



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA

ANÁLISIS DE LAS VARIABLES CLIMATOLÓGICAS DE LA
COSTA DE CHIAPAS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL
(HIDRÁULICA)

PRESENTA
LEONARDO DANIEL AMORES ROVELO

DIRECTOR DE TESIS
DR. CARLOS A. ESCALANTE SANDOVAL

CD.UNIVERSITARIA

MARZO DE 2011



JURADO ASIGNADO:

Presidente: **Dr. Jesús Gracia Sánchez**

Secretario: **Dr. Rodolfo Silva Casarín**

Vocal: **Dr. Carlos Agustín Escalante Sandoval**

1 er. Suplente: **Dra. Lilia Reyes Chávez**

2 do. Suplente: **M. I. Víctor Franco**

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM

TUTOR DE TESIS:

Dr. Carlos Agustín Escalante Sandoval

FIRMA

A Dios por la existencia de mi vida

A la memoria de mi abuelito quien fue un padre para mi

A mi madre con cariño y dedicación

Al Dr. Escalante por el conocimiento que quiso compartir conmigo

A mis profesores por sus valiosas enseñanzas

A Angélica por apoyarme siempre

Y a mis amigos Luis y Jorge

RESUMEN

Es innegable que la variación climática ha comenzado a incrementar los impactos negativos desde el punto de vista económico, social y ecológico en México, sobre todo en su región sureste.

Este trabajo analiza la variación temporal de las temperaturas máximas y mínimas, la precipitación y evaporación de la llamada Costa de Chiapas, para lo cual se procesó la información climatológica disponible del periodo 1960 al 2007.

El análisis consistió en verificar si existe o no tendencia en el promedio de las variables de temperatura máxima, media y mínima, de estas también se realizó un análisis de olas de calor. En la precipitación se analizó la tendencia tanto del número de días con lluvia de diferente magnitud, como la del máximo acumulado anual de 1 a 10 días consecutivos; también se calcularon las curvas i-d-T para periodos de retorno correspondientes a 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años. Por último, en la evaporación se realizó el análisis de tendencias del máximo acumulado anual de 1 a 10 días consecutivos.

Se compararon las condiciones promedio que se tenían en el periodo 1960-1983 con aquellas que se presentaron en el periodo 1984-2007. Con referencia a las temperaturas se observan cambios en las tendencias de las series en la mayor parte de la Costa de Chiapas. Para la temperatura máxima los movimientos más significativos se presentaron en el municipio de Mazatán, ya que para el mes de septiembre un incremento de 1.16°C, en tanto que en el municipio de Mapastepec se redujo 0.87°C en el mes de marzo. La temperatura media el municipio de Mazatán se incrementó de 1.59°C en el mes de enero y se redujo 1.49°C para el mes de marzo en el municipio de Suchiate. Finalmente, para el caso de la temperatura mínima el mayor incremento se obtuvo en el municipio de Mazatán para el mes de diciembre con 1.29°C; y disminuyó para el mes de junio 1.62°C en Chahuites, municipio de Oaxaca.

En la precipitación se observó en la parte sur de la Costa de Chiapas incremento del máximo acumulado anual de 2 a 10 días consecutivos. La presencia de los eventos extremos que ocurrieron en los últimos años tuvo un impacto significativo en la construcción de las curvas de intensidad de lluvia-duración-periodo de retorno, puesto que al calcular dichas curvas considerando los registros de 1960 a 1993 y compararlos con aquellos obtenidos con el registro de 1960 a 2007, los eventos aumentaron en promedio un 22% para un $Tr = 100$ años, lo que indica la necesidad de actualizar continuamente el cálculo de ellas ya que repercutirán en el diseño de obras hidráulicas. Por otro lado, del análisis de tendencias del número de días con lluvia de diferente magnitud (de acuerdo a la clasificación de CONAGUA) se observa que, en general, han aumentado aquellos con lluvia cero e incrementado con lluvias torrenciales, lo que provoca un aumento potencial de inundaciones, deslaves, erosiones y otros daños severos.

En la variable evaporación se obtuvo un notable incremento en el máximo anual acumulado de 2 a 10 días consecutivos en la parte noroeste de la costa de Chiapas.

Finalmente, del análisis de la tasa de morbilidad por cada 100,000 habitantes se observó un incremento en enfermedades respiratorias, intestinales y dermatológicas, lo cual afirman varios investigadores son debidas al incremento en la temperatura.

Con este análisis, se concluye que ya se observan cambios en el patrón climatológico de la Costa de Chiapas, que pueden afectar seriamente en el corto plazo las actividades económicas y sociales de sus habitantes, por lo que es necesario que las autoridades competentes tomen las medidas pertinentes para lograr el desarrollo sustentable de las cuencas.

Palabras claves: Variación climática, homogeneidad, temperatura, precipitación, evaporación, olas de calor, curvas i-d-T, morbilidad.

ABSTRACT

It is undeniable that climate change has begun to increase the negative impacts from the economic standpoint, social and ecological environment in Mexico, especially in the Southeast.

This paper analyzes the temporal variation of maximum and minimum temperatures, precipitation and evaporation of the Costa de Chiapas, for which weather information is processed in the period 1960 to 2007.

