. Como la variable que se está analizando es precipitación, entonces interesa identificar los controles dinámicos de gran escala con duración en meses, por ejemplo, en este análisis se utilizó la presentación de 9 armónicos, pues, al tomar en cuenta sólo este, facilita determinar que la Canícula tiene una duración de aproximadamente 1 mes. Desde el punto de vista climatológico la representación de la precipitación con nueve armónicos es adecuado, pues al final de julio e inicio de agosto contiene toda la información acerca de los controles de baja frecuencia.

El filtrado de datos se obtiene utilizando el paquete computacional “STAT PACK”. Este es un paquete estadístico que cuenta con diferentes métodos matemáticos y estadísticos (Series de Fourier). Las series de tiempo ordenadas en 73 pentadas fueron introducidas a este programa, el cual el análisis generó 35 armónicos. En la Fig. 2. se muestran solo algunos ejemplos del comportamiento de los armónicos.

Analizando la interpretación de los armónicos se ve suficiente el considerar sólo nueve armónicos ya que con este componente se está filtrado la variabilidad de alta frecuencia, que corresponde a eventos de poca duración, he incluso la orografía, por lo que, con el noveno armónico se presenta la variabilidad en el clima que está determinada por los sistemas de gran escala como son EL NIÑO/LA NIÑA, con una duración de 1 año y la Canícula que se presenta año con año, que ésta se hace presente en Tlaxcala.

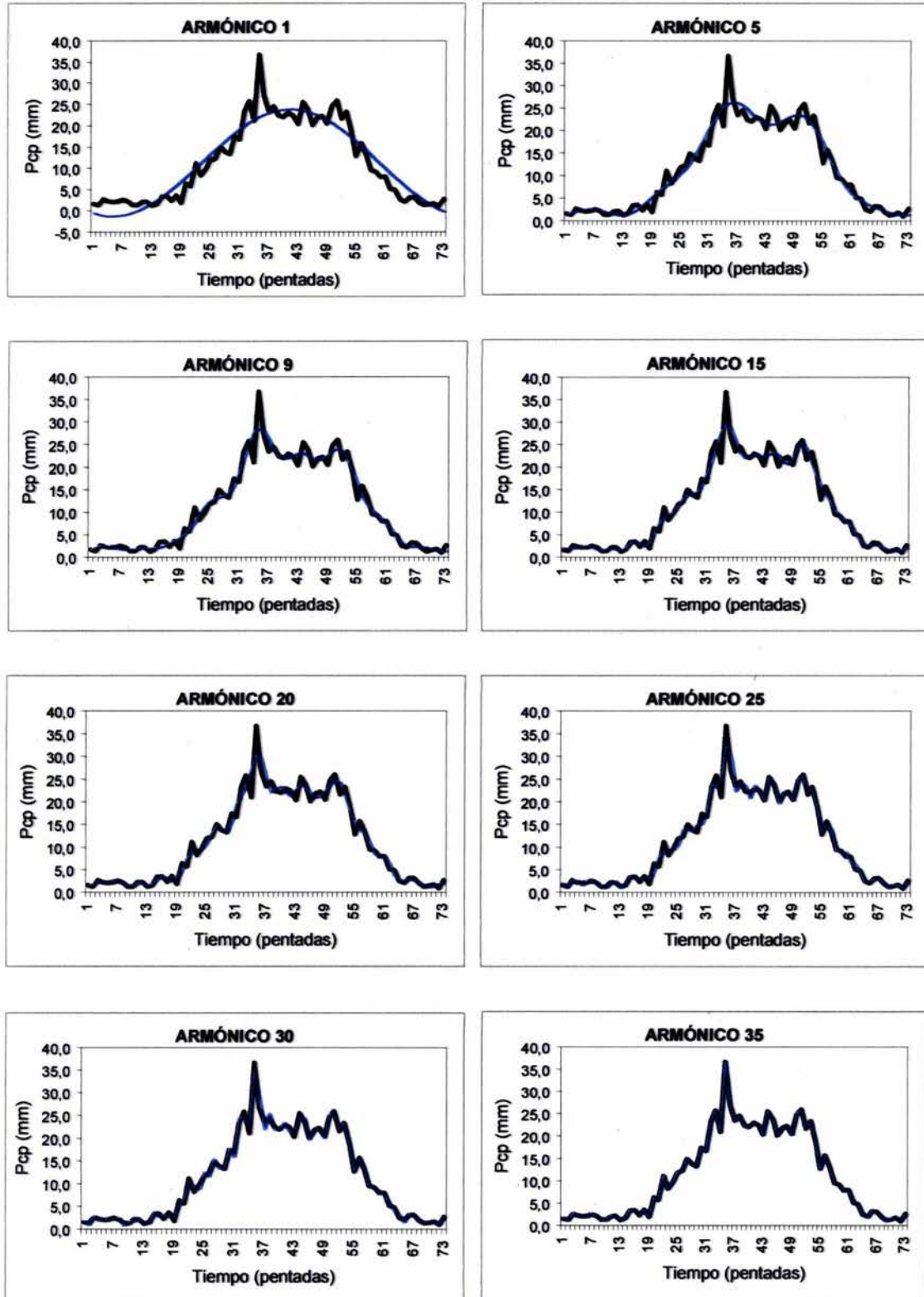


Figura 2. Representación de los armónicos de la serie de Fourier para la precipitación, Apizaco (1942-2003).

Debido a la alta variabilidad en las series de tiempo, por la alta resolución, es necesario filtrar o suavizar las series de tiempo, por lo que se aplicó un análisis de series de Fourier, considerando un número de armónicos, que permite, por un lado, ver la variabilidad de la precipitación con énfasis en la Canícula, y por otro, eliminar aquella variabilidad de alta frecuencia, que para la escala que se está manejando, contribuye poco relativamente.

Se realizó un análisis sobre la amplitud de los máximos relativos, posteriormente, éstos se regionalizaron presentándose así, la distribución de la Canícula, en forma similar con respecto a la amplitud de los máximos relativos.

Para explicar la regionalización del comportamiento de la Canícula en el Estado de Tlaxcala, se propone la Hipótesis de que el calentamiento del continente asociado a la parte Norte de la República Mexicana y al Sur de los Estados Unidos, forza, tanto al flujo del Oeste, generando el monzón Mexicano, como al flujo del Este generando una confluencia complementaria al monzón Mexicano, y esto a su vez disminuye la posibilidad de presentación de lluvias en Tlaxcala.

3.11. REANÁLISIS.

Debe considerarse una metodología, que incluya, tanto características a nivel regional, como a nivel continental, de acuerdo a la hipótesis planteada en el párrafo anterior. Aplicando el banco de datos de reanálisis el cual se obtiene a través de la Internet en la siguiente dirección <http://www.cdc.noa.gov/composites/>, cuando se entra a la dirección antes citada, se seleccionan las siguientes instrucciones:

Variable de estudio

Which: variable zonal wind

Color y Contorno

Color

rojo

Shaded

Mes de análisis

agosto

agosto

Tipo de proyección

If custom

Longitud

105

55

Latitud

0

30

Nivel y espesor

1000 mb

10 mb

Crear mapa

Creat

Plot

Para salvar los datos se posesiona el cursor en el mapa y se clica botón derecho, seleccionando mapas de bips bmp, se continua asignando un nombre con extensión .bmp y se guarda.

Para obtener datos diarios, se siguen las instrucciones.

To
Reference

Plot

Daily Data

Se le asignan los días que se quieren analizar.

First date 20020204

Which variable

Rain

Custom

Plot Type

Mean

105

55

0

30

Scale

200

Plot Creat

Los datos se guardaron asignando un nombre con la extensión .bmp.

Posteriormente se realizó un estudio del campo de movimiento del Este en niveles bajos, con énfasis en la recurva hacia Noroeste-Norte del Jet.

Se presenta una explicación sobre la recurva del flujo del Este, como parte complementaria del monzón Mexicano.

Finalmente, para probar la solidez, de los resultados en las conclusiones dinámicas, sobre la recurva del flujo del Este, con la parte complementaria del banco de datos, se preparó un pronóstico para el invierno 2003-2004.

4. RESULTADOS

4.1. EL FILTRADO DE DATOS Y DETERMINACIÓN DE LOS PERIODOS DE CRECIMIENTO Y HÚMEDO.

Se muestra el comportamiento, a lo largo del año, de la precipitación (PCP), temperatura mínima (TMIN), evapotranspiración potencial (ETP), evapotranspiración potencial al 50% (ETP/2) y la probabilidad de la precipitación al 80% (PROB80%), donde la precipitación tiene dos máximos, pero el primero es mayor con respecto al segundo (Fig. 3a).

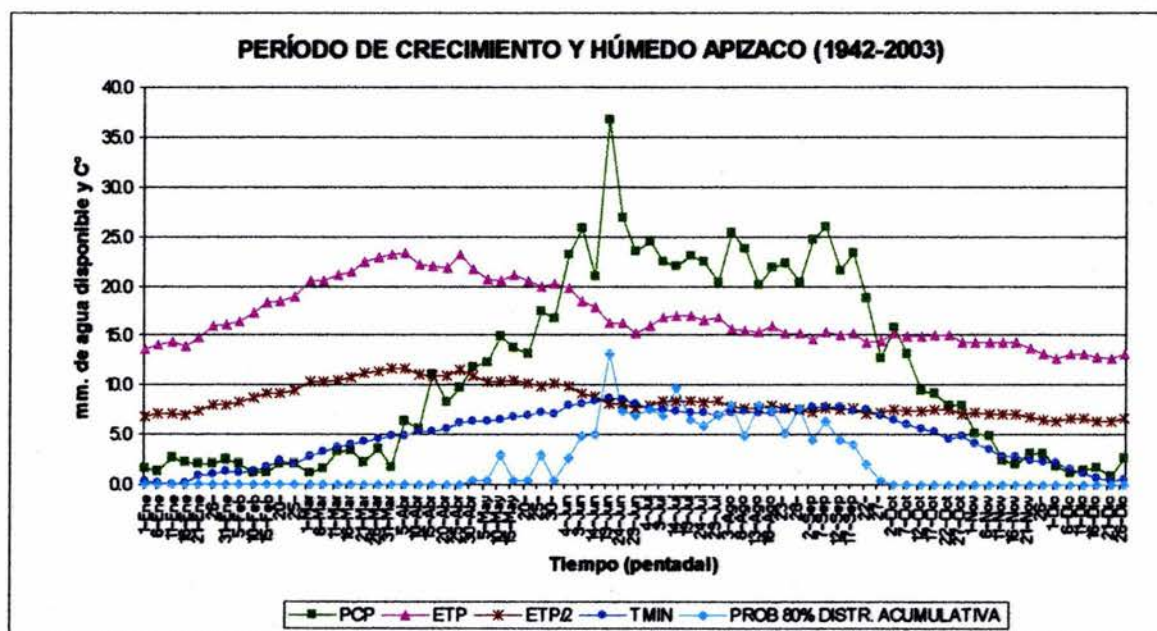


Figura 3a. Determinación de los periodos de Crecimiento y Húmedo, sin filtrar.

En la Fig. 3b se presenta la aplicación del método de Fourier, es decir, la representación de una serie de tiempo discreta de la PCP promedio para la estación de Apizaco con un período de 62 años (1942-2003), el promedio se realizó dividiendo en 73 partes, en pentadas, y se representa por medio de armónicos (componentes).

En las figuras 3a-3b se presenta, la PCP media con una línea continua verde, y en la Fig. 3b representa el número de armónicos incluidos para simular matemáticamente la curva observada. Cabe aclarar que el primer armónico incluye una variabilidad con un período igual a 12 meses, de tal forma que el segundo armónico representará una variabilidad de 6 meses, el tercero representa una variabilidad de 3 meses y el cuarto armónico representa una variabilidad de 1.5 de meses, etc.

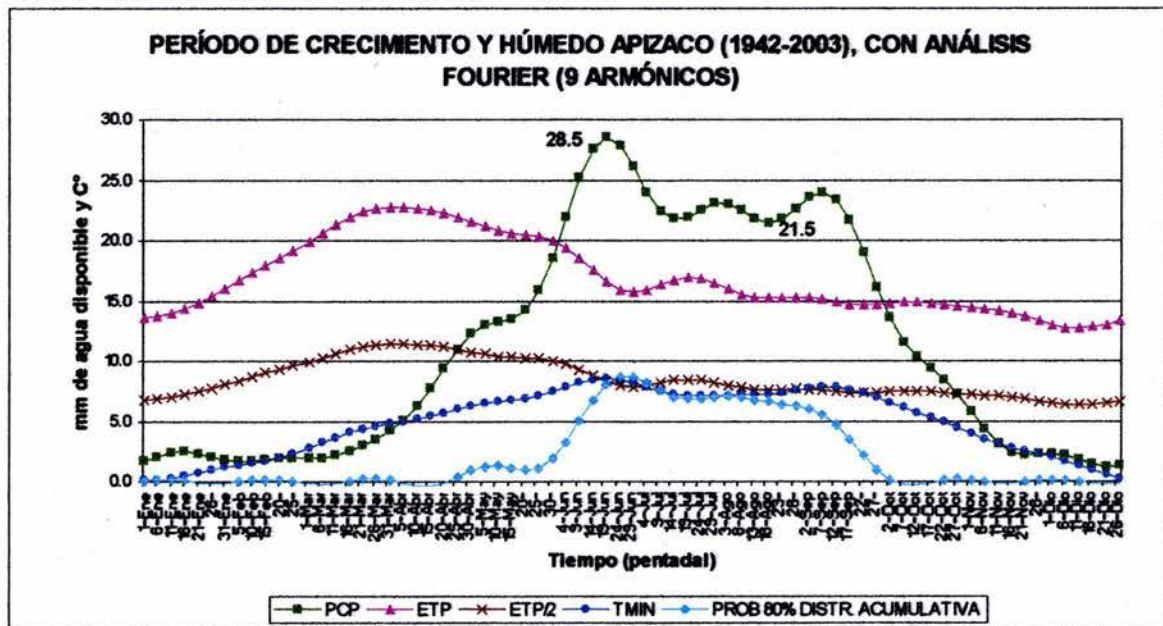


Figura 3b. Determinación de los periodos de Crecimiento y Húmedo, con filtrado.

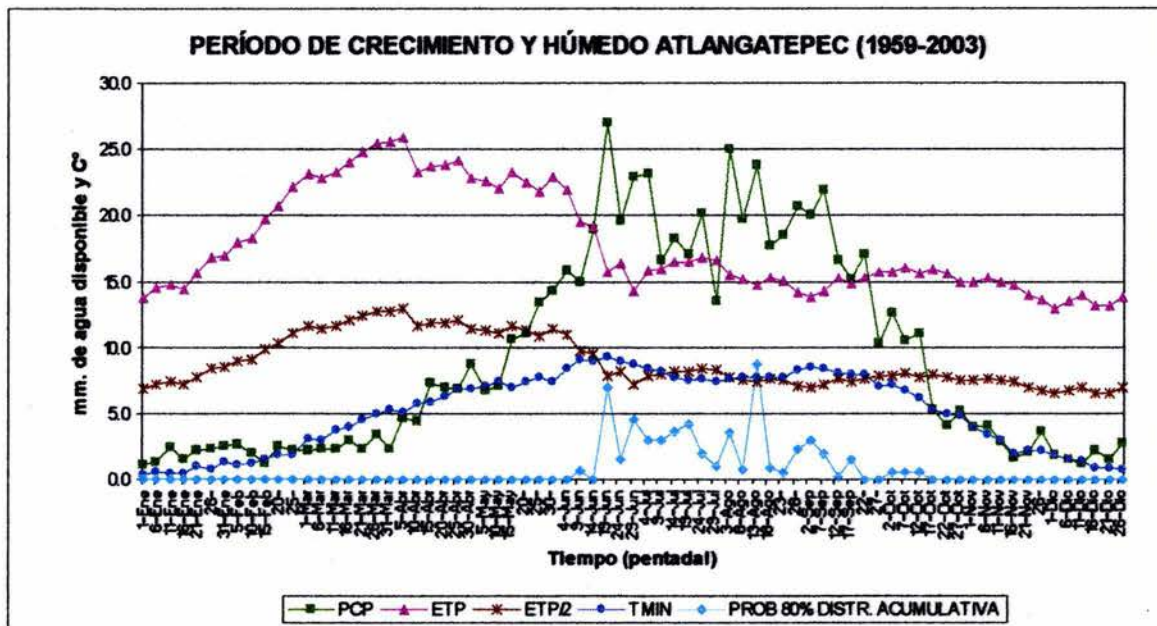


Figura 4a. Determinación de los periodos de Crecimiento y Húmedo, sin filtrar.

En el caso de Atlangatepec, también se presentan dos máximos y el primer máximo es mayor (Fig. 4a).

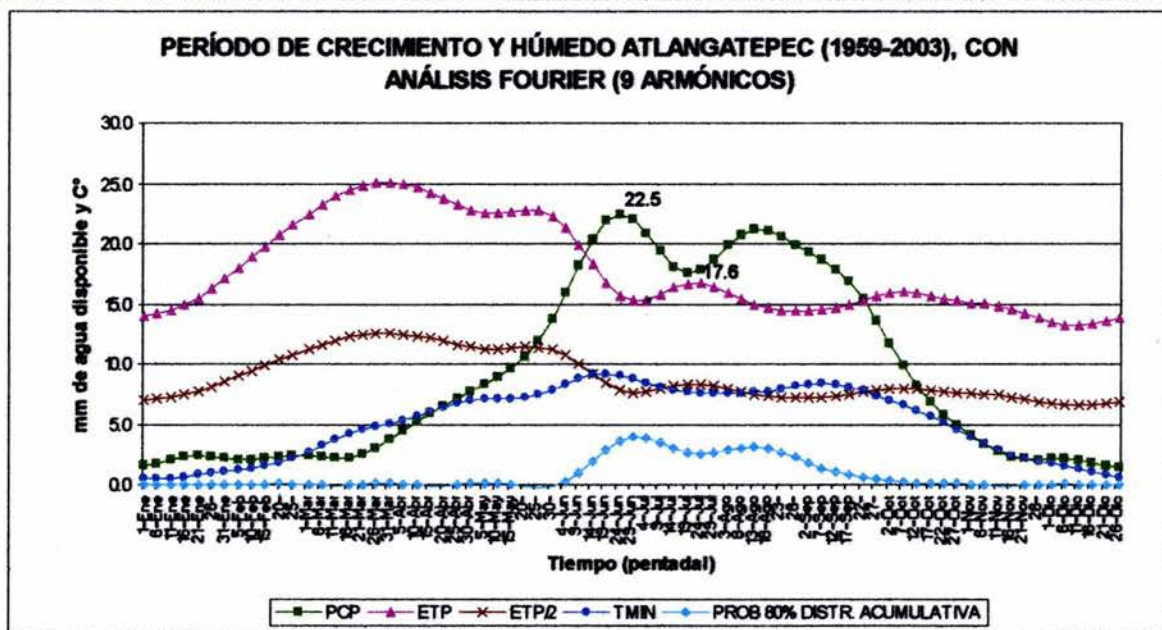


Figura 4b. Determinación de los periodos de Crecimiento y Húmedo, con filtrado.

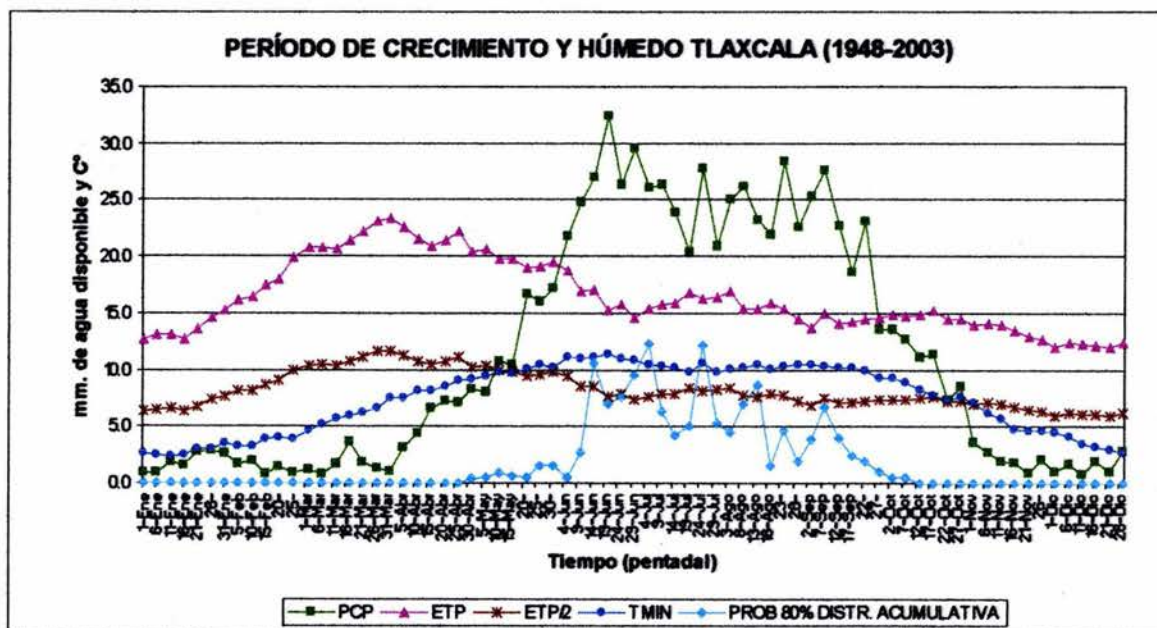


Figura 5a. Determinación de los periodos de Crecimiento y Húmedo, sin filtrar.

Tlaxcala Capital, muestra un primer máximo mayor, con respecto al segundo, como puede apreciarse en la Fig. 5a.

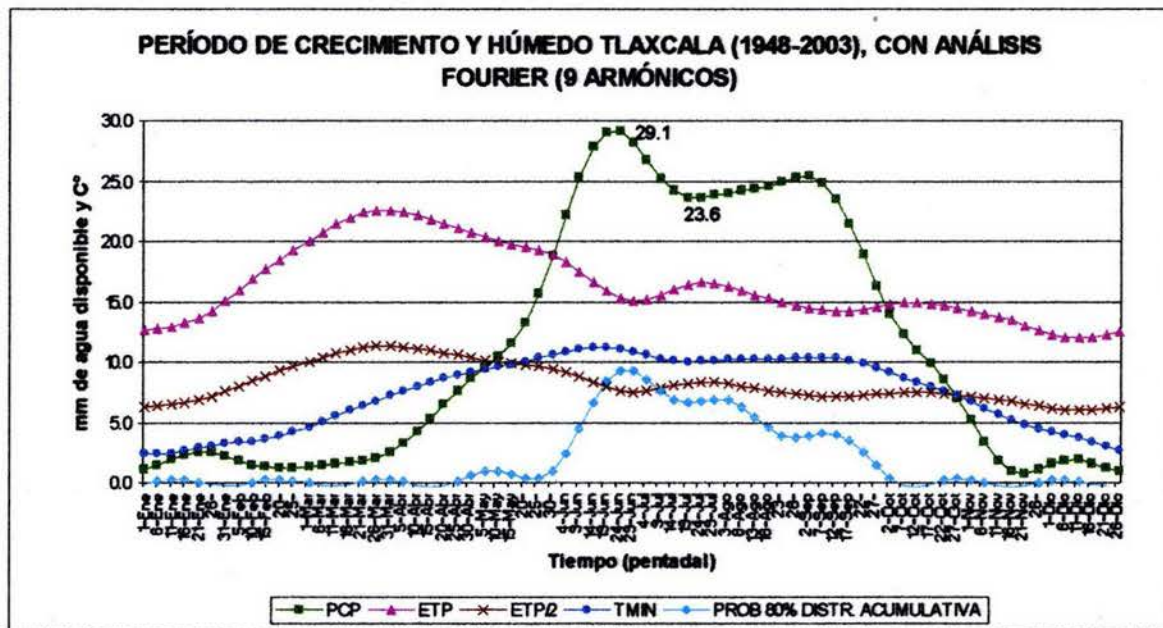


Figura 5b. Determinación de los periodos de Crecimiento y Húmedo, con filtrado.

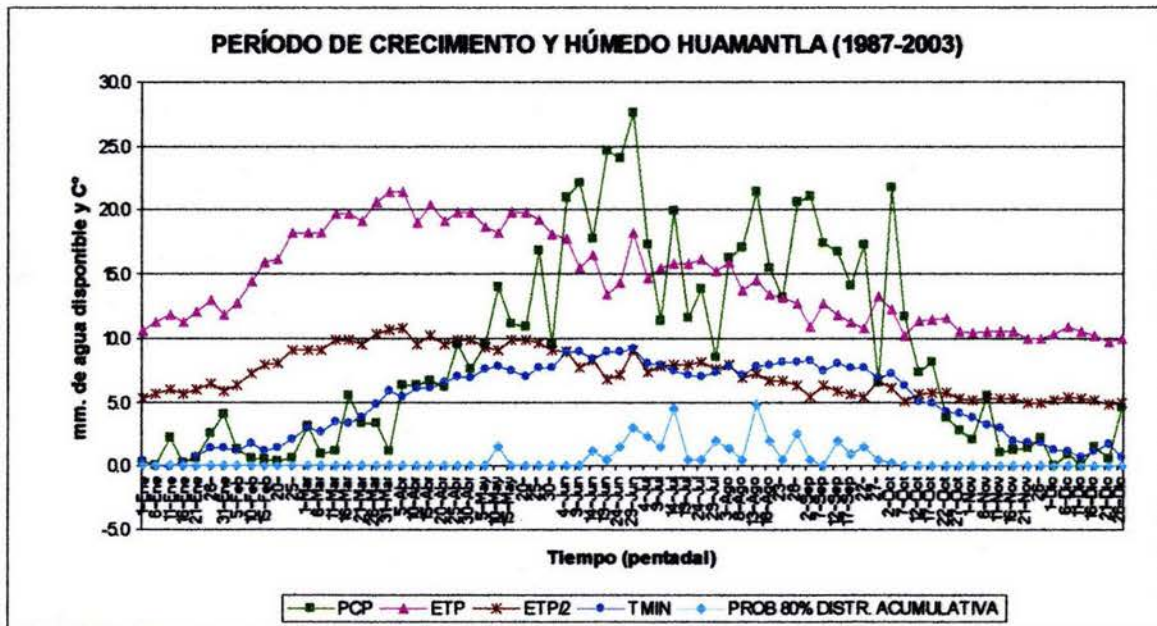


Figura 6a. Determinación de los periodos de Crecimiento y Húmedo, sin filtrar

Cabe destacar la importancia de haber representado a las series de tiempo, por medio de armónicos, pues la alta variabilidad en el caso de Huamantla, Fig. 6a, no permite identificar los máximos relativos y aún su diferencia de intensidad. También, se observan los máximos relativos, con mejor representación.

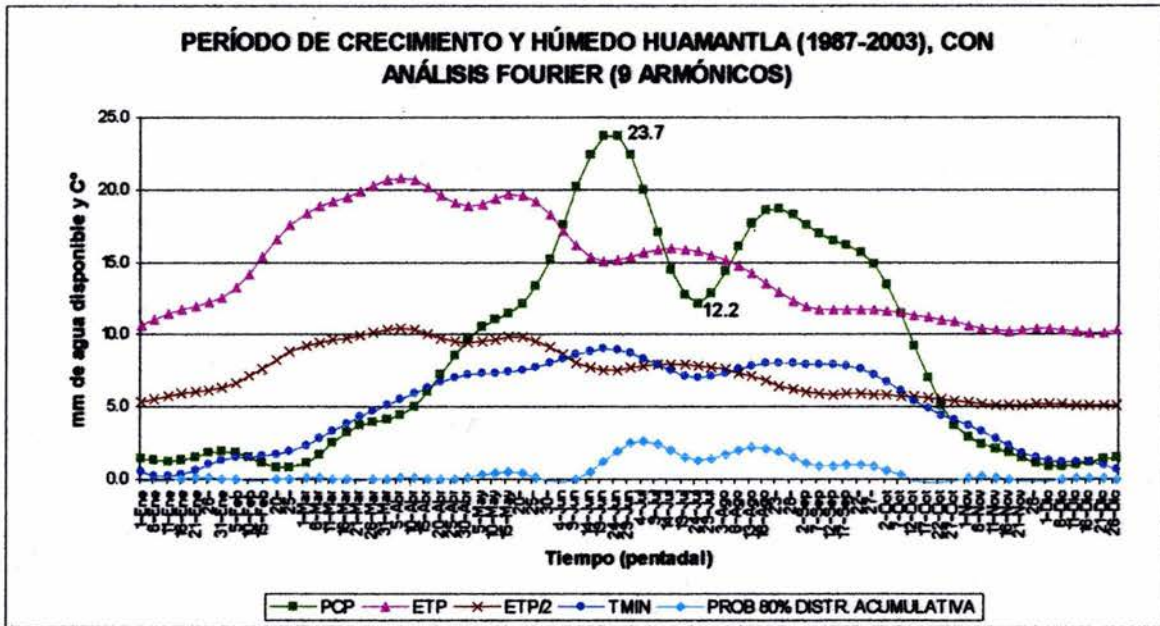


Figura 6b. Determinación de los periodos de Crecimiento y Húmedo, con filtrado.

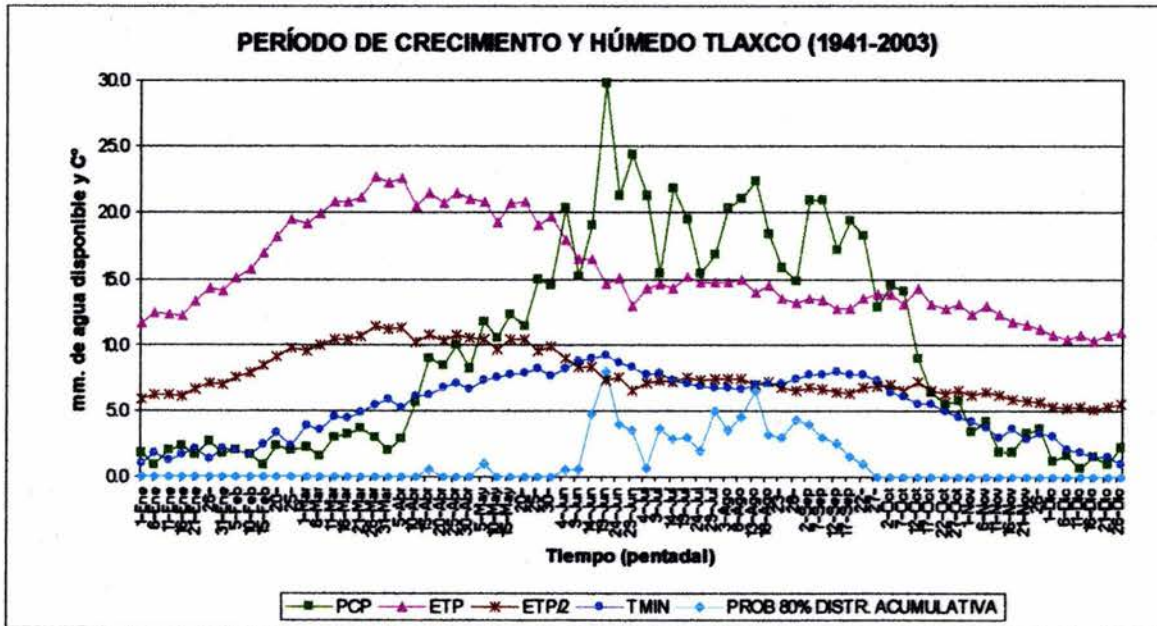


Figura 7a. Determinación de los periodos de Crecimiento y Húmedo, sin filtrar

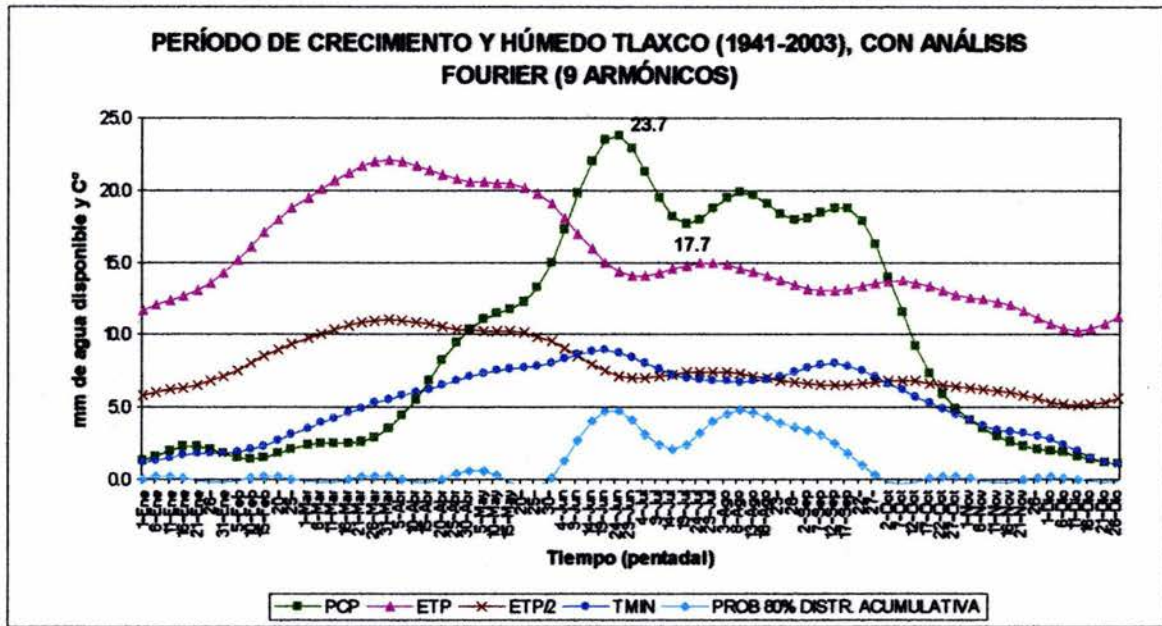


Figura 7b. Determinación de los periodos de Crecimiento y Húmedo, con filtrado.

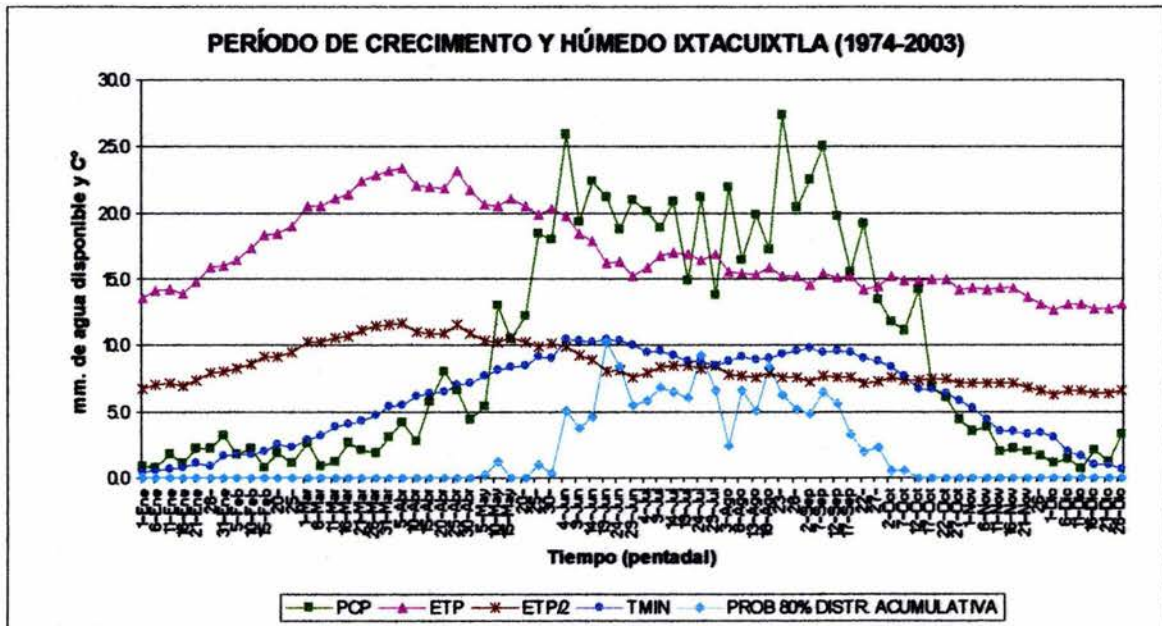


Figura 8a. Determinación de los periodos de Crecimiento y Húmedo, sin filtrar

La estación de Ixtacuixtla, presenta el segundo máximo mayor que el primero, y muestra una segunda Canícula ligera, (Fig. 8a).

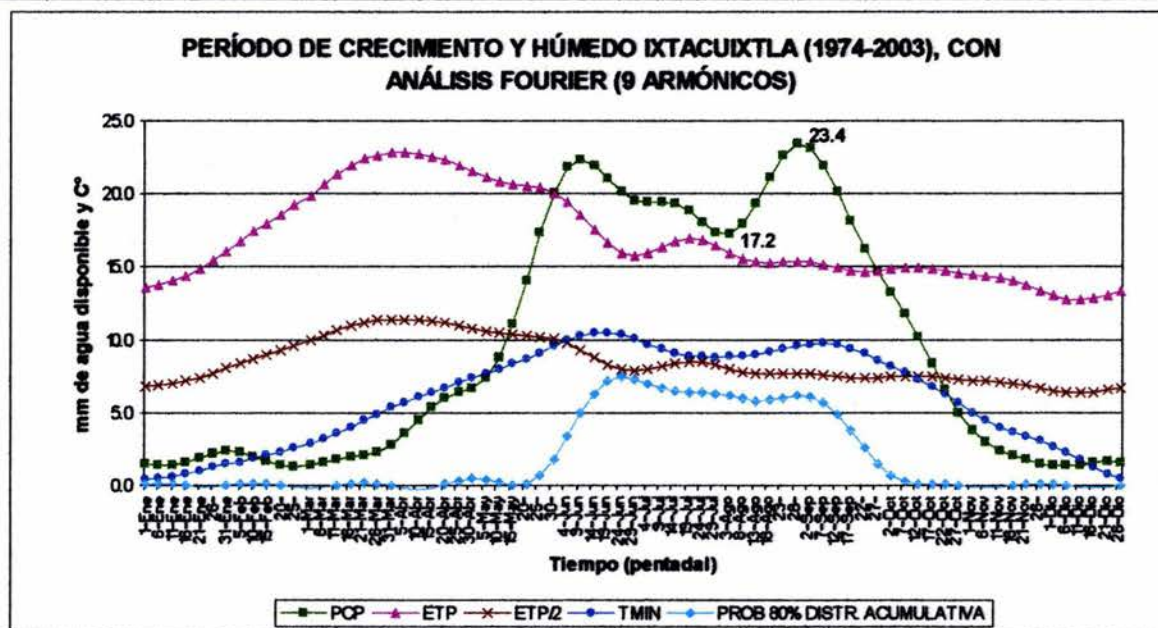


Figura 8b. Determinación de los periodos de Crecimiento y Húmedo, con filtrado

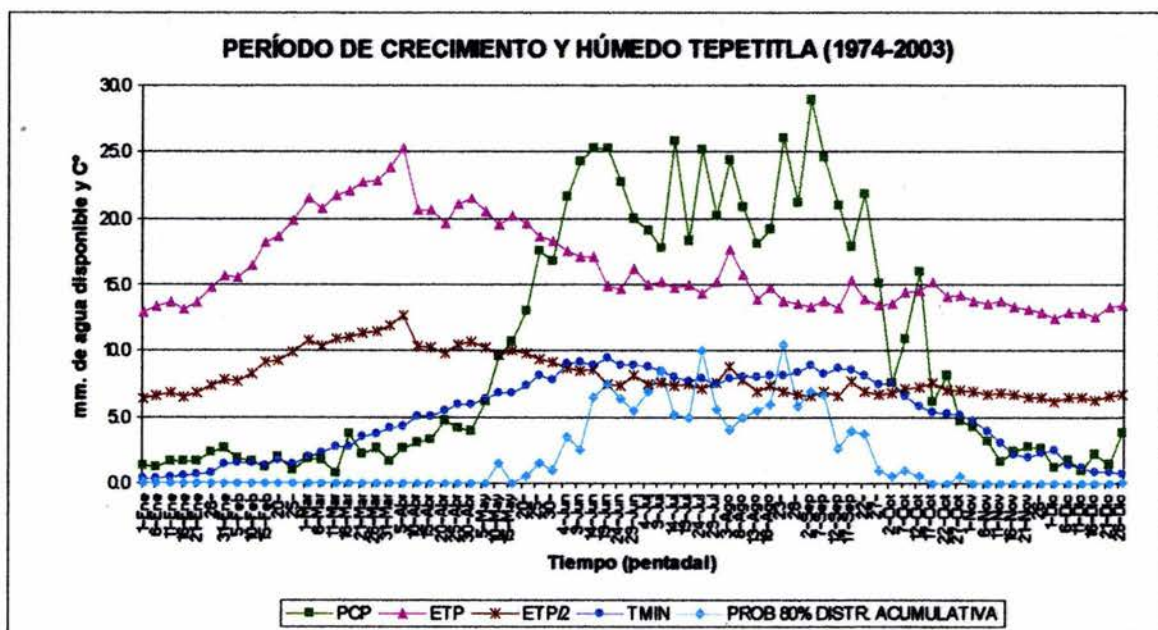


Figura 9a. Determinación de los periodos de Crecimiento y Húmedo, sin filtrar

La única estación que registra plenamente dos Canículas, es Tepetitla y con una tendencia de que el tercer máximo relativo sea el mayor, tal y como es claro en la Fig. 9a.

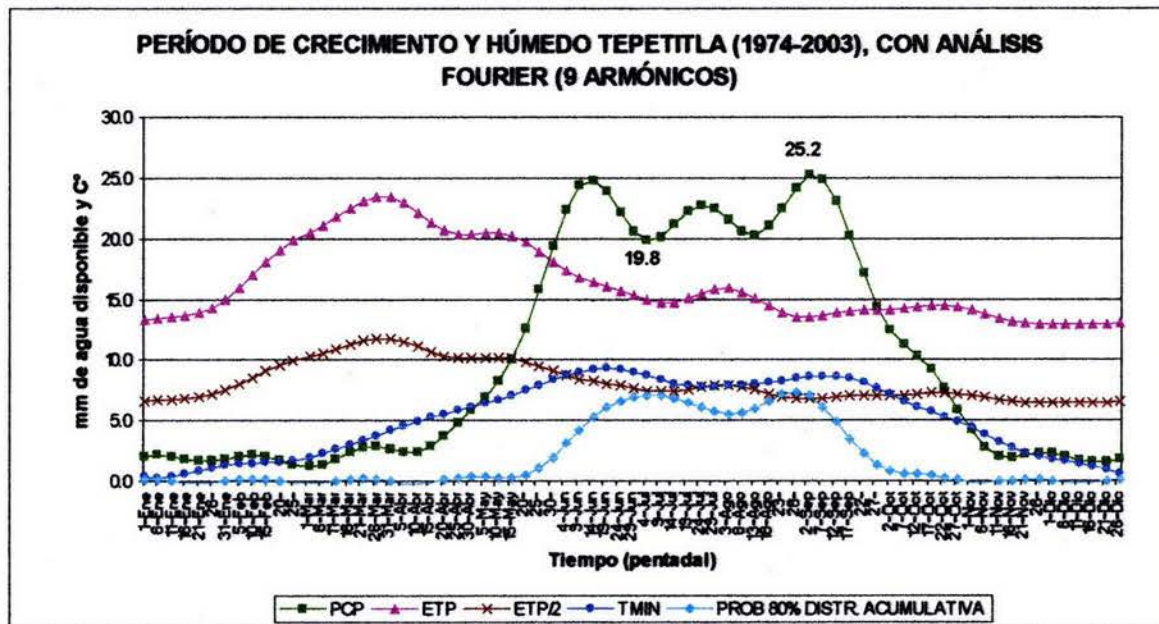


Figura 9b. Determinación de los periodos de Crecimiento y Húmedo, con filtrado.

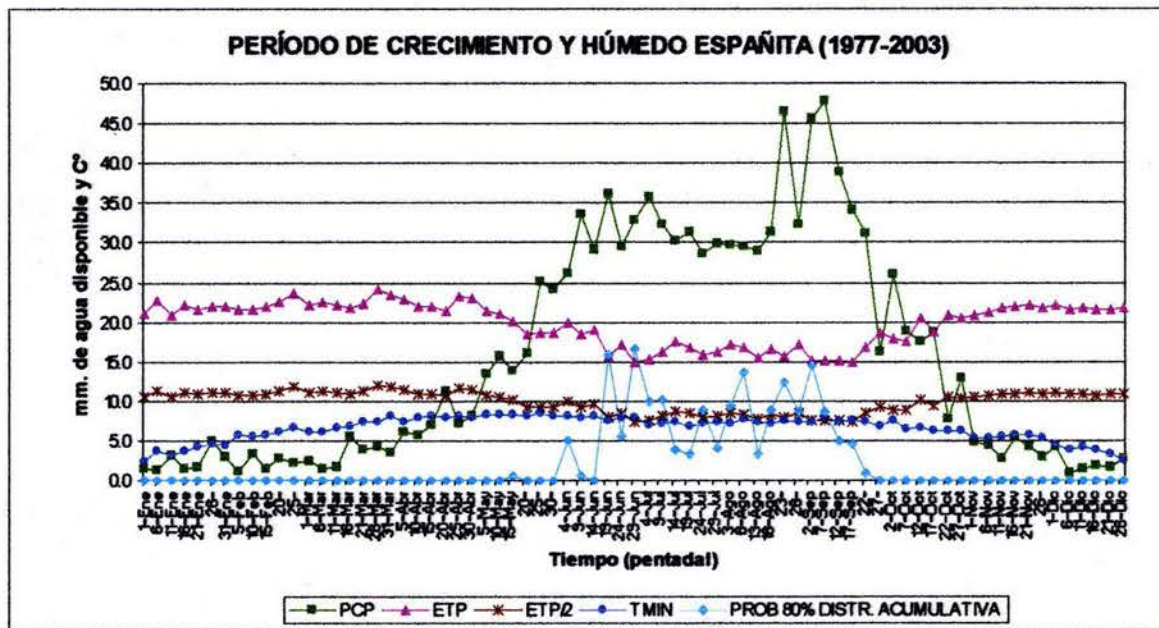


Figura 10a. Determinación de los periodos de Crecimiento y Húmedo, sin filtrar

El segundo máximo relativo alcanza una amplitud extraordinaria para la estación de Españita, nótese que en ambas figuras 10a y 10b se marca un cambio de régimen en la interacción océano-atmósfera, que puede ser la actividad ciclónica, (Tabla 6).

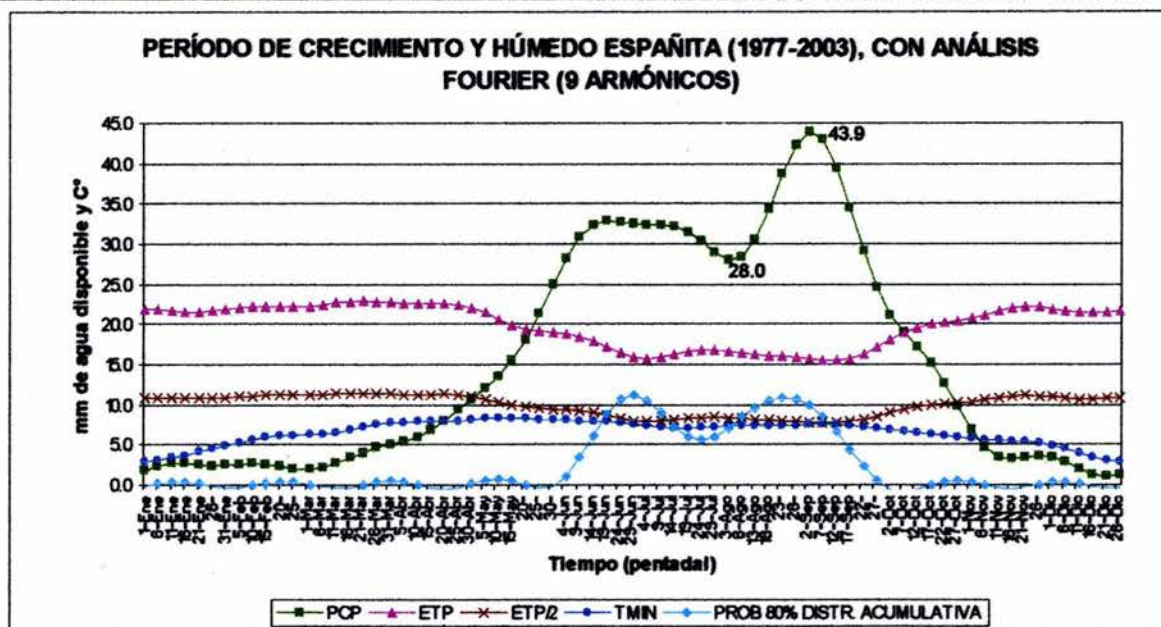


Figura 10b. Determinación de los periodos de Crecimiento y Húmedo, con filtrado.

En las figuras 3a, 4a, 5a, 6a y 7a Apizaco, Atlangatepec, Tlaxcala, Huamantla y Tlaxco respectivamente, se presenta el comportamiento de la precipitación, temperatura mínima, temperatura base del maíz, la evapotranspiración potencial y al 50%, mostrando el mismo comportamiento los máximos de la precipitación.

Para las estaciones de Ixtacuixtla, Tepetitla y Españita figuras. 8a, 9a, y 10a, respectivamente, sin embargo, el comportamiento de los máximos de la precipitación es inverso, es decir, ahora ocurre el máximo mayor al final de la temporada de lluvia.

Se puede considerar una regionalización del comportamiento de la Canícula, es decir, para las estaciones de Ixtacuixtla, Tepetitla y Españita, el máximo relativo ocurre en la segunda fase, mientras que para Apizaco, Atlangatepec, Huamantla, Tlaxcala y Tlaxco el máximo relativo ocurre en la primera fase.

Es importante resaltar esta regionalización del Estado de Tlaxcala, en dos zonas: Este y Oeste, en la primera ocurre el máximo mayor al inicio de la temporada de lluvia, y en la zona oeste al final.

Se observa, que se puede regionalizar este comportamiento, ver índices (Tabla 3.) para Españita, Ixtacuixtla y Tepetitla y para Apizaco, Tlaxco y Huamantla.

Tabla 3. Periodos de Crecimiento (IITE) * (IATH)**

Estación	Inicio (pentada)	Final (pentada)	Diferencia (días)	Total
Ixtacuixtla	28	60	33	165
Tepetitla	28	60	33	165
Españita	25	61	37	185
Apizaco	24	61	38	190
Tlaxco	25	60	35	175
Huamantla	25	60	35	175

* Índice Ixtacuixtla, Tepetitla y Españita.

** Índice Apizaco, Tlaxco y Huamantla.

Tabla 4. Periodos Húmedos.

Estación	Inicio (pentada)	Final (pentada)	Diferencia (días)	Total
Ixtacuixtla	31	55	25	125
Tepetitla	31	55	25	125
Españita	30	56	28	140
Apizaco	32	56	25	125
Tlaxco	32	56	25	125
Huamantla	33	57	22	110

Tabla 5. Valores extremos de los máximos relativos que rodean a la Canícula (IITE)

Estación	Valor mínimo en (mm)	Valor máximo en (mm)	Diferencia en (mm)
Ixtacuixtla	17.2	23.4	6.2
Tepetitla	19.8	25.2	5.4
Españita	28.0	43.9	15.9
Apizaco	21.5	28.5	7.0
Tlaxco	17.7	23.7	6.0
Huamantla	12.2	23.7	11.5

Como puede verse en los comportamientos de los máximos relativos de la precipitación, puede regionalizarse en dos tipos de comportamiento: la zona Apizaco-Tlaxco-Huamantla, (IATH), y la zona Ixtacuixtla-Tepetitla-Españita, (IITE). Esta regionalización se ve reforzada por las longitudes de los periodos de crecimiento y húmedos.

En ambas regiones, se presentan dos valores máximos relativos en la precipitación, en la zona (IATH) el primer máximo es mayor que el segundo, y para la zona (IITE), el segundo máximo es mayor que el primero:

¿Cómo explicar que en la región (IATH) alcanza su primer máximo en precipitación en la primera etapa de la época de lluvia, sin embargo, el segundo máximo en la precipitación es alcanzado en la segunda etapa de la época de lluvia en la zona (ITE)?

4.2. SE PLANTEA LA SIGUIENTE HIPÓTESIS:

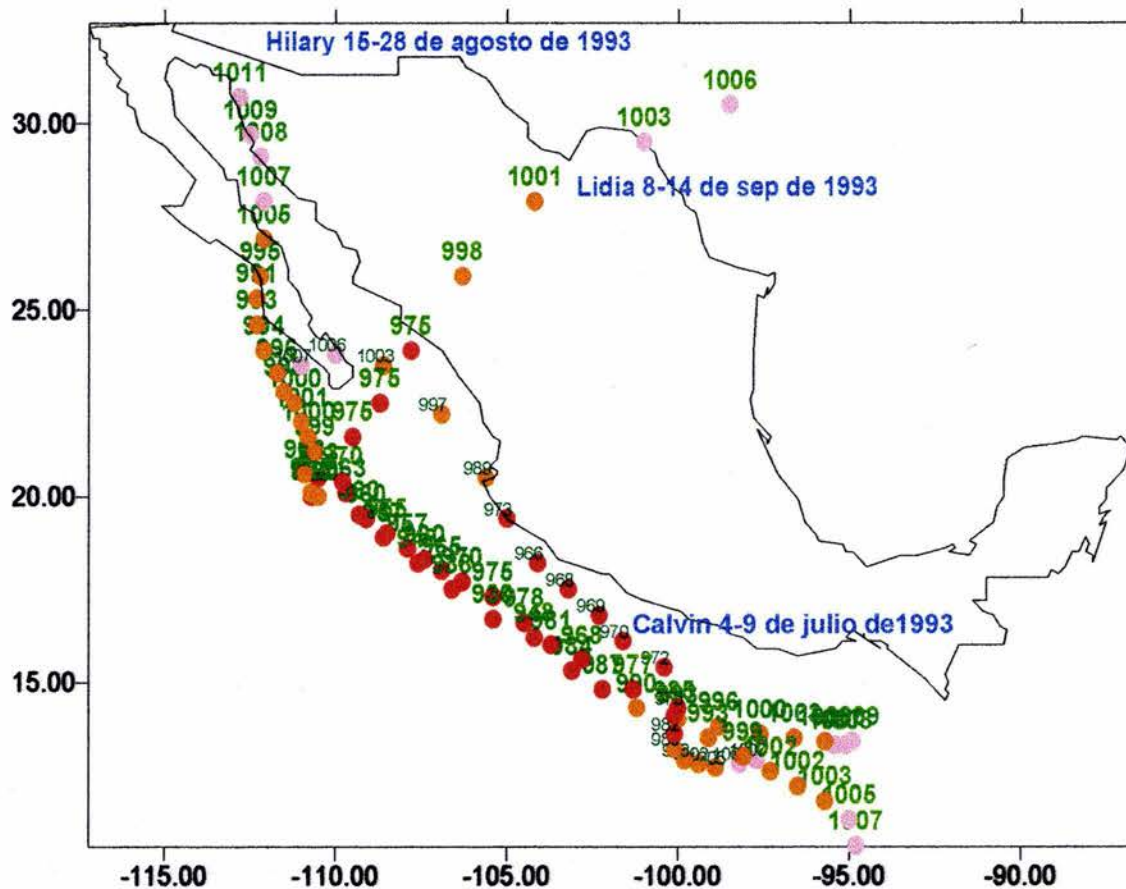
El origen de la lluvia en el Estado de Tlaxcala es por forzamiento orográfico del campo de vientos del Este, por la Sierra Madre Oriental en la parte Este del Estado y por forzamiento orográfico por la Sierra Madre Occidental, tanto del flujo del Este como del Oeste. Además, se tiene una gran contribución por actividad de huracanes, durante la segunda mitad de la época ciclónica. Es muy importante resaltar que los huracanes sobre el Océano Pacífico del Este “costean y recurvan”, siguiendo una trayectoria por lo general al Este (Tabla 6.).

**Tabla 6. Distribución de los huracanes a escala decadal.
Ciclones tropicales en la Península de Baja California de 1950-2003**

	•	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
• 1950-1959---13	•	2	1	2	4	3	1
• 1960-1969---13	•	0	0	3	8	2	0
• 1970-1979---13	•	0	0	2	7	3	1
• 1980-1989---13	•	0	1	3	7	2	0
• 1990-1999---12	•	0	1	3	7	1	0
• 2000-2003----5	•	0	0	1	4	0	0
• total 69							

Es necesario entonces dar una revisión a los campos de viento a nivel de estación, zonas o regiones, estatal y para el altiplano Mexicano o para un área mayor, aplicando toda la información disponible, y principalmente, los productos de reanálisis. Y luego valorar las hipótesis dinámicas derivadas de la información de reanálisis, por medio de la elaboración de un pronóstico del invierno 2003-2004.

1993 Calvin, Hilary y Lidia



Mapa 4. Trayectorias de huracanes costeano el Litoral del Pacífico Mexicano 1993.

Por tanto, en las Figuras. 11a y 11b, se presenta para las dos zonas, donde se muestra un comportamiento diferenciado que permite definir un índice para caracterizar a cada área ver mapa 11.

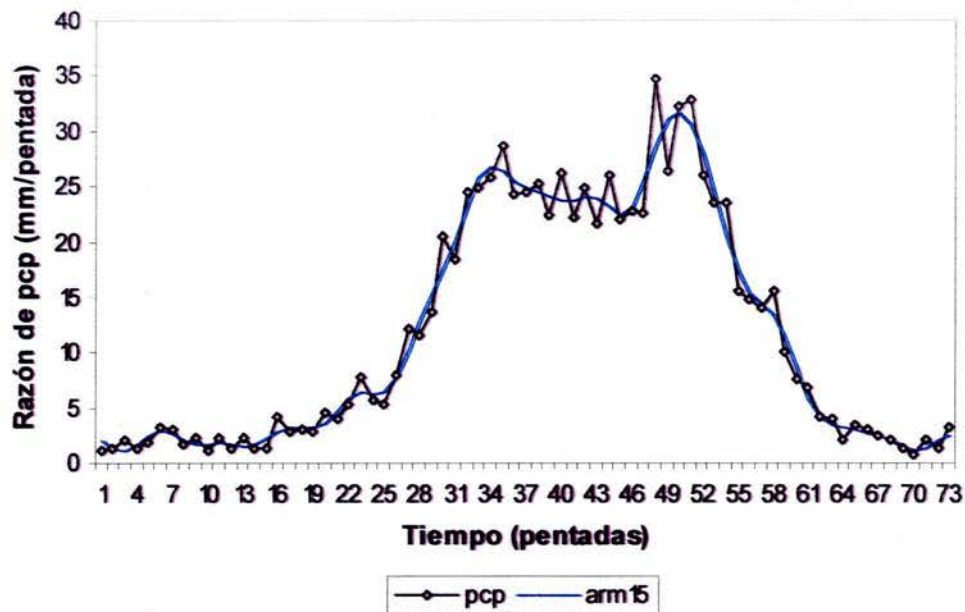


Figura 11a. Índice de lluvia, Tepetitla, Ixtacuixtla y Españaita con análisis de Fourier.

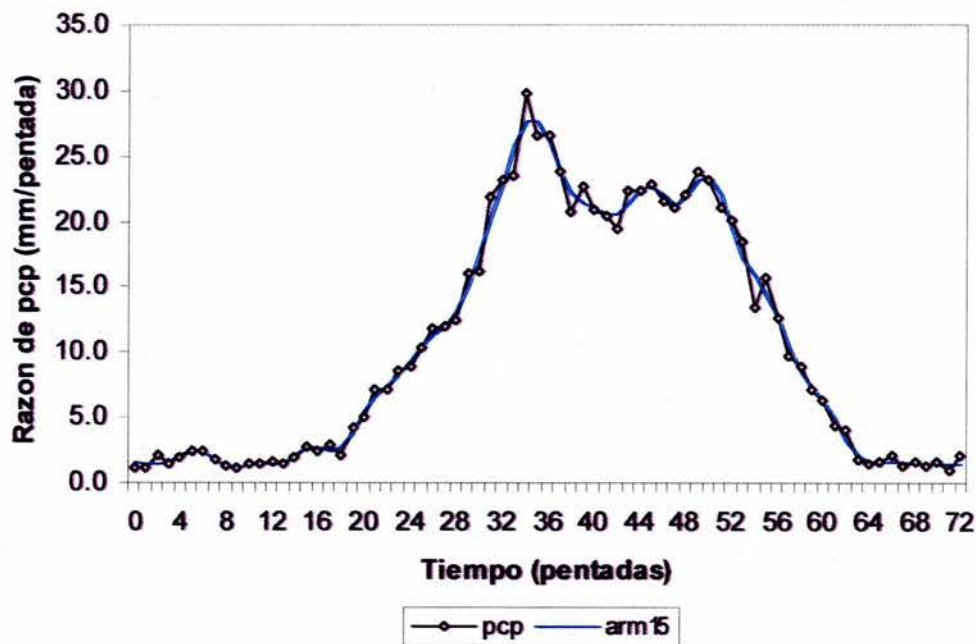


Figura 11b. Índice de lluvia, Apizaco, Huamantla, Tlaxco y Tlaxcala con análisis de Fourier.

La posible explicación de que el segundo máximo de precipitación -en la segunda quincena de agosto- en la precipitación, ocurra en la región de Españaita, Ixtacuixtla y Tepetitla puede ser la siguiente:

1. Los vientos del Oeste predominan, además hay una contribución a la precipitación por parte de la actividad ciclónica en el Océano Pacífico del Este.

2. Exista la suspensión total de los vientos del Este.

3. Por tanto, la explicación complementaria a la presentación del segundo máximo, menor con respecto al primer, en la región de Apizaco, Tlaxco y Huamantla corresponde a una suspensión de los vientos del Este por curvatura total, hacia la parte central de los Estados Unidos de Norteamérica, como consecuencia del calentamiento del continente Norteamericano, tal y como se muestra en los mapas 5 y 6. En la figura 12 se representa el viento predominante, durante un período particular, para el verano.

Gran parte del material que se presenta a continuación, tiene la finalidad de probar estas hipótesis enfocadas a explicar la regionalización de la precipitación en el estado de Tlaxcala.

Viento dominante en Canícula (10 jul-15 ago), Españita (1988-2003)

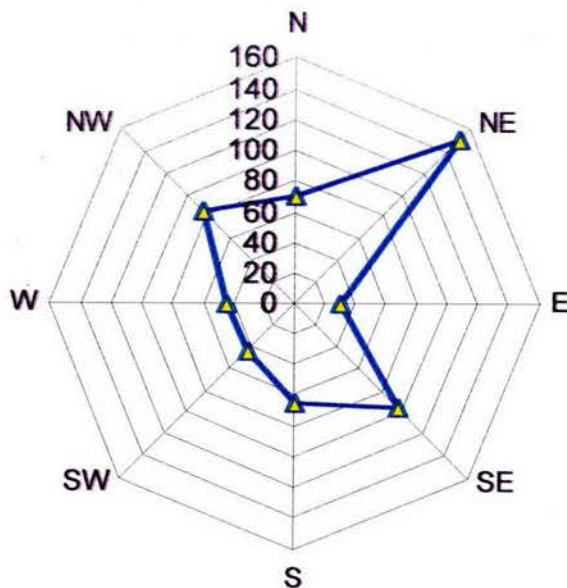
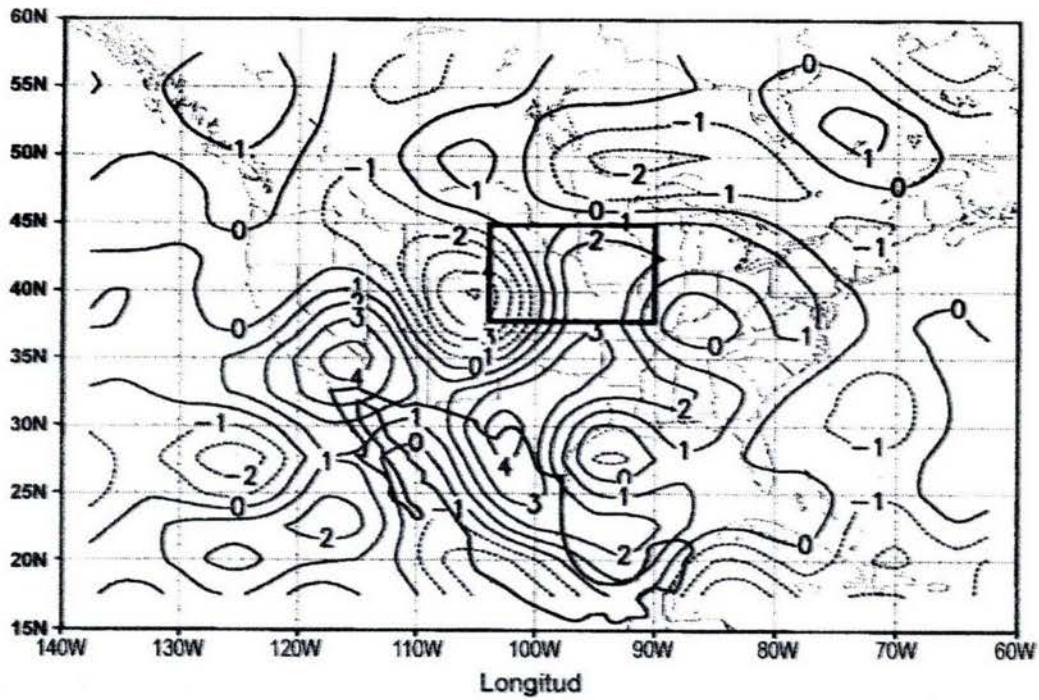


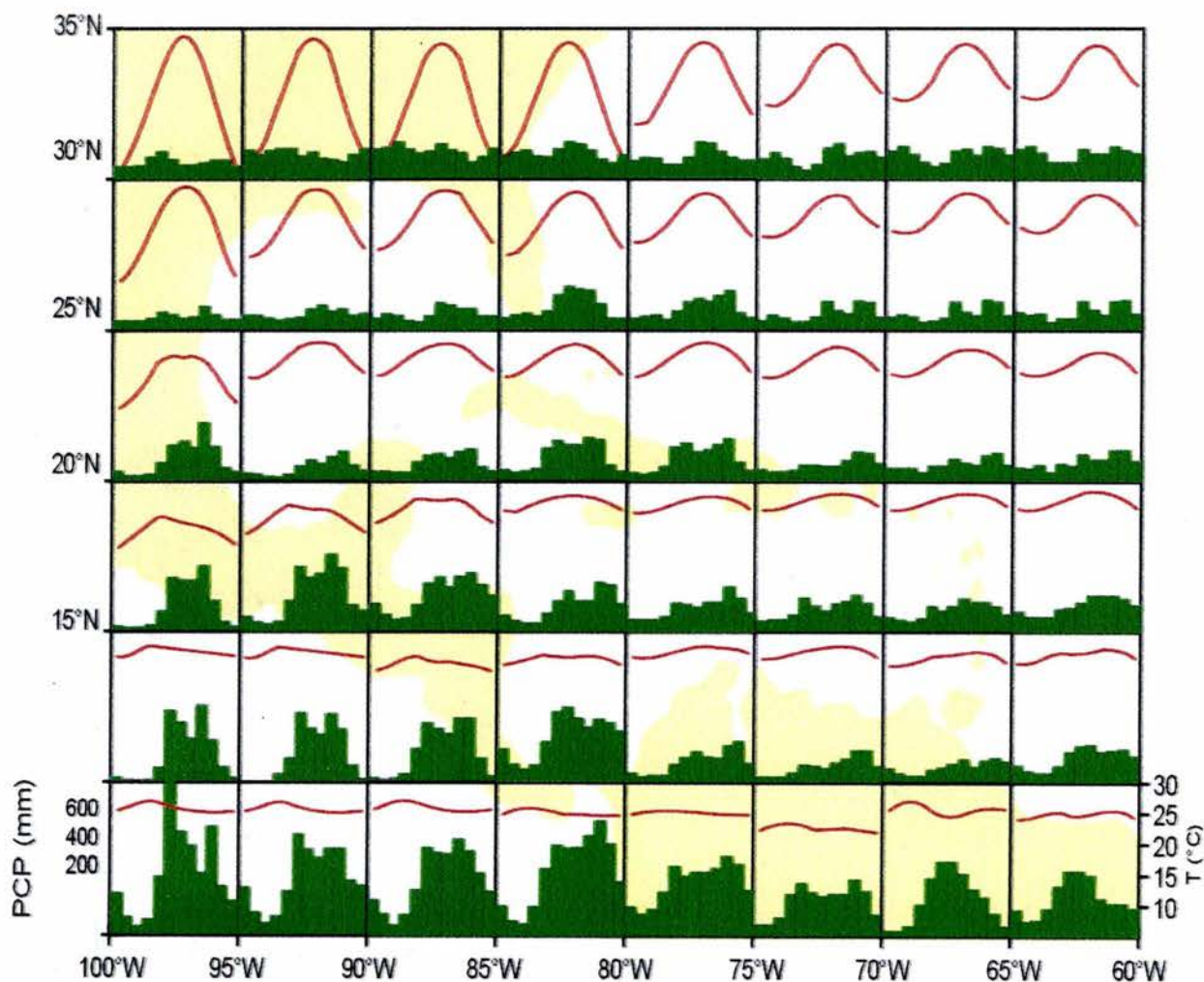
Figura 12. Rosa de los vientos mostrando direcciones preferentes.

En recientes estudios, se ha intentado contestar ¿qué controla la variabilidad de la precipitación en años que no hay la presencia de EL NIÑO/LA NIÑA, sobre la parte central de los Estados Unidos de Norteamérica (Mapa 5). Los principales resultados, muestran que la variabilidad de la precipitación sobre el Sistema Neovolcánico Transversal está controlado principalmente, por la variabilidad de la temperatura de la superficie del mar en el Golfo de México.



Mapa 5. Zona donde la variabilidad de la precipitación es controlada por el Golfo de México

En este mapa se muestra en la zona de estudio la variabilidad de la precipitación controlada por la temperatura de la superficie del Golfo de México y el calentamiento del macizo continental correspondiente, mismo que se presenta en el Mapa 6.

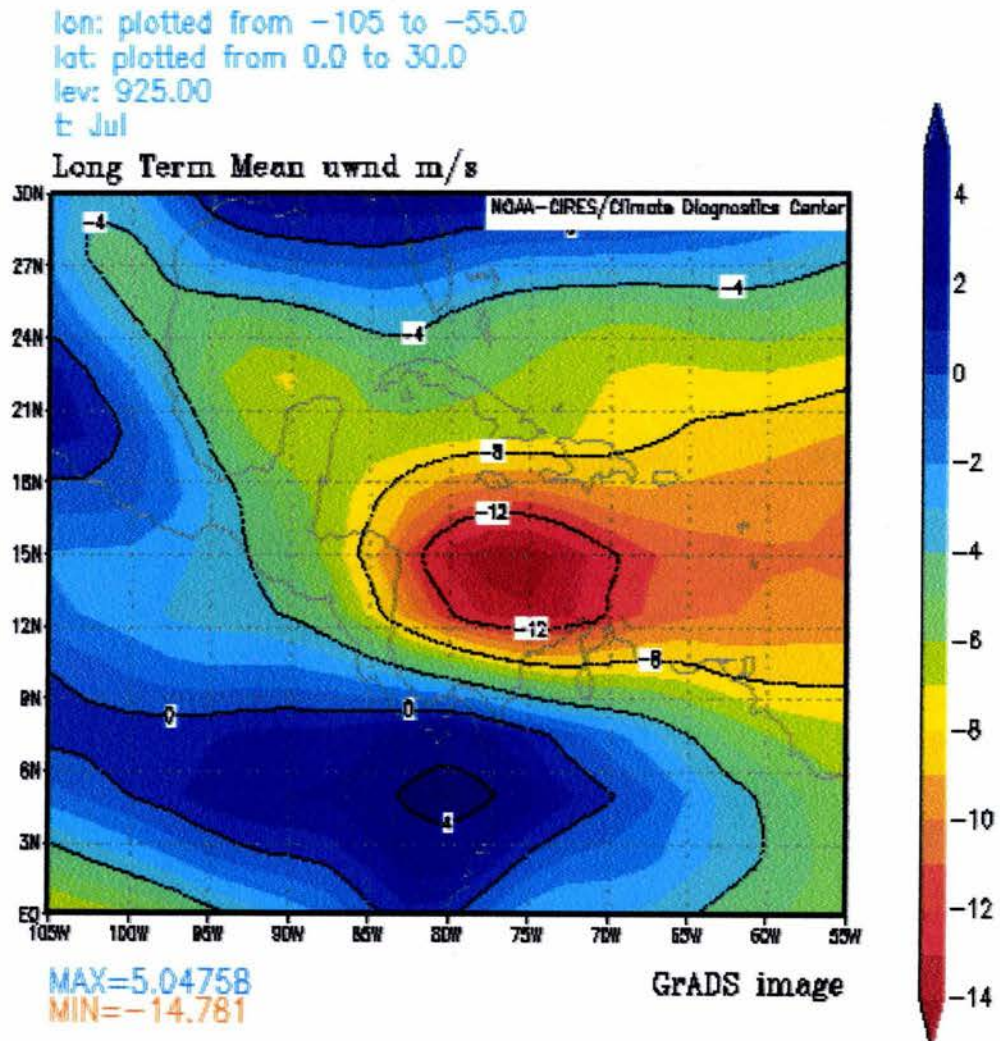


Mapa 6. Distribución mensual de la precipitación y la temperatura (—)

Se muestra la recurva del flujo del este, así como la ubicación geográfica del “Jet” asociado al campo de vientos. La información utilizada pertenecen al banco de datos conocido como “reanálisis”, su elección es debido a que es una plataforma de datos conocida por todos los centros de investigación en Ciencias de la Atmósfera y del Mar.

Resalta en gran amplitud del calentamiento en la parte continental del centro de U.S.A, induciendo una especie de monzón, introduciendo aire húmedo si a sí lo permiten las temperaturas del Golfo de México.

4.3. UN NUEVO ÍNDICE DEL FLUJO DEL ESTE

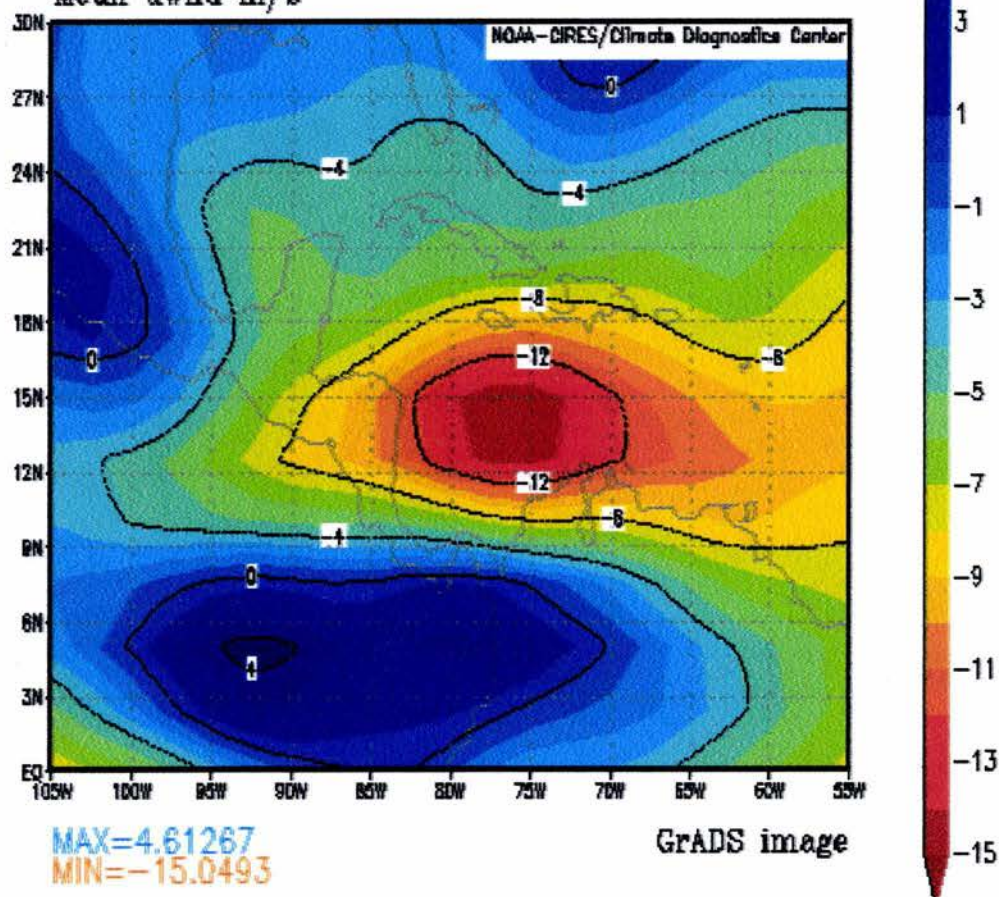


Mapa 7. Flujo zonal medio de largo plazo a 925mb, para Julio (1960-2000).

Como una propuesta de este trabajo de investigación se consideró un nuevo índice que complemente las hipótesis de Mosiño-García 1966 y Mosiño-Reyna 1989, es decir, la modificación que el campo de viento zonal presenta, sea monitoreada para indicar en que grado de intensidad se está cumpliendo la hipótesis de Mosiño y García.

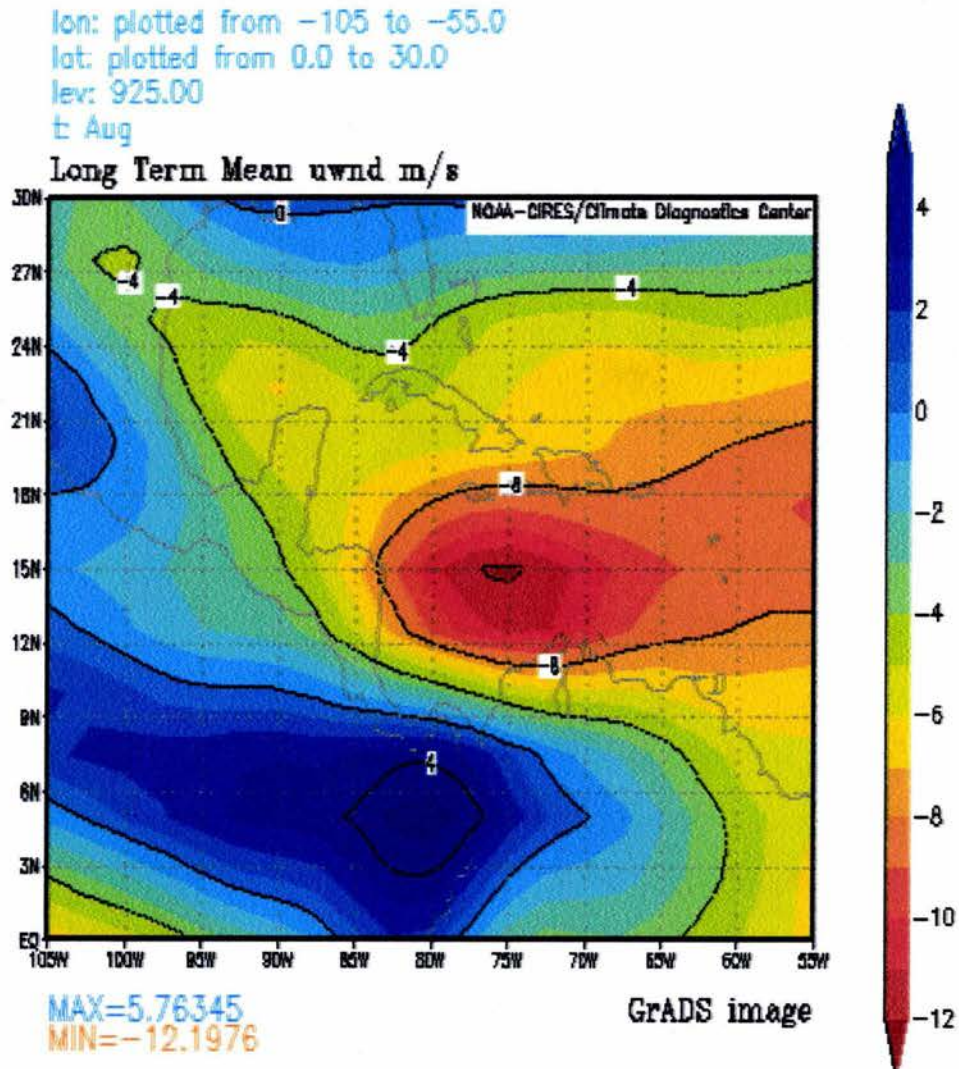
En el Mapa 7 se presenta viento zonal que proviene del Este donde se puede observar un máximo en la costa de Centroamérica.

lon: plotted from -105 to -55
 lat: plotted from 00 to 30.0
 lev: 925.00
 t: averaged over Aug 4 2002 to Aug 18 2002
 Mean uwnd m/s



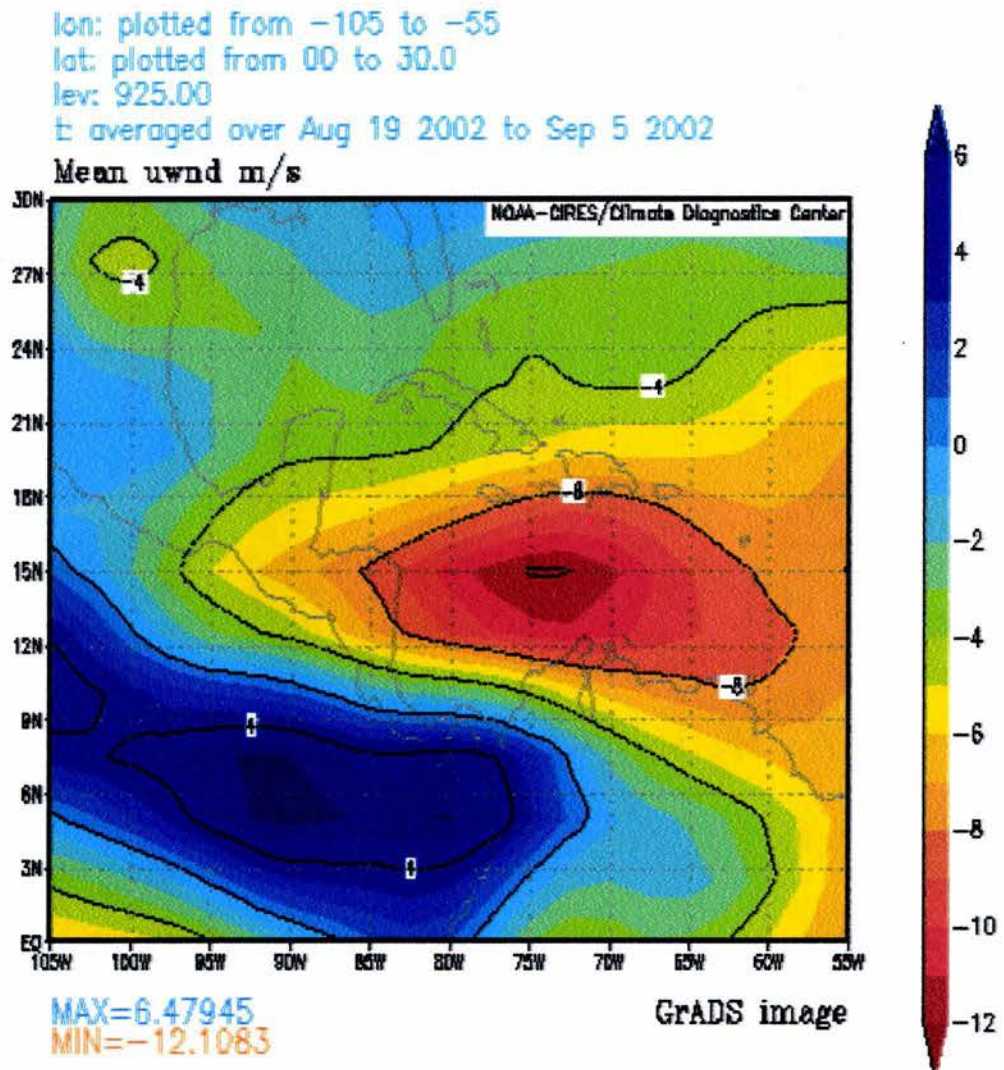
Mapa 8. Flujo zonal medio a 925 mb del 04 al 18 de agosto de 2002.

Este es un análisis más detallado en el tiempo a escala quincenal, construidos con datos de reanálisis, mostrando la gran variabilidad del flujo zonal sobre el Caribe, y en donde se observa un máximo mayor de 15.0493.



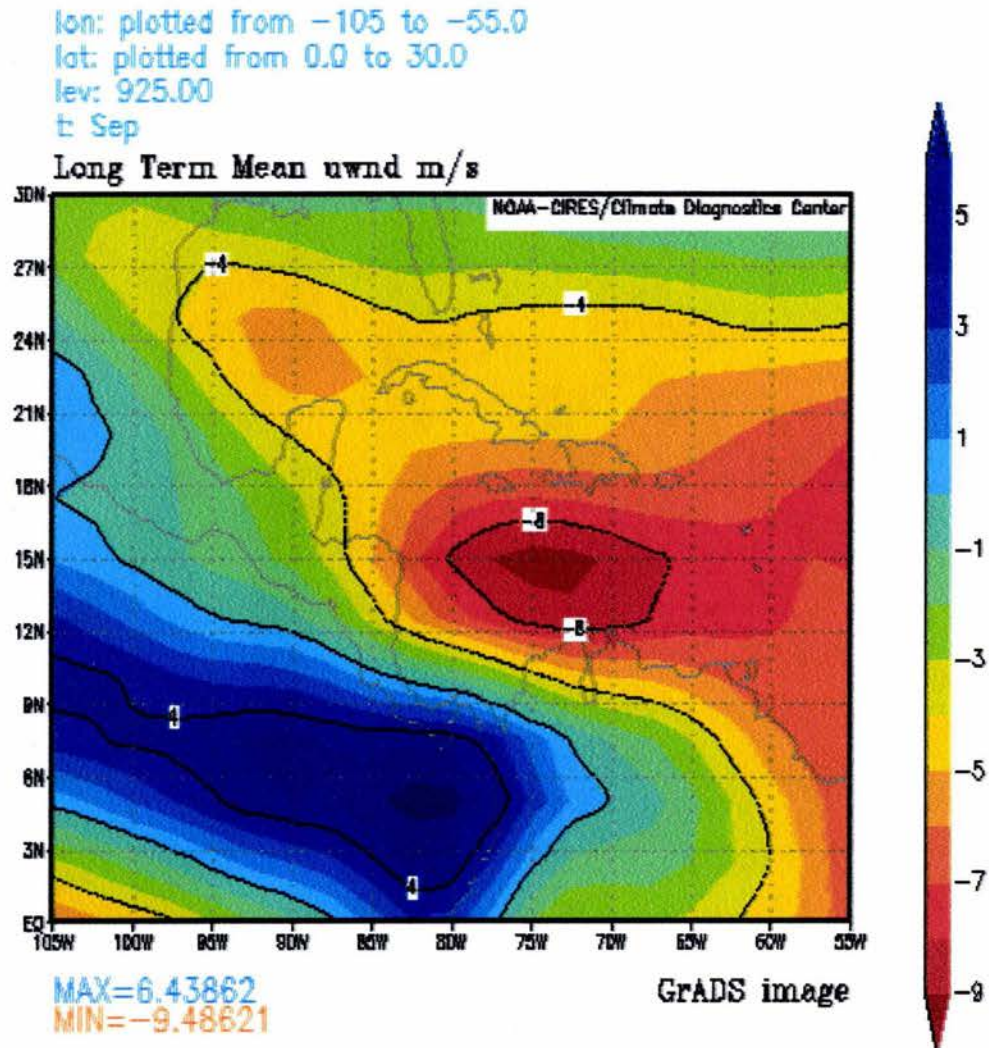
Mapa 9. Flujo zonal medio de largo plazo a 925 mb para Agosto.

Durante el mes de agosto, cuando es más frecuente que se presente la Canícula en Tlaxcala, se puede observar, el comportamiento del flujo zonal, con una recurva hacia el centro de los Estados Unidos de Norteamérica.



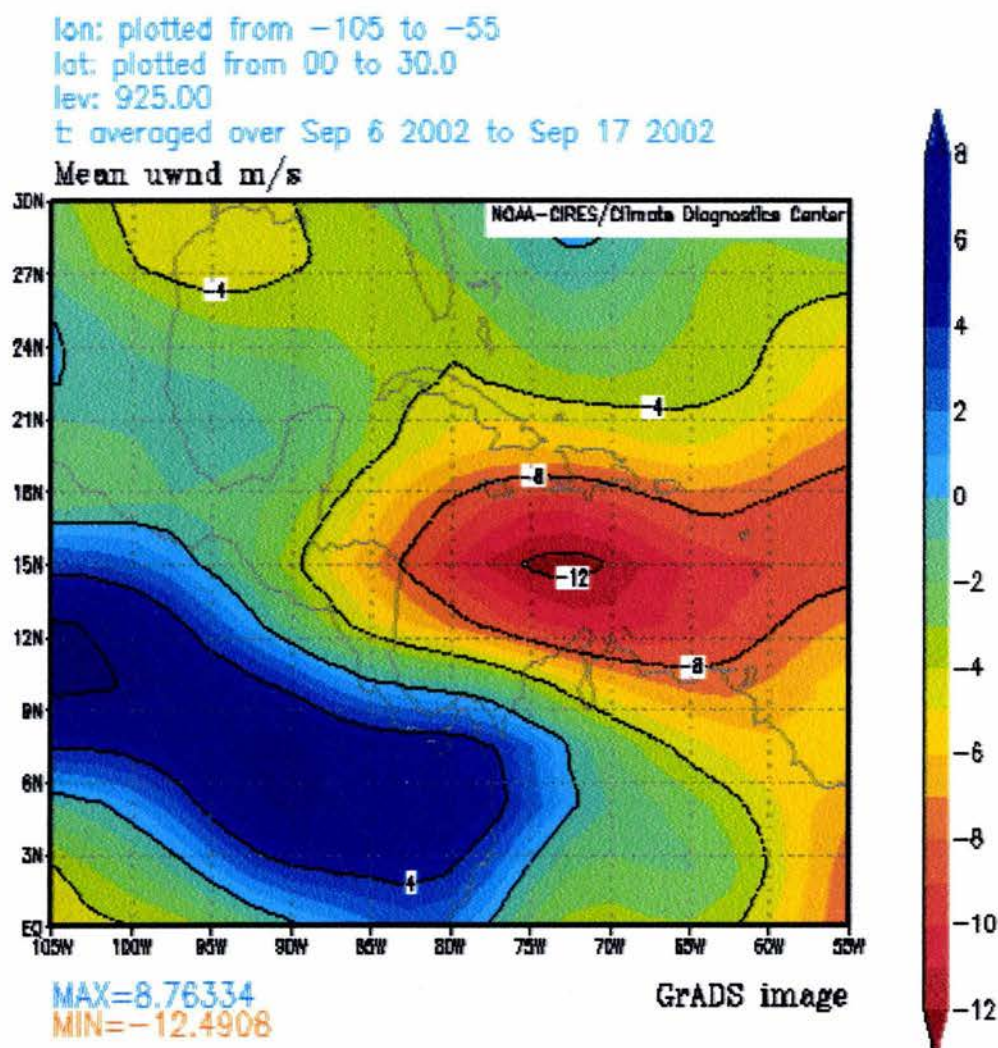
Mapa 10. Flujo zonal medio a 925 mb del 19 de Agosto al 5 de Septiembre de 2002.

En escala quincenal se observa en dicho mapa que la intensidad del flujo zonal ha disminuido, ahora con una máximo de 12.1083 lo que permite que se re-inicie la precipitación en el Sistema Neovolcánico Transversal.



Mapa 11. Flujo zonal medio largo plazo a 925 mb para Septiembre.

En septiembre se observa la intensidad del flujo zonal de 9.48621, en el Caribe, y una recurva sobre el Golfo de México, por lo que en Tlaxcala, se presentará una menor contribución por los vientos del Este, y una mayor de los vientos del Oeste, es posible también que se reciba una mayor cantidad de precipitación por la influencia de los huracanes.



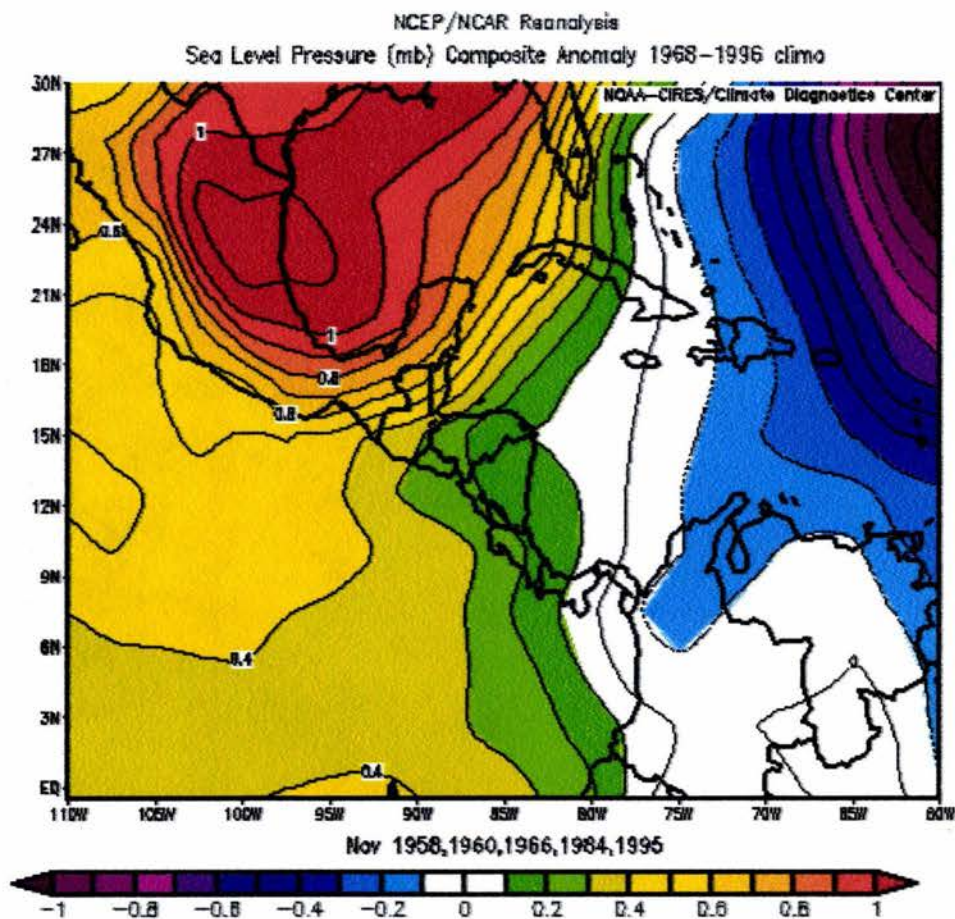
Mapa 12. Flujo zonal medio a 925 mb del 06 al 17 de Septiembre.

En este se puede observar el comportamiento del flujo zonal del Este recurvando hacia la parte central del continente Norteamericano, mostrando una influencia sobre la República Mexicana de los vientos del Oeste, en particular en el cuadrante donde se encuentra Tlaxcala, ya que presenta un gradiente en el campo de vientos del Oeste con una dirección Suroeste-Noroeste, ocasionando precipitación en el área de estudio, por forzamiento del flujo del Oeste a través de la Sierra Madre Occidental.

4.4. PRUEBA DINÁMICA DEL BANCO DE DATOS DE REANÁLISIS

A continuación se presenta un pronóstico del invierno 2003-2004, haciendo énfasis si éste será más o menos frío que el invierno 2002-2003, esto se realizó con los datos de los meses complementarios a la información ya utilizada en el párrafo anterior. El objetivo es que las conclusiones dinámicas inferidas, desde un punto de vista gráfico, del banco de datos de reanálisis, son aplicables a cualquier mes o período que sea considerado.

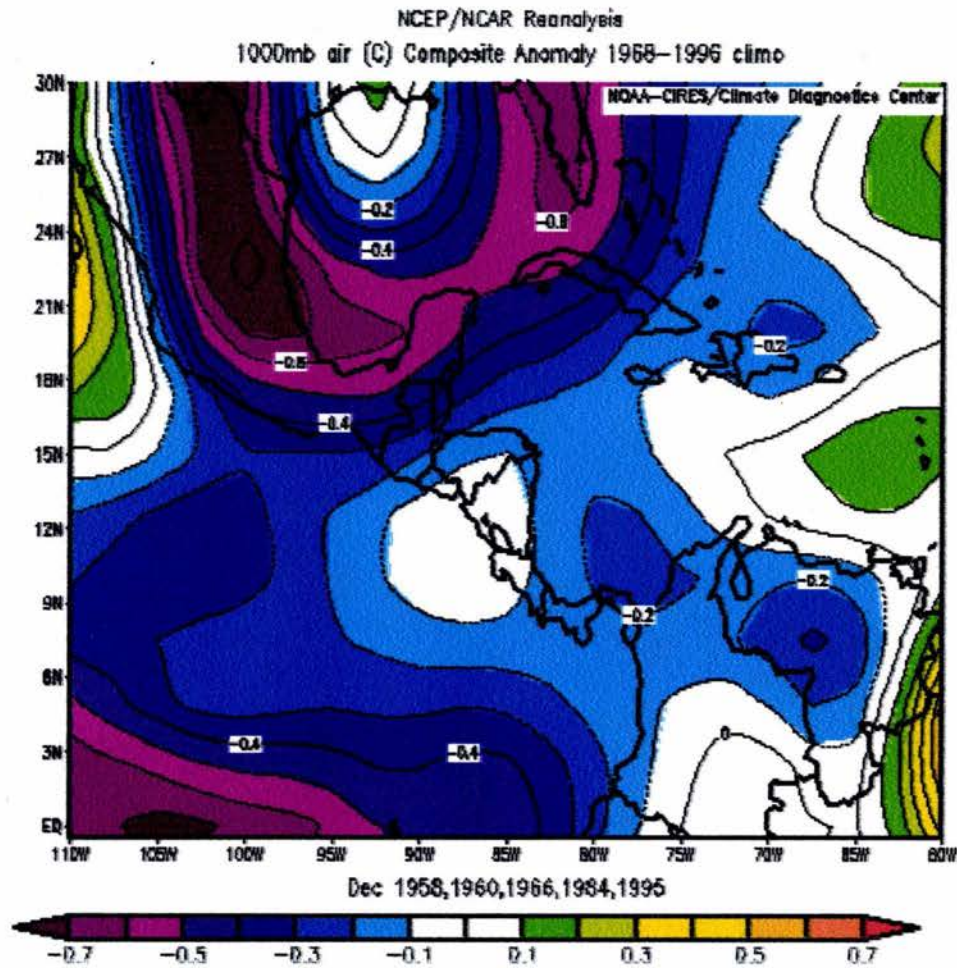
NOVIEMBRE



Mapa 13. Anomalía compuesta para el campo de presión a nivel del mar

Considerando que en el hemisferio Norte los sistemas de alta presión tienen asociado un movimiento rotacional, en el mismo sentido de giro de las manecillas del reloj, y un sistema de baja presión, en sentido contrario, se observa advección de aire frío de Norte a Sur en el mapa correspondiente.

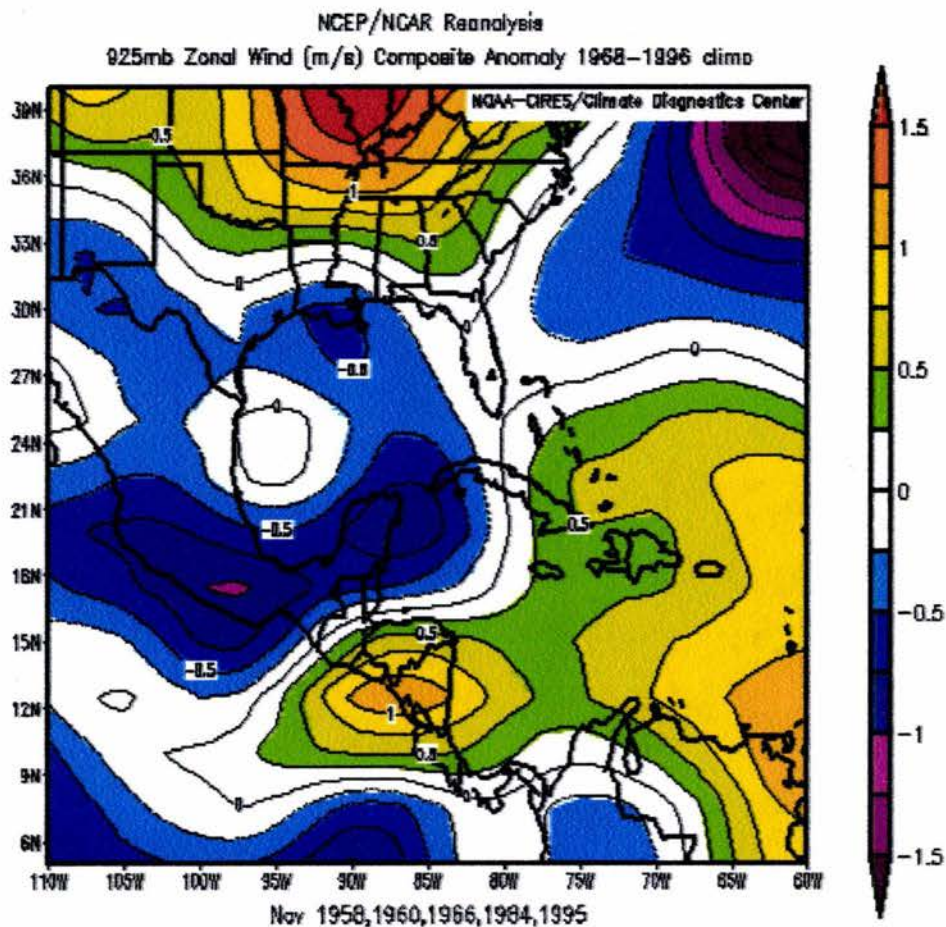
NOVIEMBRE



Mapa 14. Anomalía compuesta para el campo de temperatura del aire a 1000 mb

En correspondencia a el transporte de aire frío del Norte, se muestra una anomalía negativa en el campo de temperaturas en la superficie, tal y como se muestra en la escala trabajada.

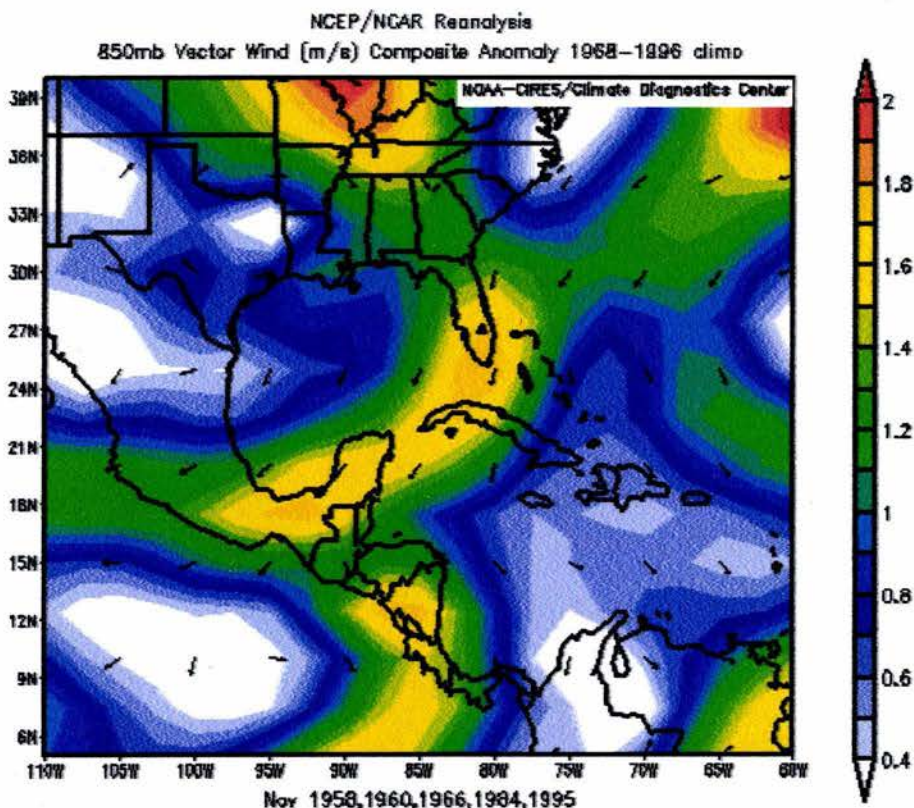
NOVIEMBRE



Mapa 15. Anomalía compuesta para el campo de viento zonal a 925 mb.

Se tiene una anomalía en los campos del viento zonal del Este introduciendo aire húmedo a la República Mexicana, que en combinación con las temperaturas bajas, darán posibilidades de nevadas, o al menos de una mayor sensación de temperaturas bajas.

NOVIEMBRE



Mapa 16 Anomalía compuesta para el campo de viento vectorial a 850 mb.

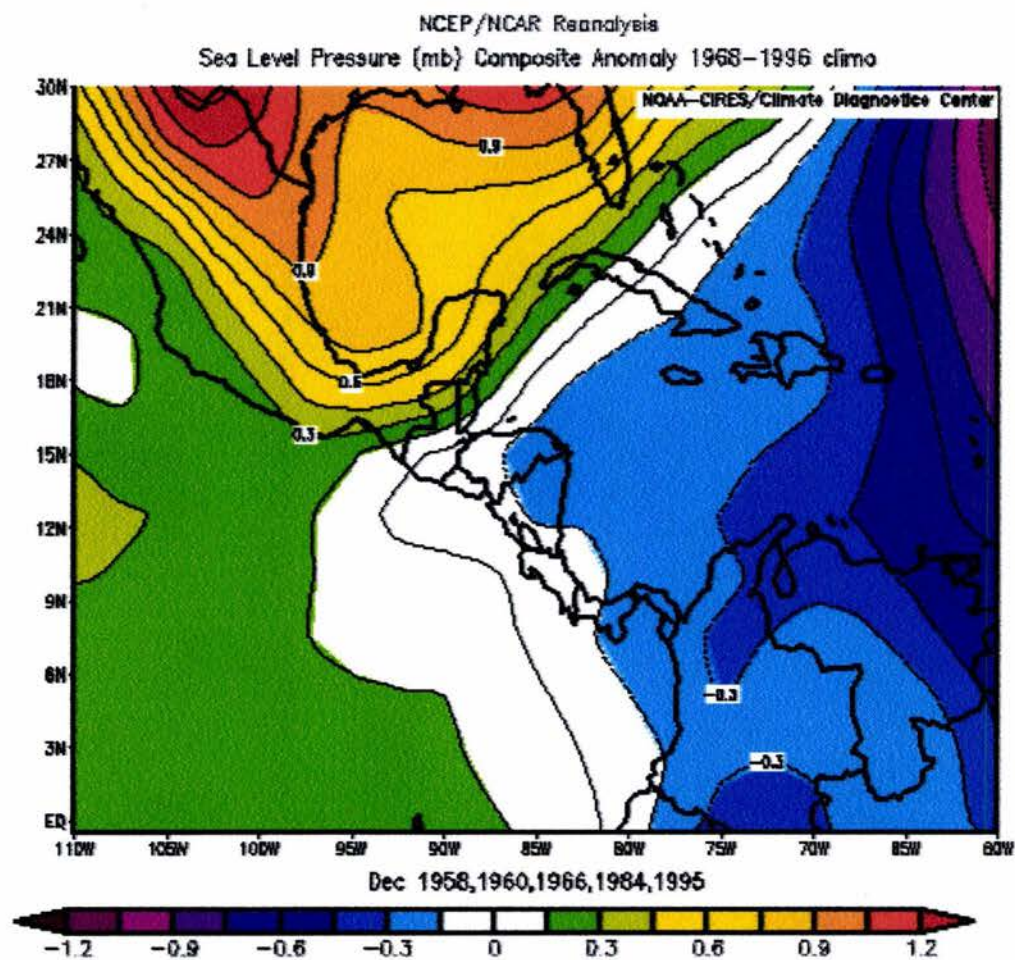
Nótese la fuerte advección de aire frío desde el Norte manifestándose un carácter de Jet recurvando sobre el Golfo de México y entrando por la vertiente del litoral del Sur de Veracruz, en particular, afectando al Estado de Tlaxcala.

4.5. CONCLUSIONES PARA NOVIEMBRE DE 2003

Se tuvieron las siguientes condiciones:

- Anomalía de la presión positiva (0 a 0.8 mb)
- Anomalía de la temperatura negativa con una tendencia (-0.4 a -0.1 ° C)
- Anomalía del viento en 925 milibares negativas y positivas (-0.5 a 1.2 m/s)
- Anomalía del viento en 850 milibares positiva (1 a 1.8 m/s) de dirección Norte y Noreste
- Esto podría indicar que existe la posibilidad del acercamiento de frentes fríos al área del Eje Neovolcánico, con mayor probabilidad a mediados y finales de este mes, ya que se tienen anomalías positivas de la presión lo que indica que se tendrán altas presiones o cuñas anticiclónicas orientadas hacia la región centroamericana y anomalías negativas de la temperatura indicando que las temperaturas para este mes serían más bajas que el promedio.

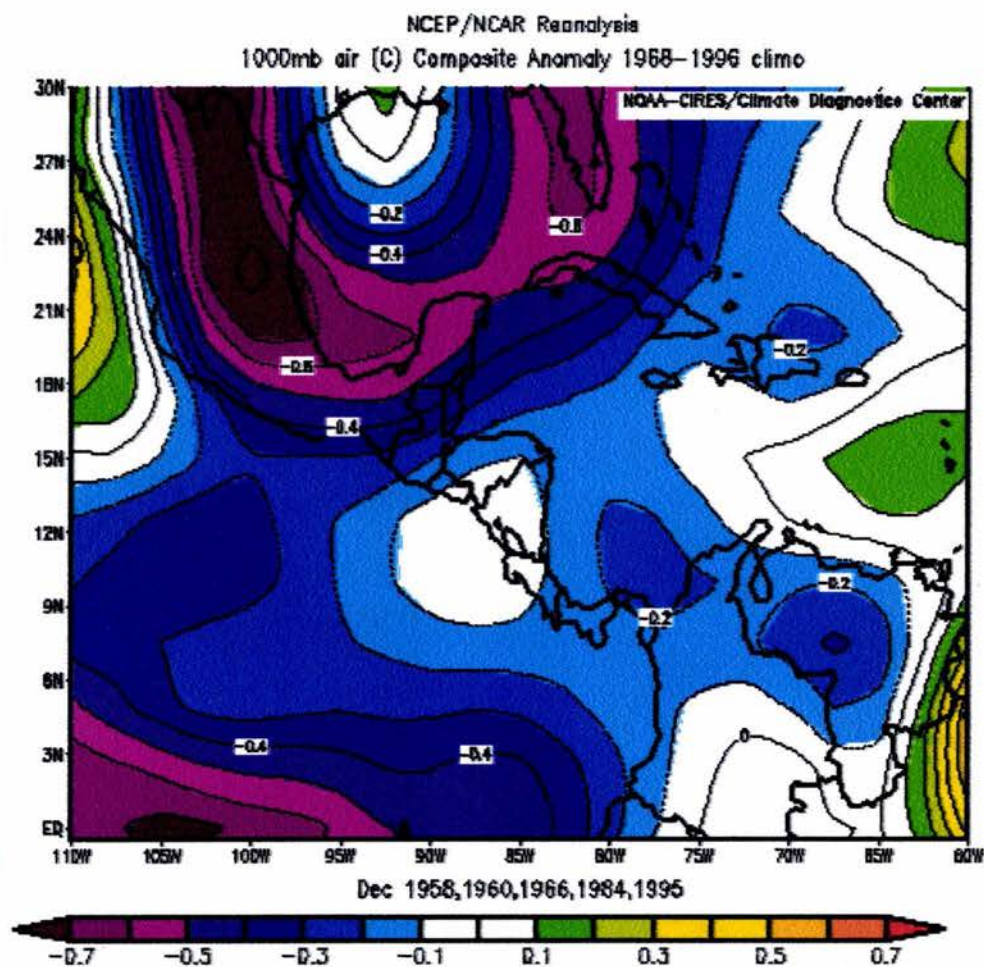
DICIEMBRE



Mapa 17. Anomalía compuesta para el campo de presión a nivel del mar

En este mes presentan nuevamente los dos sistemas de bajas y altas presiones, sin embargo, el sistema de alta presión muestra una bifurcación, pero en lo general, sigue recibiendo transporte de aire frío desde el Noroeste.

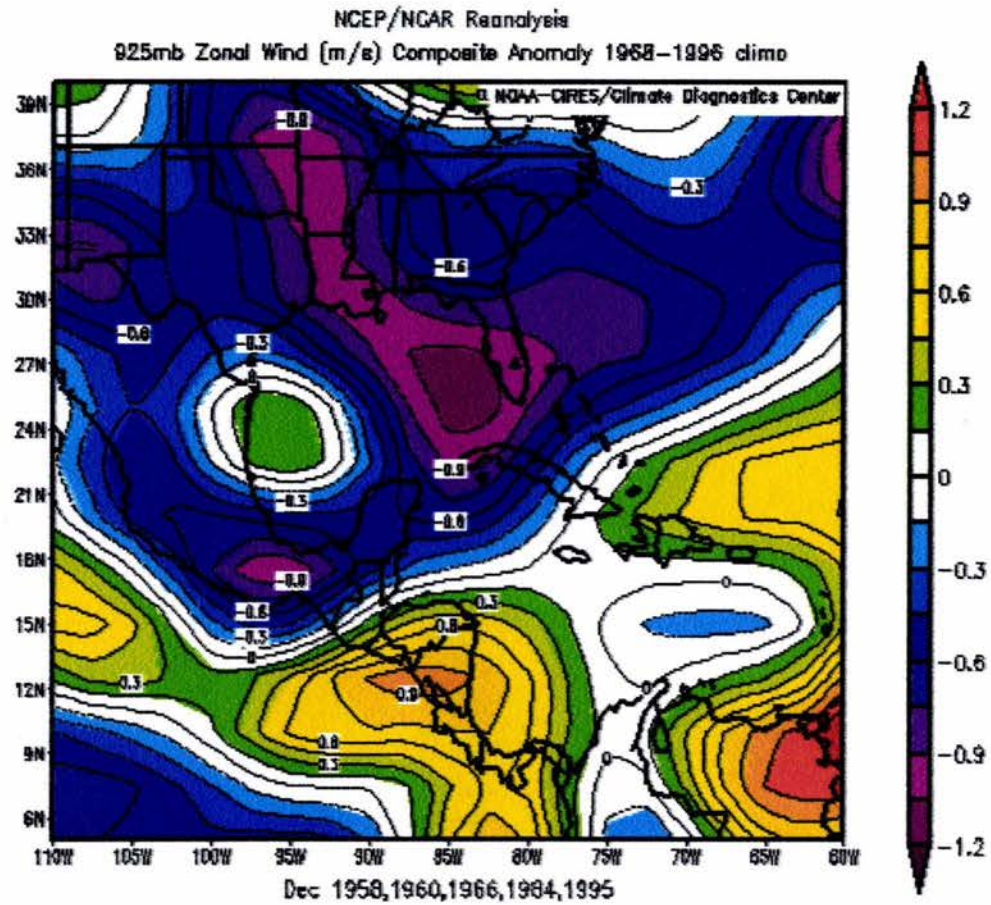
DICIEMBRE



Mapa 18. Anomalia compuesta para el campo de la temperatura del aire a 1000 mb.

Nuevamente, se presenta una anomalía negativa sobre el Sistema Neovolcánico Transversal, mostrándose en esta escala, un valor extremo negativo.

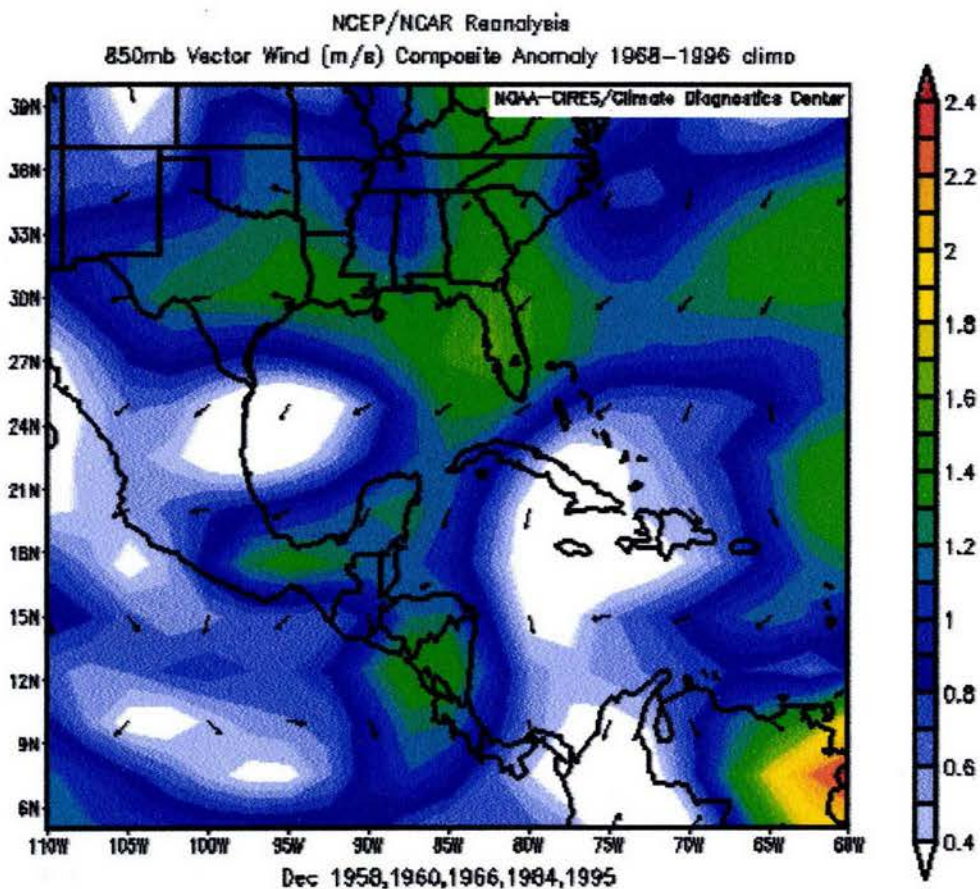
DICIEMBRE



Mapa 19. Anomalía compuesta para el campo de viento zonal a 925 mb.

Continua mostrándose un transporte posiblemente húmedo por viento del Este desde el Golfo de México, en particular para el Estado de Tlaxcala le toca un máximo relativo de este flujo del Este.

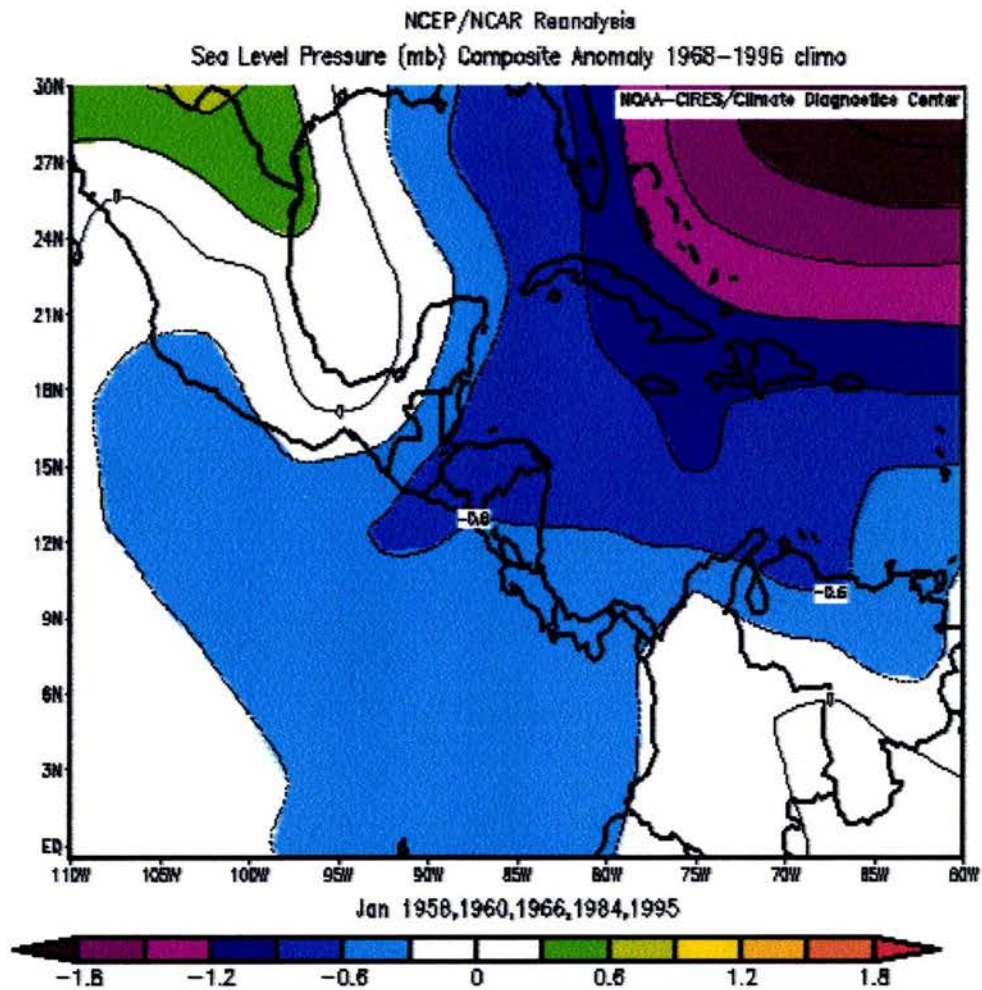
DICIEMBRE



Mapa 20. Anomalía compuesta para el campo de viento vectorial a 850 mb.

4.6. CONCLUSIONES PARA DICIEMBRE DE 2003.

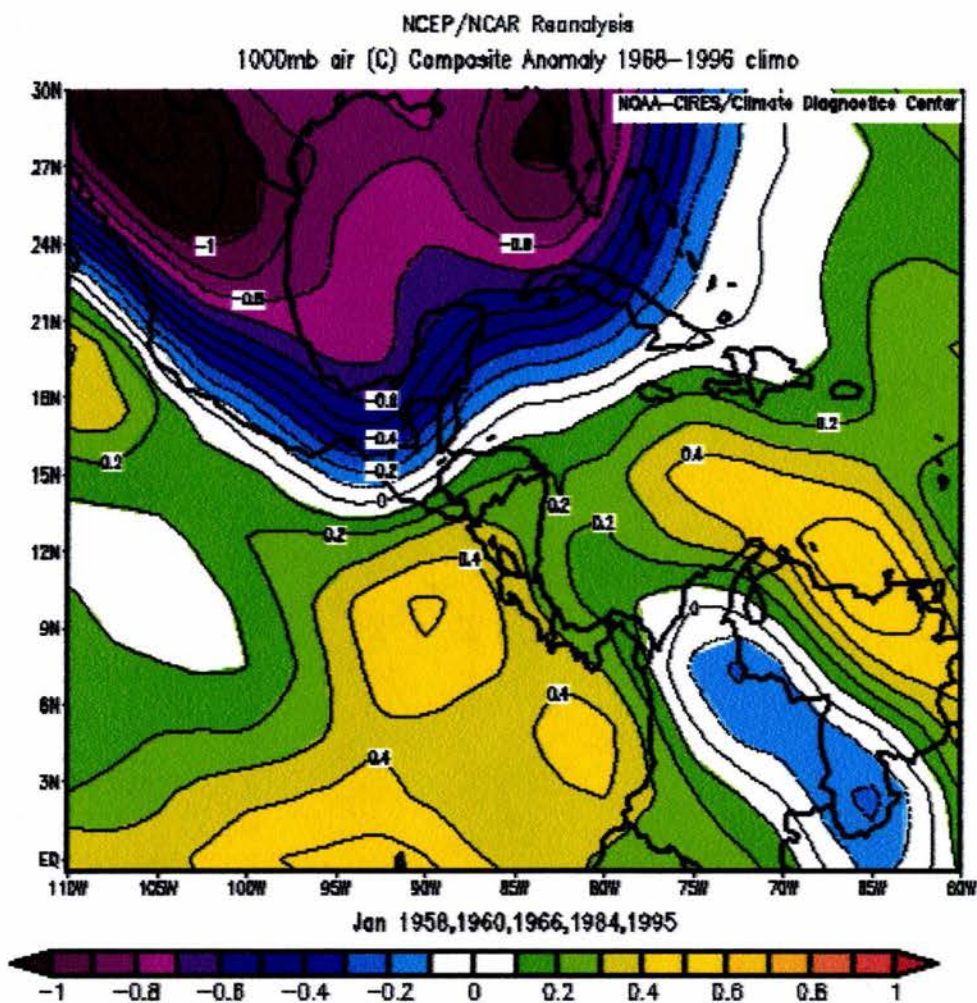
- Hay un flujo de aire frío del Noroeste, y posiblemente con humedad dado que está el aire trasportándose sobre el Golfo de México.
- Existen anomalías de la presión positiva, neutras y valores negativos bajos (0.5 a - 0.3 mb).
- Anomalías de la temperatura negativas (-0.4 a -0.1°C)
- Anomalías del viento en 925 milibares (-0.6 a 9.0 m/s)
- Anomalía del viento en 850 milibares positiva (1 a 1.7 m/s) y de dirección N y NE
- Durante este mes se espera que la presencia de frentes fríos disminuya ya que las anomalías de la presión muestran valores neutros y negativos, lo que podría indicar que el descenso o acercamientos de frentes fríos a la región del Eje Neovolcánico podría disminuir.

ENERO

Mapa 21 Anomalía compuesta para el campo de presión a nivel del mar

Para enero se muestran condiciones de flujo del Norte, sobresaliendo el gran sistema de baja presión sobre el Océano Atlántico del Norte.

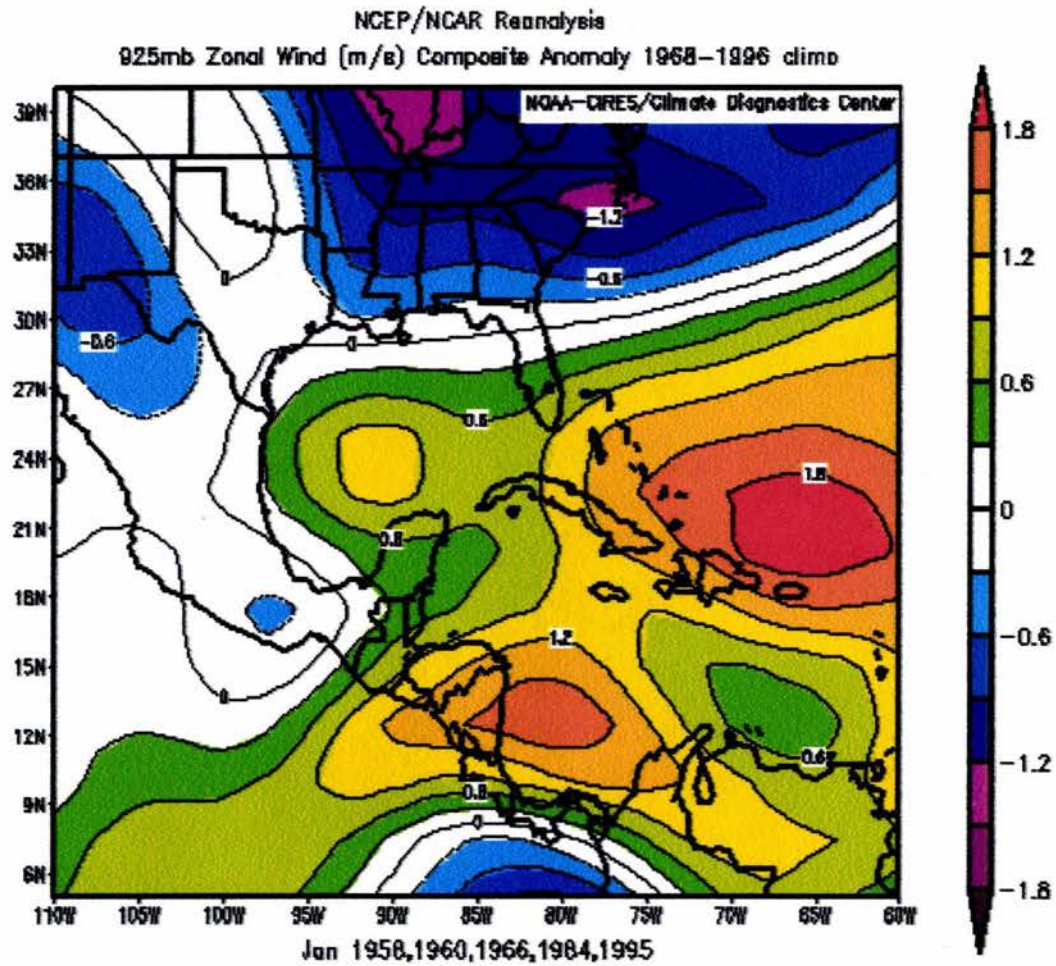
ENERO



Mapa 22. Anomalia compuesta para el campo de temperatura del aire a 1000 mb.

La anomalía negativa en el campo de temperaturas de la superficie del Sistema Neovolcánico Transversal se ha retraído hacia la parte del Norte del país.

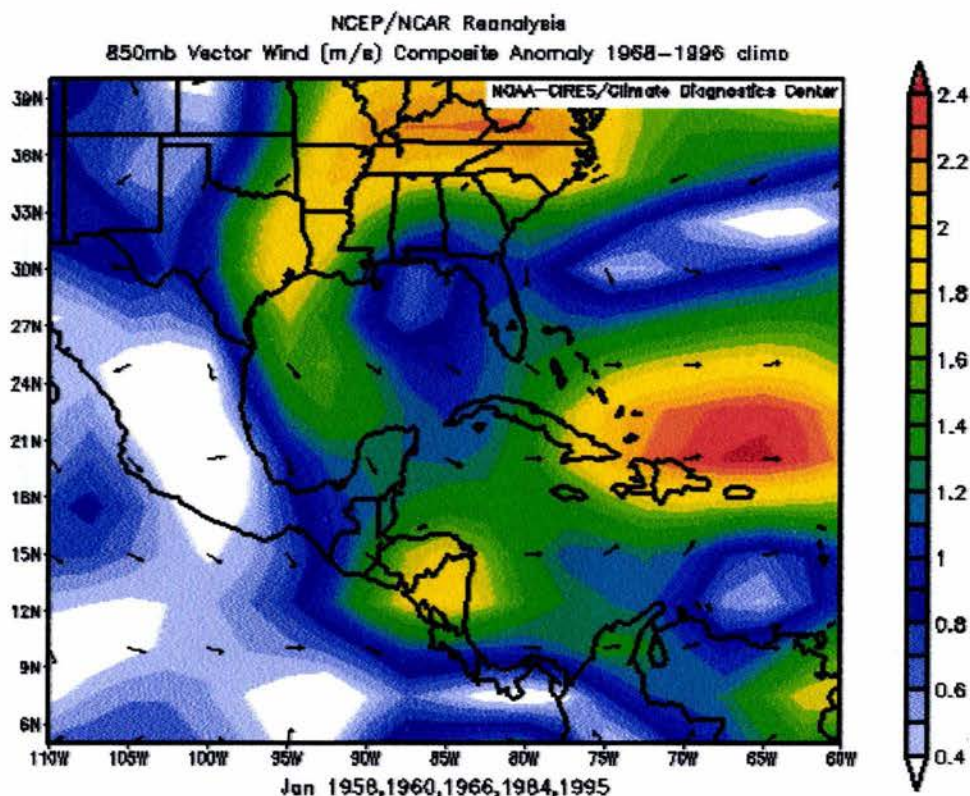
ENERO



Mapa 23. Anomalía compuesta para el campo del viento zonal a 925 mb.

Se muestran condiciones estáticas para el Sistema Neovolcánico Transversal y por lo tanto para el Estado de Tlaxcala.

ENERO



Mapa 24. Anomalía compuesta para el campo de viento vectorial a 850 mb.

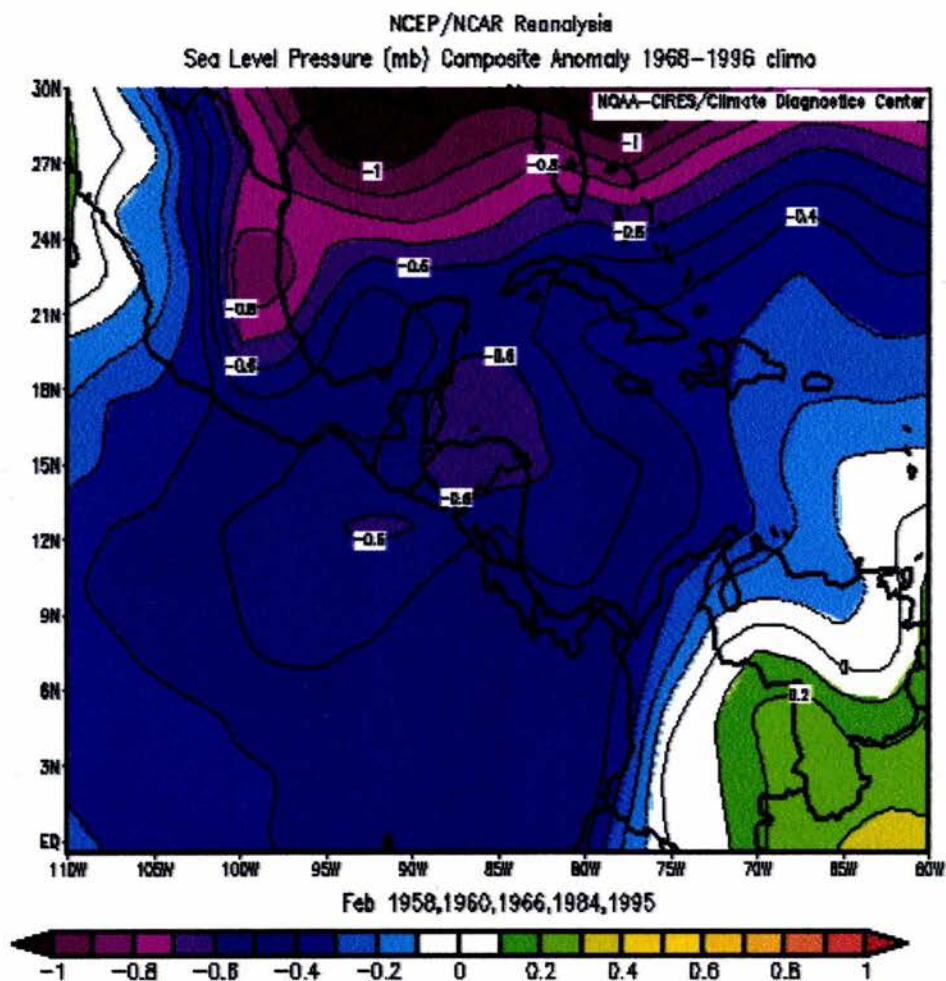
Se muestran condiciones de poco transporte sobre el Eje Neovolcánico, mostrándose un transporte máximo hacia el Sur por la Costa Este de los Estados Unidos de Norteamérica.

4.7. CONCLUSIONES PARA ENERO DE 2004

- Anomalías de la presión positiva a negativa (0.8 a -0.6 mb)
- Anomalías de la temperatura positivas y negativas (-0.5 a 0.5 ° C)
- Anomalías positivas del viento en 925 milibares (0.8 a 1.7 m/s)
- Anomalías positivas del viento en 850 milibares con dirección del Noroeste (1 a 2.0 m/s).

Se espera presencia de frentes fríos pero en menor intensidad que los meses de noviembre y diciembre ya que la anomalía de la presión es negativa y las temperaturas presentan valores negativos y positivos. Por tanto podría incrementarse la presencia de incendios forestales, por la falta de humedad en el suelo y por el posible desplazamiento de frentes fríos en las cercanías de la región centroamericana, los que podrían producir vientos moderados y en ocasiones intensos.

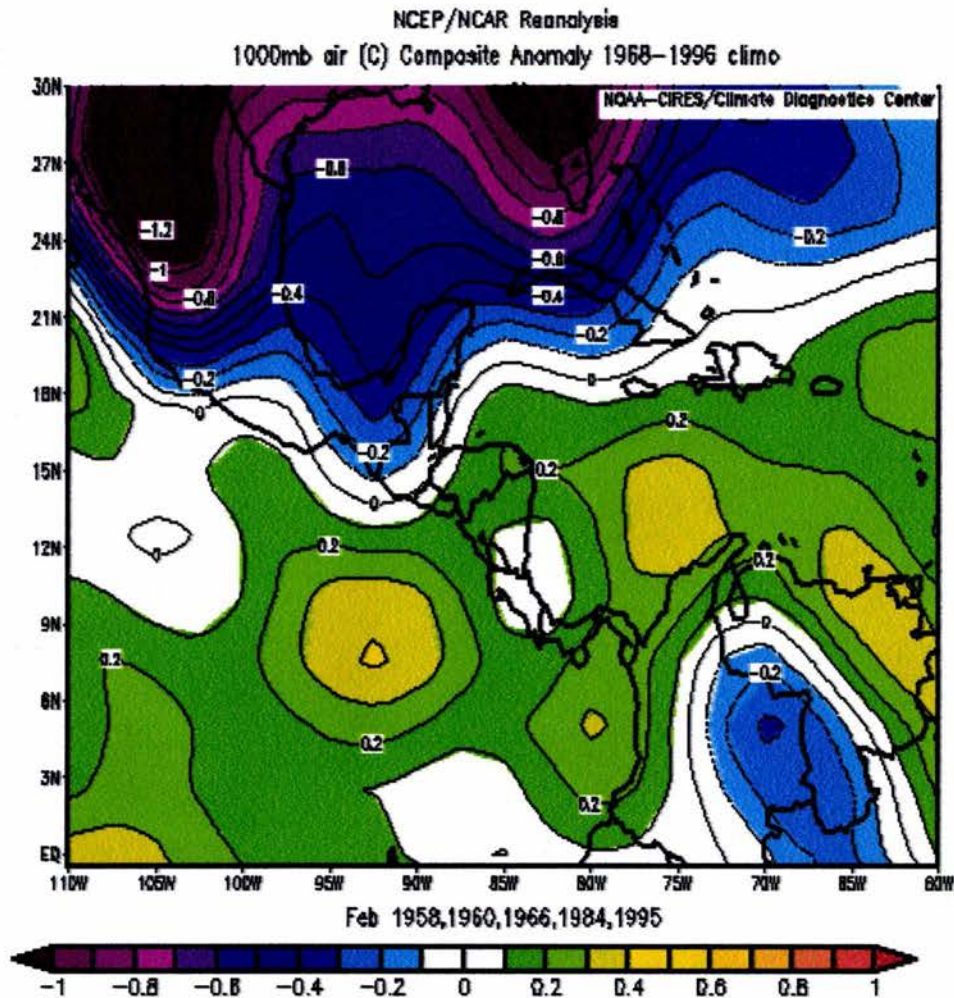
FEBRERO



Mapa 25. Anomalia compuesta para el campo de presión a nivel del mar.

Predomina una anomalía negativa en el campo de presión sobre la costa Este de los Estados Unidos de Norteamérica llegando hasta cubrir la parte Este del Sistema Neovolcánico.

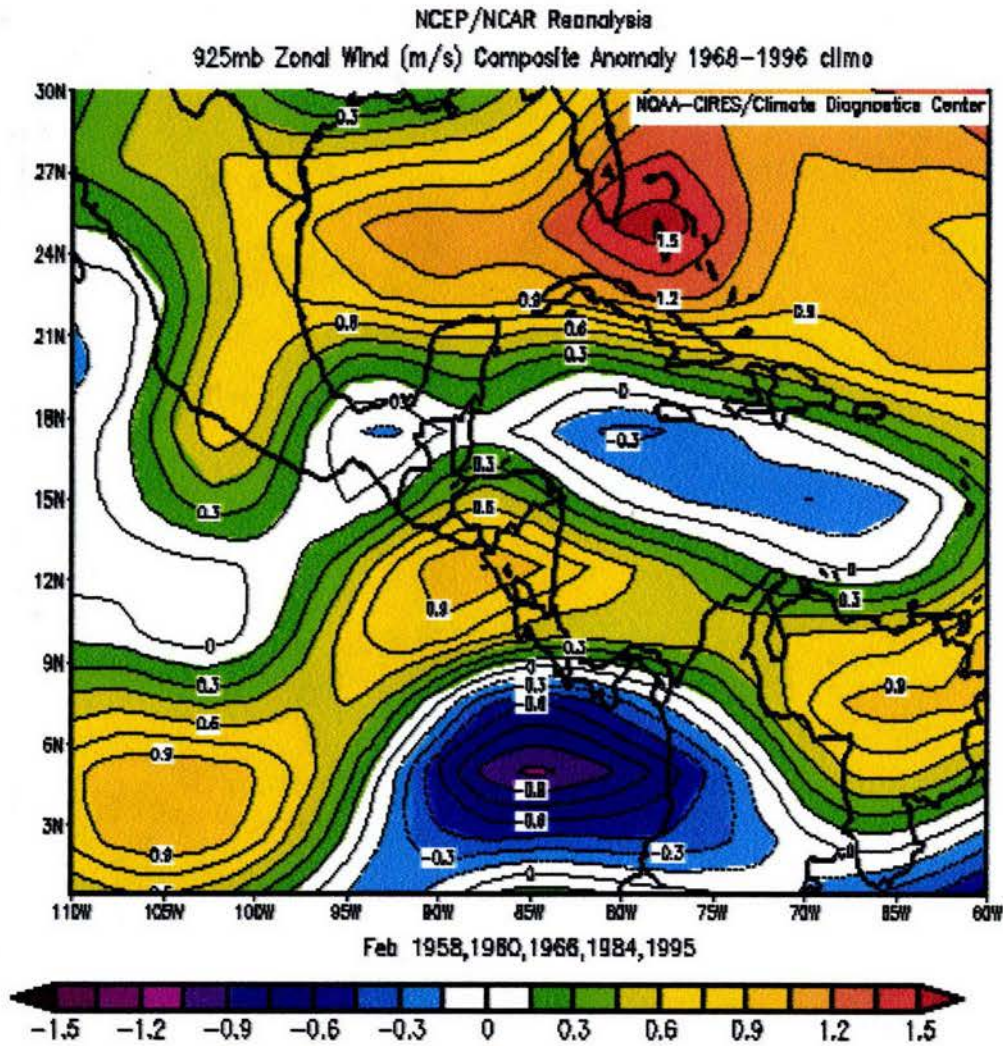
FEBRERO



Mapa 26. Anomalía compuesta para el campo de la temperatura del aire a 1000 mb.

Nuevamente, se presenta una anomalía en el campo de temperatura del aire sobre la parte Norte del Sistema Neovolcánico Transversal, y presentándose un gradiente Sur-Norte sobre el área del Estado de Tlaxcala, cabe destacar el carácter ondulatorio en el campo de temperatura del aire.

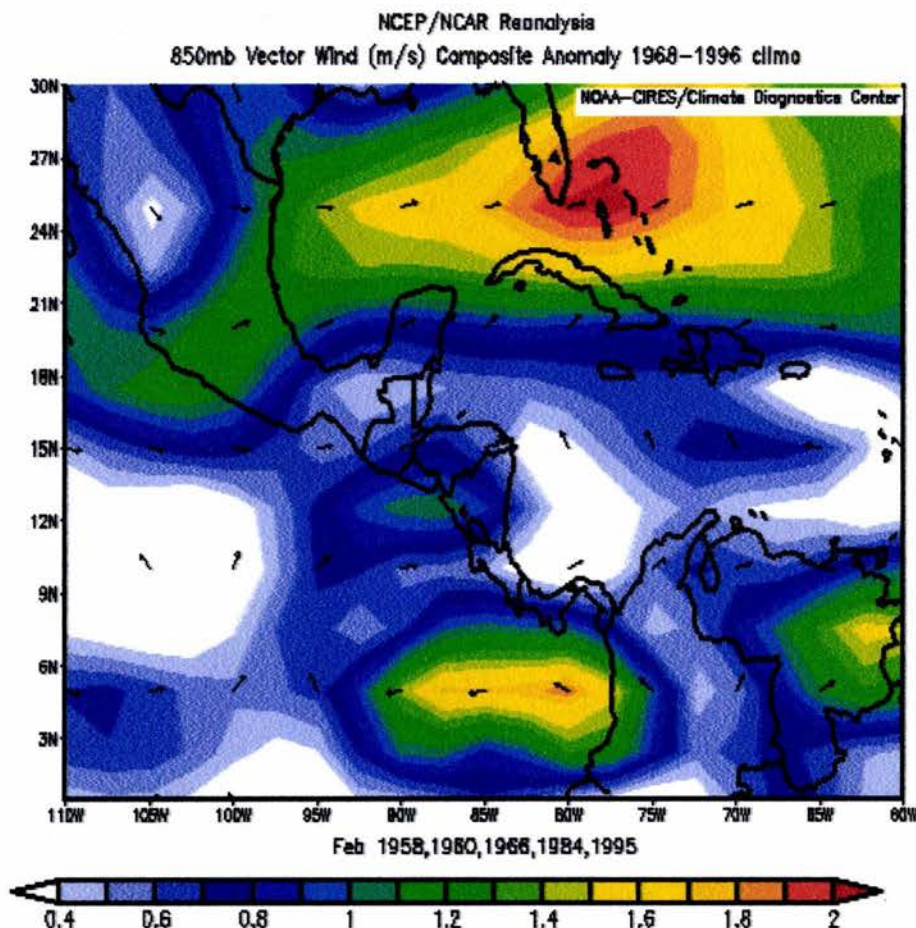
FEBRERO



Mapa 27. Anomalía compuesta para el campo de viento zonal en 925 mb.

Se presenta un transporte sobre el Sistema Neovolcánico Transversal con dirección Norte-Sur, sobre todo en la parte Este de la República Mexicana.

FEBRERO



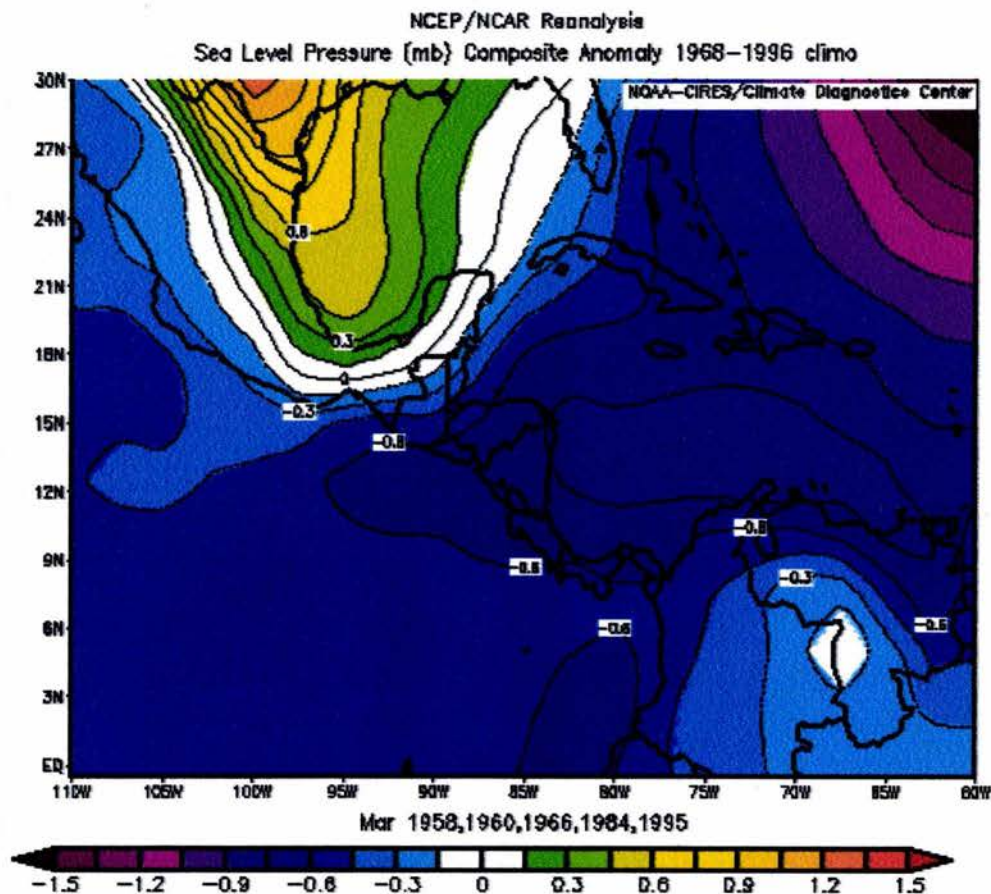
Mapa 28. Anomalia compuesta para el campo de viento vectorial en 850 mb.

Predomina un transporte del Sur, Oeste-Noreste sobre la región del Estado de Tlaxcala alcanzando un máximo sobre la Península de la Florida.

4.8. CONCLUSIONES PARA FEBRERO DE 2004

- La anomalía de la presión es negativa (-0.3 a -0.6) mb
- La anomalía de la temperatura presenta valores negativos y positivos (-0.2 a 0.3)° C
- La anomalía del viento en 925 milibares es positiva (0.3 a 0.9 m/s)
- El viento en 850 milibares del Suroeste y del Oeste positivo de 0.8 a 1.2 m/s.
- Se espera que la presencia de frentes fríos en este mes sea poca, debido a que la anomalía de la presión resulta negativa y las temperaturas positivas. A la vez podría incrementarse la probabilidad de incendios forestales por la poca humedad en el suelo y por la posible presencia de temperaturas más cálidas.

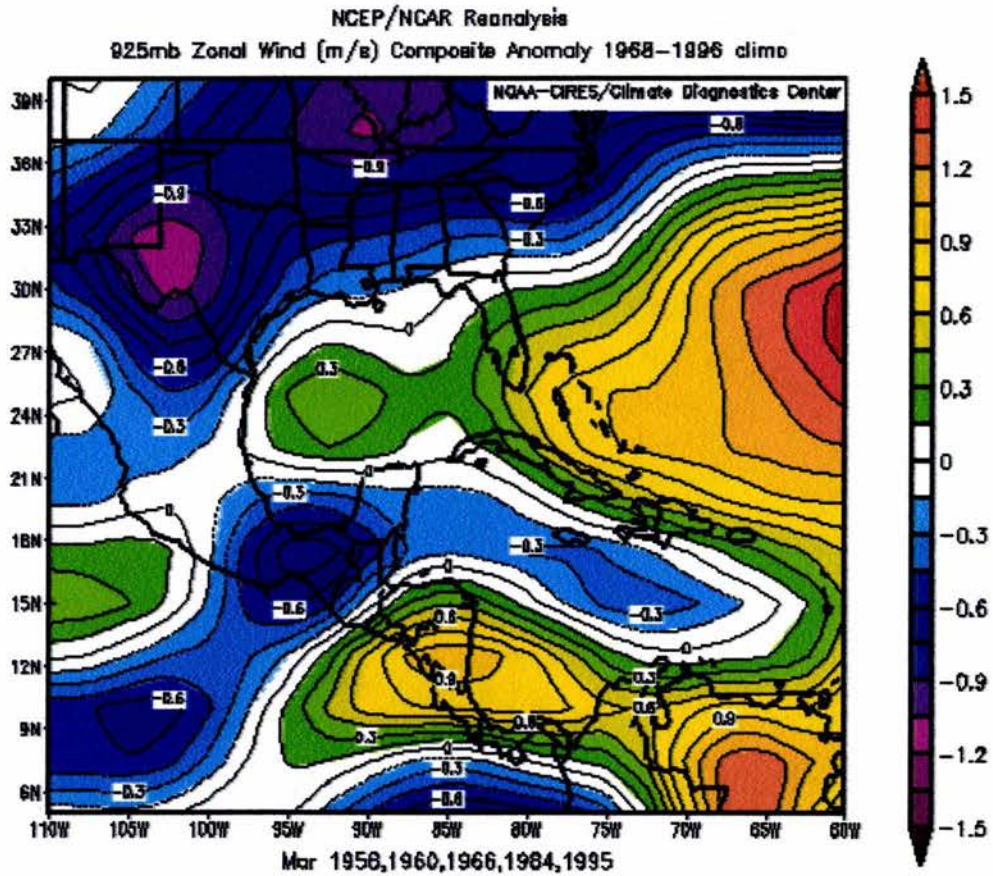
MARZO



Mapa 29. Anomalia compuesta para el campo de presión a nivel del mar.

Sobresale un valor máximo sobre el campo de alta presión en superficie, con una extensión a lo largo del litoral Mexicano del Golfo de México, que acoplado con el sistema de baja presión sobre el Atlántico del Norte se tendrá un transporte hacia el Sur de aire relativamente frío.

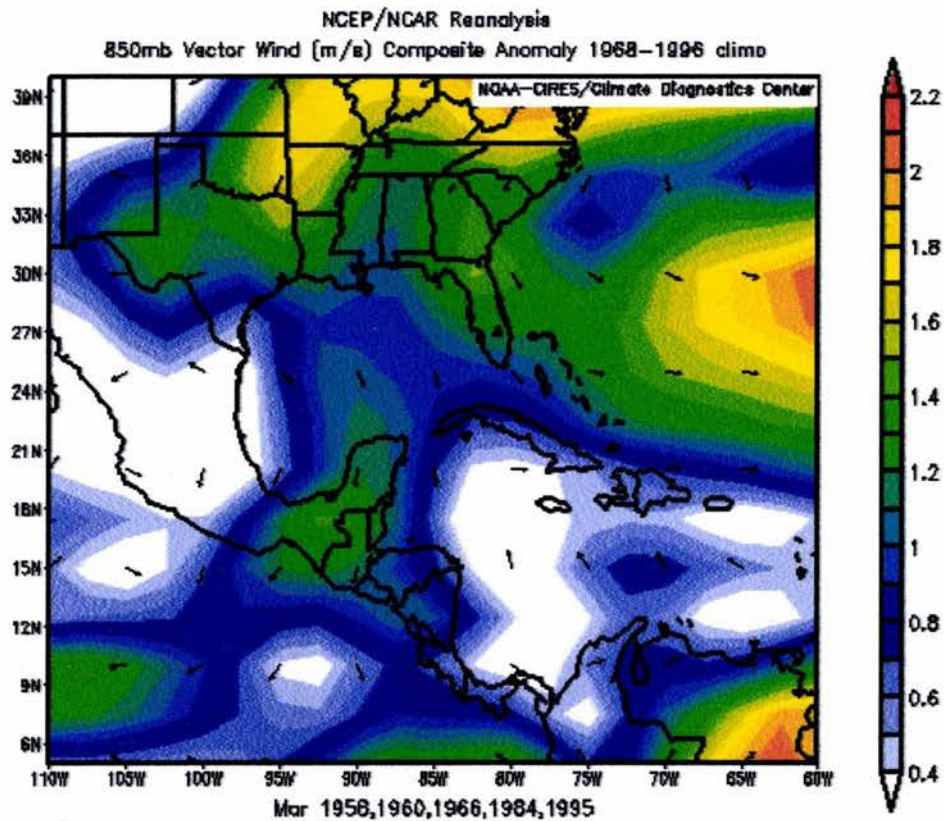
MARZO



Mapa 30. Anomalia compuesta para el campo de viento zonal en 925 mb.

Se tiene un transporte dominado por vientos del Este sobre el Eje Neovolcánico Transversal destacando sobre el Estado de Tlaxcala una zona de relativa calma.

MARZO



Mapa 31 Anomalía compuesta para el campo de viento vectorial en 850 mb.

Sobre el Eje Neovolcánico Transversal predomina una zona de relativa calma, sin embargo, presenta una rotación del tipo de baja presión por lo que se tendría posibilidades de precipitación.

4.9. CONCLUSIONES PARA MARZO

- Anomalía de la presión neutra y negativa (0 a -0.8 mb).
- Anomalía de la temperatura neutra y negativa (0 a -0.4 ° C).
- Anomalía del viento en 925 milibares bajas de lo normal en este mes, a pesar de la poca presencia de frentes fríos debido a que la anomalía de la presión da valores negativos. Los incendios forestales podrían tener negativos y positivos (0.6 a 0.9 m/s).
- Anomalía del viento en 850 milibares positiva (1 a 1.4 m/s) y de dirección Norte y Noreste.
- Aún se espera la presencia de frentes fríos, la anomalía de la temperatura es neutra y negativa, indicando esta situación probablemente que se tendrán temperaturas más

mayor probabilidad de presentarse por la falta de “humedad”/precipitación en el suelo y por la presencia de vientos moderados generados por el desplazamiento de frentes fríos en las cercanías posiblemente de Centroamérica.

Del análisis anterior se puede concluir se tendrá un invierno 2003-2004 relativamente fresco con respecto al invierno 2002-2003.

En la Figura 12, se presenta un comportamiento de las temperaturas mínimas, para todos los inviernos, destacando el reciente invierno por su temperatura relativamente menor, con respecto a las temperatura del invierno inmediatamente anterior.

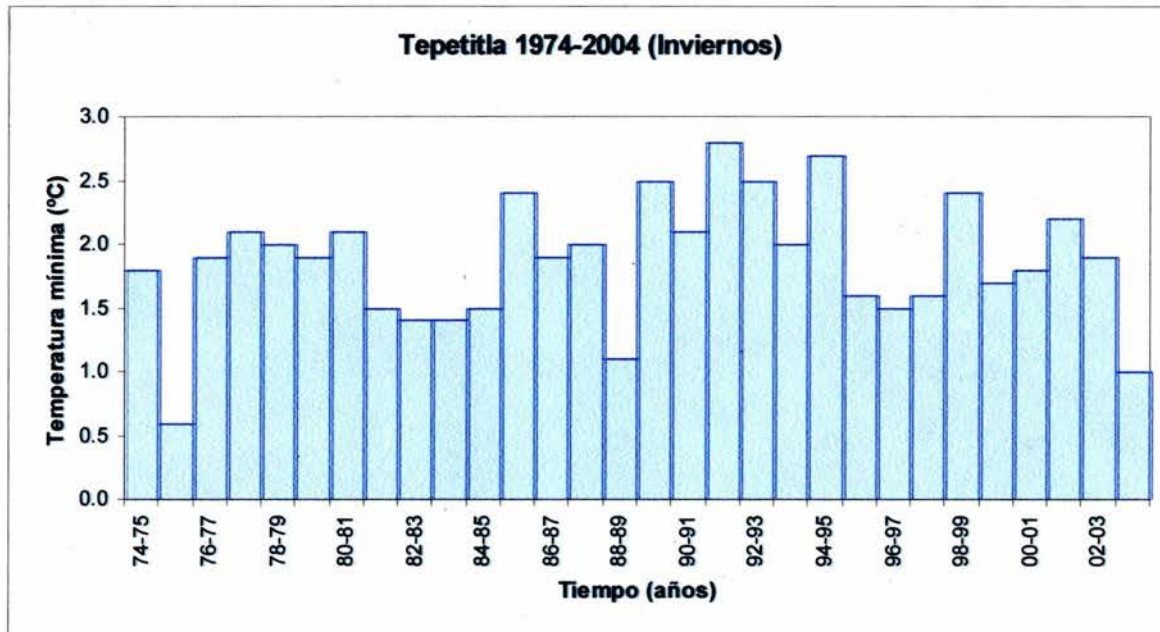


Figura 12. Comparación de inviernos con temperatura mínima

5. CONCLUSIONES

1. Se realizaron los análisis de la precipitación, considerando escalas de tiempo más finas, es decir, escala pentadal, que nos ha permitido estudiar la variabilidad climática con mayor resolución, pudiendo identificar los máximos relativos en la precipitación
2. La forma de la distribución de la precipitación, con nueve armónicos, permite identificar la(s) canícula(s) y regionalizar el comportamiento de los máximos relativos.
3. En el campo de temperaturas mínimas queda registrado también la canícula (se ve el efecto invernadero del vapor de agua).
4. Existe una relación directa entre temperatura máxima y precipitación en el norte de la República Mexicana y la parte continental del sur de Estados Unidos de Norteamérica, induciendo la presentación del monzón Mexicano y su parte complementaria –propuesta en este trabajo de investigación- responsable de la recurva de los vientos del este hacia el noreste de la República Mexicana y a su vez , de la disminución de la precipitación en el estado de Tlaxcala.
5. Se comprobó la hipótesis de Mosiño-García sobre los mecanismos de control de presentación de la sequía intraestival, a través del análisis de campos de viento en niveles bajos, utilizando el banco de datos mundialmente conocido como reanálisis.
6. Al analizar la recurva total del los vientos del Este pasando sobre el Golfo de México, como consecuencia del máximo calentamiento del Altiplano Norteamericano en su parte central, teniendo dos principales consecuencias:
 - a) Transportar aire húmedo hacia la parte central de los Estados Unidos de Norteamérica.
 - b) La suspensión o disminución de la precipitación sobre todo la parte Este de la República Mexicana en su parte del Altiplano Mexicano contribuyendo a la presentación de la canícula.
7. Se aplicó una prueba de tipo dinámico al banco de datos de reanálisis logrando explicar el reciente invierno fresco. Con lo cual se mostró que las conclusiones dinámicas inferidas, con respecto a la canícula, tienen validez a lo largo de la marcha mensual utilizada en esta investigación.

5.1. TRABAJOS FUTUROS.

1. Incluir en el estudio de regionalización un mayor número de estaciones climáticas.
2. Aplicar la misma metodología para explicar el Monzón Mexicano.
3. Extender los resultados actuales para los estados vecinos del Estado de Tlaxcala, con la finalidad de ver si existe una caracterización diferenciada en los comportamientos de los máximos relativos durante la presencia de la canícula.

6. REFERENCIAS

- Ayllón T., 1996. Elementos de Meteorología y Climatología. Editorial Trillas. México. D.F.
- Amador J, A, 1998. A climatic Feature of the Tropical Americas: The Trade Wind Easterly Jet. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*. Vol. 5, Num. 2, San José Costa Rica. pp. 91-102.
- CONABIO, 1997. Carta de Climas México. Sistema de Koppen modificado por E. García escala 1:1,000,000.
- El Sol de Tlaxcala., 17 octubre 2004. Ascenden a 60 mdp perdidas agrícolas. Pág. 4. Vol 17721. Tlaxcala, Tlax.
- Englehart P. J., Douglas. V.A., 2002. México's summer rainfall patterns: an análisis of regional modes and changes in their teleconnectivity. *ATMOSFERA*. Vol. 15. pp. 147-164. México. D.f.
- Flores E, M.A, 1984. Efectos de la Sequía Intraestival en la producción de los cultivos de temporal en el estado de Michoacán. Tesis de licenciatura en Geografía UNAM. México.
- García E, 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen México. D.F.
- Gay C., Hernández, V., M, Jiménez, L., J. Lezama, G., J. Magaña, R., O.V. Morales, A.,T. Orozco F.S., 2004 Evaluation of climatic forecasts of rain fall for the Tlaxcala State (México): 1998-2002 *ATMÓSFERA* Vol. 17, Num 3, México. D.F. pp127-150
- Hernández G, A.L, 1996. Efectos de la sequía intraestival en el cultivo del maíz en el Estado de Morelos tesis de licenciatura en Geografía UNAM. México.
- Herrera Vázquez, G, 2000. Caracterización Geográfica de la sequía en México. Tesis doctoral en Geografía, UNAM. México
- Hernández C. M.E., Torres T.L.A y Valdez M. G. 2000 Capítulo II Sequía meteorológica: Una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México págs. 25-39 Edit. Toffer. México.
- Hernández P. H. 2001. Caracterización espectral de la precipitación pluvial de acuerdo al ciclo vegetativo del maíz. Apizaco, Tlaxcala. Tesis de Licenciatura. en Biología Agropecuaria. U.A.T. Tlaxcala, Tlax.
- Hu Q., Feng, S., 2001 Climatic Role of Southerly Flow the Gulf of Mexico in Internnual Variations in Summer Rainfall in the central United States. *American Meteorological Society*. Volume 14. pp. 31563170.

- Jiménez L. J. 1991. Fechas de inicio de lluvias y probabilidad de sequía en el estado de Tlaxcala: Tlaxcala. Tesis de Lic. en Biología Agropecuaria Universidad Autónoma de Tlaxcala. México.
- Jiménez L. J., Morales A. T., Reyna T. T., Hernández V. M., Orozco F. S. y Gutierrez L. J. 2004 Dinámica de la Sequía Intraestival en el Estado de Tlaxcala. III Seminario Latinoamericano de Geografía Física. Puerto Vallarta, México, págs. 49-50.
- Krzysztofowicz R., 1998 Probabilistic Hydrometeorological Forecast: Toward a New Era in Operational Forecasting. Bulletin of American Meteorological Society. Vol.79, No. 2, pp. 243-251
- Magaña V.O., Pérez J. L., Conde C. y Medina S. 1997 El fenómeno de El Niño y la oscilación del sur (ENOS) y sus impactos en México. Reporte INE-Oct.97. México.
- Magaña V.O. y T. Morales, 1998. Variabilidad Climática y Agricultura, Claridades Agropecuarias (junio 1998).
- Magaña V.O., Amador J.A., and Medina S., 1999. The Midsummer Drought Over Mexico and Central America, Journal of Climate American Meteorological Society, Vol. 12 No. 6, pp. 1577-1588.
- Mosiño A.P., y E. García 1966. Evaluación de la Sequía Intraestival en la República Mexicana. En Conferencia Regional Latinoamericana de la Unión Geográfica Internacional Tomo III, 300-541
- Mosiño A.P., y T. Reyna T. 1988 La Interrupción del alisio por recurva de los ciclones tropicales en el Golfo de México, causa parcial de la sequía intraestival. Memorias de la segunda Reunión Nacional de Agroclimatología. UACH, Dpto. de Irrigación. Chapingo, México.
- Miles B. L., Lixion, A. A., Jack L. B., James L. F., Jhon I. G., And Richard J. P., 2001. Atlantic Hurricane Season of 1999. Annual Sumarry. Vol. 19. pp.30573084.
- Negrete R. C. 2002 Caracterización espectral de la precipitación pluvial de acuerdo al ciclo vegetativo del maíz en Tepechtlán, Zacatecas. Tesis, Físico, Facultad de Ciencias UNAM.
- Ortiz S.C.A 1981. Evaluación de la aptitud de las tierras de México para la producción de maíz, frijol y sorgo en condiciones de temporal. Colegio de Posgraduados. ENA. U.A.CH. México.
- Ortiz S.C.A 1987. Elementos de Agrometeorología Cuantitativa, con aplicaciones en la República Mexicana, 3ª. Edición Departamento de Suelos Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

- Peña H. H. 2001 Caracterización espectral de la precipitación pluvial de acuerdo al ciclo vegetativo del maíz: Apizaco, Tlaxcala. Tesis, Biólogo Agropecuario, Departamento de Agrobiología, UAT.
- Pérez J. L. 1997 Variabilidad climática regional en México. Fac. de Ciencias. UNAM
- Pérez R. O.L. 2000 Efecto del riesgo Climático y su Predicción sobre la Productividad Agrícola en el estado de Tlaxcala. Tesis de Lic. en Biología Agropecuaria. U.A.T.
- Quinteros O. R.L. 1991. Comportamiento de las principales variables climáticas que afectan a algunos cultivos en el área de influencia de Chapingo Edo. de México. Tesis de Maestría. Centro de Agrometeorología. Colegio de Posgraduados.
- Reyna T.T., y M. S. Taboada. 1993. Distribución y duración de la sequía intraestival en el estado de Morelos. En conferencia regional latinoamericana de la unión geográfica internacional. Tomo XVI; 175.181.
- Reyna T.T., Fernández. L. J.M., y Rodríguez S.M. 2004 Sequía intraestival en el occidente de las Islas de Cuba y de la Juventud e impacto en la actividad agrícola. III Seminario Latinoamericano de Geografía Física. Puerto Vallarta, México,
- Rojas S.M. 1988 Análisis del Impacto de los Eventos Extremos “ El Niño y La Niña” Sobre el Período de Crecimiento y Húmedo para el Maíz estado de Tlaxcala. Tesis de Lic. en Biología Agropecuaria. U.A.T.
- Síntesis Geográfica de Tlaxcala., 1986. Carta Estatal Fisiográfica, escala 1:250.00. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México. D.F.:
- Wayne H, R., Douglas, A., Hahmann, A., Berbery, H, E., Gutzler, D., Shuttleworth, J., Stensrud, D., Amador, J., Carbone, R., Cortez, M., Douglas, M., Lobato, R., Meitin, J., Ropelewski, C., Schemm, J., Schubert, S., Zhang, C. Progress in Pan American CLIVAR Research: The North American Monzón System. 2003. ATMOSFERA. Vol. 16, No. 1. pp. 29-65

7. APÉNDICE

7.1. APÉNDICE "A" EL maíz

La agricultura de temporal es directamente influenciada por la sequía relativa, ya que este fenómeno climático puede afectar las diversas fases fenológicas de los cultivos y consecuentemente producir una disminución en la producción final. Asimismo, si los factores abióticos (suelo y clima) son favorables para el establecimiento de zonas agrícolas, la sequía relativa es un índice de la disminución de la productividad potencial en zonas agrícolas.

El maíz es un cereal que se adapta ampliamente en diversas zonas del mundo, debido a sus condiciones ecológicas y edáficas, razón por la cual se cultiva en algunas zonas del mundo, el maíz constituye la base de la alimentación de los pueblos latinoamericanos. El ciclo vegetativo puede ser dividido en cuatro partes, germinación, crecimiento, floración y fecundación, maduración llenado de grano con diferentes períodos.

Con suficiente humedad y a partir de los 12° C de temperatura en el terreno, la cariósida del maíz inicia la germinación. De los involucros del revestimiento de la cariósida se origina primero la radícula y, poco después, la plúmula. Después destacan numerosas raicillas primarias que aseguran la nutrición de la plántula en los primeros estados de su desarrollo. Estas raíces primarias permanecen activas a lo largo de todo el ciclo vital de la planta, aunque su función va disminuyendo progresivamente en importancia.

Mientras se desarrollan las raíces primarias, la plúmula, protegida por el coleóptilo, se alarga. En condiciones normales de siembra, el primer nudo se halla siempre próximo a la superficie. La primera fase del desarrollo concluye pasado un mes, después de la germinación propiamente dicha, con la emisión de la tercera hoja y de las primeras raíces adventicias del nudo basal.

La fase de crecimiento se caracteriza por el alargamiento de los entrenudos, la emisión de las hojas y la formación de la gran masa de raíces adventicias. El alargamiento de la caña resulta muy rápido. La floración se inicia con el surgimiento de la inflorescencia masculina en la extremidad superior de la planta, y concluye, con la formación de una o más espigas en las axilas de las hojas de la parte media del tallo.

El número de espigas de la planta depende de la variedad, del estado nutritivo de aquella, pero lo común es una espiga por pie. En el maíz, la maduración del polen produce a la de los órganos femeninos. Para la floración es necesario que la temperatura sea superior a los 19 o 20°C.

La polinización es anemófila y frecuentemente cruzada (menos del 1% de casos de autogamia). El polen que cae sobre el estilo receptivo, es decir, bien turgente, germina produciendo un largo tubo polínico que alcanza el óvulo. Una vez terminada la fecundación, los estilos se secan.

La maduración comprende diversas fases, que como en el caso del trigo, se denomina, madurez láctea, madurez pastosa, madurez completa y madurez de muerte. Las exigencias climáticas del maíz se dirigen a valores relativamente altos, no tolera el frío a no ser que sea por tiempos cortos. En primavera, soporta hasta -3.5°C y, en el otoño -1.0°C , como valores mínimos y, como ya se ha dicho, sólo por poco tiempo.

Con respecto a la luminosidad, se le cultiva en México desde 14° de latitud norte, en el extremo sur del país, hasta los 32° en la frontera con los Estados Unidos. A nivel mundial, el rango de adaptación llega hasta los 50° en algunos lugares de Rusia y Canadá. En los meses de floración y de crecimiento, necesita las horas normales de luz. Para la madurez del grano se necesita un ciclo vegetativo aún más prolongado, con un verano (8 junio-julio-agosto) soleado con ocasionales precipitaciones y un otoño seco.

El maíz requiere de condiciones óptimas de suelo y clima para que se logren los más altos rendimientos. El maíz requiere de temperaturas moderadas a calientes, el límite inferior para su crecimiento está entre los 10 y 12°C . El límite superior favorable para el crecimiento depende de la humedad disponible. Cuando esta es abundante, el maíz crecerá bien a temperaturas mayores de 35°C , pero en condiciones normales de campo, las temperaturas máximas, entre 30 y 32°C son cercanas a lo óptimo. Cuando la humedad es escasa, las bajas temperaturas ayudan a la planta a tolerar un estrés hídrico.

Se considera al maíz más eficiente que la mayoría de los cultivos para el aprovechamiento de la humedad, requiere 370 partes de agua para producir una parte de materia seca en grano y rastrojo, lo anterior, indica que las necesidades de agua del cultivo, en condiciones óptimas, son de 800 a 1200 mm durante su ciclo vegetativo.

Desde el punto de vista climático, al parecer el único inconveniente del maíz para ampliar su distribución, es la susceptibilidad de la planta a heladas, quizá por su origen tropical, lo que obliga a los agricultores a introducir variedades precoces en los sitios donde éstas se presentan. El poder adaptativo del maíz, le ha permitido desarrollarse en los más diversos tipos de clima, de suelo y de relieve, su respuesta ante estos factores es diferente por lo que no siempre se obtienen los mejores resultados.

En nuestro país, el cultivo de dicho cereal se realiza en zonas que pueden tener clima seco, caliente-húmedo, en donde la temperatura y la precipitación varían grandemente e influyen en el desarrollo de la planta. Así que el cultivo de esta planta anual en nuestro país, se efectúa desde

unos cuantos metros sobre el nivel del mar hasta aproximadamente 3 000 msnm, sembrándose tanto planicies como en pendientes. Prácticamente toda la República es sembrada por maíz, aun cuando las condiciones ecológicas de muchos sitios no sean las más adecuadas para su cultivo.

A pesar de esta adaptación a tan diversas zonas, el maíz requiere según algunos autores, un mínimo de precipitación anual de 300 a 400 mm, siendo sobre todo importantes la lluvia de mayo a octubre. En cuanto a la precipitación máxima que necesita, su valor es muy variable, incluso se desarrolla en aquellos sitios que tienen hasta de 2 500 mm de precipitación total anual (Pérez, 2000).

7.2. APÉNDICE "B" EL MÉTODO DE FOURIER PARA SERIES DE TIEMPO

Posteriormente seleccionamos el promedio para cada una de las estaciones, y de esta forma aplicar el análisis de Fourier, guardando los resultados en Excel. y tener mayor resolución en las curvas. A continuación, describimos el método de desarrollo de una función discreta por medio de funciones periódicas, para poder simular las series de tiempo de las estaciones del estado de Tlaxcala, con el propósito de un momento dado, filtrar componentes de alta variabilidad, y para estudiar los sistemas que causan lluvia, desde un punto de vista de su función.

7.2.1. SERIES DE FOURIER.

La base de las Series de Fourier, es la de representar funciones periódicas por medio de funciones particulares, como son las trigonométricas. El estudio de fenómenos periódicos o cíclicos ha encontrado en las Series de Fourier una herramienta de gran importancia, principalmente en áreas como la biología, climatología, hidrología, termodinámica, etc. En general las Series de Fourier representan una forma conveniente de estudiar fenómenos cíclicos, como es el caso de la precipitación, temperatura, etc.

7.2.2. CONCEPTO DE SERIES DE FOURIER.

Una función $f(t)$ se dice que es periódica, si está definida para toda x real, y si existe un número positivo tal que:

$$f(x + T) = f(x) \quad (1)$$

Al valor T se le llama el período de $f(x)$. De la misma forma, generalizando, se entiende que si n es un entero cualquiera

$$f(x + nT) = f(x) \quad (2)$$

Las funciones periódicas más conocidas son las funciones trigonométricas, ya que satisfacen completamente la condición de periodicidad en (2).

Frecuentemente, en algunos problemas prácticos se presentan fenómenos periódicos (o que se les puede considerar como tales), y que es por lo tanto necesario tratar de representarlos por medio de alguna función periódica más sencilla. Esto puede realizarse por una serie trigonométrica de la forma.

$$f(x) = a_0 + \sum (a_n \cos_n x + b_n \sen_n x) \quad (3)$$

donde:

a_0, a_n y b_n son los coeficientes de la serie

7.2.3. SERIES DE FOURIER CON PERÍODO GENERAL.

Lo expuesto anteriormente sobre las Series de Fourier, de una función $f(x)$ con período de 2π , se debe realizar el siguiente cambio de variable

$$x = \frac{2pt}{T} \quad (4)$$

Así, la serie (4) para la función $f(x)$ se transforma en la Serie de Fourier siguiente

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos\left(\frac{2pt}{T}\right) + b_n \operatorname{sen}\left(\frac{2pt}{T}\right) \right) \quad (5)$$

donde:

T es un período cualquiera.

La expresión (5), es la ecuación general de una Serie de Fourier. De aquí, puede ser observado que si $T = 2p$, se tiene nuevamente la forma dada en (4), como era de esperarse. Las fórmulas correspondientes para el cálculo de los coeficientes de la serie son:

$$a_0 = \left(\frac{1}{T}\right) \int_0^T f(t) dt \quad (6)$$

$$a_n = \left(\frac{2}{T}\right) \int_0^T f(t) \cos\left(\frac{2_n pt}{T}\right) dt$$

$$b_n = \left(\frac{2}{T}\right) \int_0^T f(t) \operatorname{sen}\left(\frac{2_n pt}{T}\right) dt$$

7.2.4. ANÁLISIS CON ARMÓNICOS.

Cuando se analiza una serie de datos y se encuentra que estos fluctúan hacia abajo de su valor medio, es frecuentemente útil ajustarlos por series de Fourier con el fin de investigar sus características periódicas, tendencia, etc. El problema principal para esto, radica en el hecho de que los datos no se encuentran dados como una expresión analítica, si no como una serie de tiempo de valores discretos, generalmente espaciados a intervalos regulares de tiempo.

De esta forma, si se tiene una serie de tiempo de datos expresados como un número finito de puntos en un cierto intervalo, estos pueden ajustarse mediante una serie de Fourier, en funciones senos y cosenos. A la determinación de los coeficientes a_0 , a_n y b_n de la serie de este tipo, es a lo que se le conoce como Análisis Armónico. Las integrales de las fórmulas de Euler-

Fourier se calculan aproximadamente al sustituirlas por sumatorias. Las fórmulas para el cálculo de los coeficientes se transforman en:

$$a_0 = \left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=1}^N f(i)$$

$$b_0 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{N}\right) f(i) \cos\left(\frac{2_n p t(i)}{T}\right) \quad (7)$$

$$b_0 = \left(\frac{2}{N}\right) \sum_{i=1}^N f(i) \text{sen}\left(\frac{2_n p t(i)}{T}\right)$$

donde:

- N es el número de datos o longitud del período fundamental
- $f(i)$ es el valor de la i -ésima observación
- n es el número de armónicos
- $t(i)$ es el tiempo
- T es el período

Así, el análisis armónico proporciona el método para descomponer una señal (por ejemplo, un registro de datos de precipitación) en sus componentes armónicas, y conocer de este modo, los constituyentes periódicas más importantes que se presentan en ésta.

A la onda formada por los primeros dos términos de la serie de Fourier, se le conoce como primera armónica o como la oscilación u onda fundamental. Si el comportamiento de un fenómeno, no es explicado satisfactoriamente con la serie de Fourier formada por a_0 y la primera

armónica $\left\{ \left(a_1 \cos\left(2_n \frac{p t(i)}{T} \right) + b_1 \text{sen}\left(\frac{2 p t(1)}{T} \right) \right) \right\}$ es necesario calcular las siguientes. La segunda

armónica tiene un período igual a la mitad del período fundamental, es decir, varía dos veces más rápidamente, la tercera, un tercio del período fundamental y así sucesivamente hasta la armónica número $\frac{N}{2}$, que es la última que se puede calcular, y que tiene un período, $\frac{1}{N}$, del período fundamental (Fig. 3).

Por otra parte, si de antemano se sabe que el sistema que se pretende analizar con Series de Fourier sufre variaciones cíclicas o periódicas, es posible, si se conoce aproximadamente el período de estas variaciones, calcular independientemente las armónicas que representen estos cambios. En caso de ignorar esto (que es lo más común), es necesario calcular la serie con el mayor número de armónicas o en todo caso la serie completa con $\frac{N}{2}$ armónicas. De esta manera, se puede extraer las componentes periódicas mas importantes que se generan en los datos del sistema que es analizado.

Un problema con el que nos encontramos, en un análisis como éste, es el conocimiento del período fundamental T , por lo general este valor es desconocido y se le debe asignar un valor arbitrario. El valor que se asigna, comúnmente es uno igual o mayor al número de datos utilizados. Si bien la elección de este valor pudiera parecer incorrecta, esto es compensado con el cálculo de un número suficiente de armónicas, de modo que cualquier periodicidad importante que exista en el fenómeno, se haga presente en la serie de Fourier calculada finalmente. Así, es probable que, algunas armónicas tomen un valor cerca a cero y sólo aquellas que muestren periodicidades significativas permanecerán en la serie.

Una vez los coeficientes de cada armónica han sido calculados, puede resultar más fácil la interpretación, si se sintetiza a los dos miembros de cada armónica en forma siguiente.

$$A_n \text{ sen } (nx + \Phi_n) \quad (8)$$

donde:

n : es el número de armónico

dado que,

$$\text{sen } (nx + \Phi_n) = \cos nx \text{ sen } \Phi_n + \text{sen } nx \cos \Phi_n$$

la ecuación (8) se expresa como

$$A_n \text{ sen } (nx + \Phi_n) = A_n \text{ sen } \Phi_n \cos nx + A_n \cos \Phi_n \text{ sen } nx \quad (9)$$

Considerando que $a_n = A_n \text{ sen } \Phi_n$ y $b_n = A_n \cos \Phi_n$, la ecuación (9) toma la forma siguiente

$$A_n \text{ sen } (nx + \Phi_n) = a_n \cos nx + b_n \text{ sen } nx \quad (10)$$

que es la forma con que se expresa a la n -ésima armónica de una serie de Fourier.

Por lo tanto, si a_n y b_n son conocidos, se pueden calcular los valores de Φ_n y A_n , por medio de las relaciones siguientes:

$$\Phi_n = \text{arc tan } (a_n/b_n) \quad (11)$$

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} = (a_n^2 + b_n^2)^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

El valor A_n se conoce como la amplitud de la n -ésima armónica y representa el todo rango, desde el punto más bajo al más alto de la onda de representada por la armónica.

De la misma forma Φ_n es el Ángulo de Fase, el cual indica el punto del ciclo donde la onda alcanza su valor máximo.

|----- T -----|



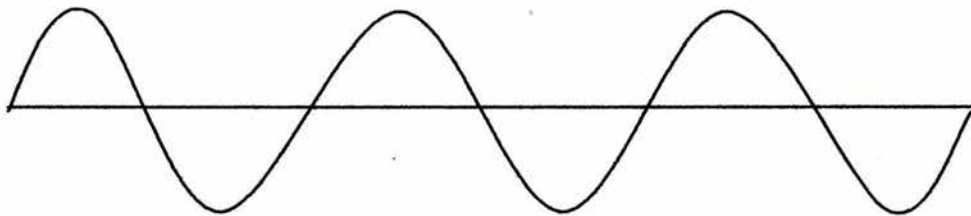
1a

|----- T/2 -----|

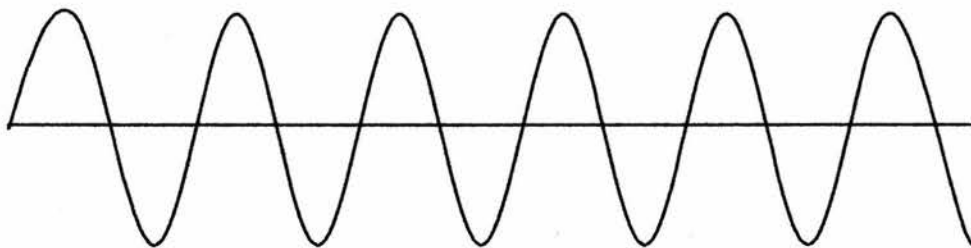


2a

|----- T/3 -----|

3^a

|----- T/6 -----|



6a

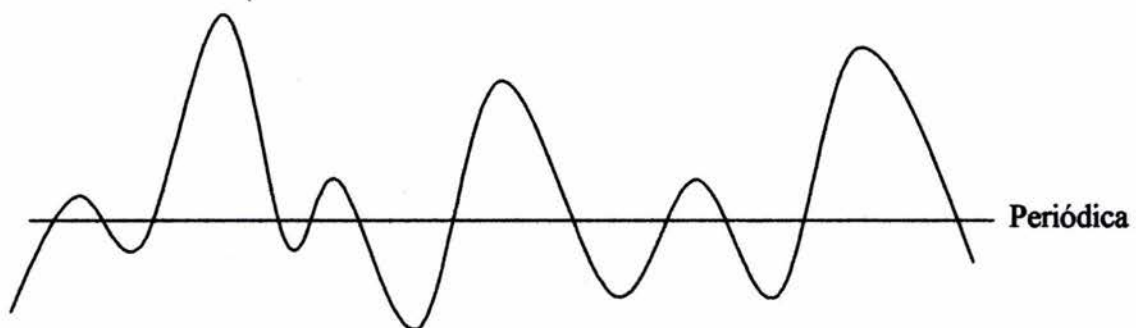


Figura 14. Representación gráfica de las armónicas individuales de una serie de Fourier y la función periódica resultante de la suma de todas las armónicas.