The analysis was to verify whether there is trend in the average maximum temperature variables, mean and minimum. Of these variables also conduct an analysis of heat waves. In the precipitation variable analyzed the trend in both the number of days with rain of varying magnitude, such as the annual cumulative maximum of 1 to 10 consecutive days were also calculated i-d-T curves return periods corresponding to 2, 5, 10, 20, 50 and 100 years. Finally, the evaporation was variable trend analysis of annual aggregate maximum of 1 to 10 consecutive days.

We compared the average conditions that were in the 1960-1983 period with those that occurred in the period 1984-2007. With reference to temperature changes are observed in the trends of the series in most of the Costa de Chiapas. Maximum temperature for the most significant movements occurred in the municipality of Mazatán since September for an increase of 1.16 ° C, while in the town of Mapastepec dropped 0.87 ° C in March. The average temperature Mazatán municipality increased from 1.59 ° C in January and 1.49 ° C was reduced for the month of March in the municipality of Suchiate. Finally, in the case of the minimum temperature achieved the largest increase in the municipality of Mazatán for the month of December with 29.1 ° C, and decreased for the month of June in Chahuities 1.62 ° C, municipality of Oaxaca.

In that precipitation was observed in the southern part of the Costa de Chiapas cumulative maximum annual increase of 2 to 10 consecutive days. The presence of extreme events that occurred in recent years had a significant impact on the construction of the curves of rainfall intensity-duration-return period, since the calculation of these curves considering the records from 1960 to 1993 and compared with those obtained registration from 1960 to 2007, the events increased on average by 22% for Tr=100 años, indicating the need to continually update the calculation of them and that will affect the design of hydraulic works. On the other hand, analysis of trends in the number of days with rain of varying magnitude (according to the classification of CONAGUA) shows that in general have increased those with zero rainfall and increased with torrential rains, causing a potential increase floods, landslides, severe erosion and other damage.

In the evaporation variable showed a considerable increase in the maximum cumulative annual 2 to 10 consecutive days in the northwestern part of the Costa de Chiapas.

Finally, analysis of the morbidity rate per 100,000 was an increase in respiratory, intestinal and skin diseases, which claim various investigators are due to the increase in temperature.

This analysis concludes that there are already changes in the weather pattern of the Costa de Chiapas, which can seriously affect the short-term economic and social activities of its inhabitants, making it necessary that the competent authorities take appropriate measures to achieve sustainable development of watersheds.

Keywords: climate change, uniformity, temperature, precipitation, evaporation, heat waves, i-d-T curves, morbidity.

INDICE

Introducción	1
Objetivo	3
Capítulo 1. La Costa de Chiapas	4
Medio físico	4
Vegetación	5
Economía	6
Capítulo 2. Análisis de la calidad y cantidad de la información	8
Selección de las estaciones climatológicas	8
Selección del rango y depuración de información	10
Método de interpolación de la distancia inversa	11
Capítulo 3. Interpolación de datos	12
Distancia con la fórmula de Vincenty	12
Observación	13
Criterios de interpolación	14
Capítulo 4. Pruebas de hipótesis	17
Concepto	17
Homogeneidad temporal	17
Nivel de significancia	17
Prueba de independencia de Anderson	18
Pruebas de homogeneidad	18
Prueba de Helmert	18
Prueba de <i>t</i> de Student	19
Prueba de Cramer	19
Prueba de Mann-Kendall	20
Observación	21
Capítulo 5. Análisis de las variables climatológicas	22
Olas de calor	22
Análisis de olas de calor en la variable temperatura media observación	23
Análisis de olas de calor en la variable temperatura máxima observación	28
Análisis de olas de calor en la variable temperatura mínima observación	31
Tendencia mensual e incrementos en grados centígrados de las variables de temperatura máxima, media y mínima	34
Observación temperatura máxima	48
Observación temperatura media	49
Observación temperatura mínima	50
Variable precipitación	51
Análisis por décadas	51
Curvas i-d-T	53
Análisis de máximos anuales de días acumulados	56
Observación de la tendencia de días acumulados	57
Tendencia del número de días con lluvia	59
Observación	61
Variable evaporación	62
Análisis de máximos anuales de días acumulados	63
Observación	65
Análisis de morbilidad	66
Observación	68
Conclusiones	69
Referencias	70
Bibliografía	71

SIMBOLOS Y ABREVIATURAS

CV	<i>coeficiente de variación</i>
R	<i>coeficiente de correlación</i>
$^{\circ}C$	<i>grados centígrados</i>
m	<i>metros</i>
km	<i>kilómetros</i>
p_e	<i>dato estimado en el sitio e en la interpolación IDW</i>
p_i	<i>dato medido en la estación i en la interpolación IDW</i>
w_i	<i>denota el peso de la estación en la interpolación IDW</i>
β	<i>exponente en la interpolación IDW</i>
d_{ij}	<i>distancia entre estaciones</i>
a	<i>longitud del eje mayor del elipsoide (radio en el ecuador)</i>
b	<i>longitud del eje menor del elipsoide (radio en los polos)</i>
f	<i>aplanamiento del elipsoide</i>
φ	<i>latitud</i>
U	<i>latitud reducida</i>
λ	<i>longitud</i>
L	<i>diferencia de longitudes</i>
s	<i>distancia elipsoidal</i>
r_j^k	<i>coeficiente de autocorrelación serial</i>
Q_i^j	<i>eventos de la serie analizada</i>
t_a	<i>estadístico de la prueba t de Student</i>
t_w	<i>estadístico de la prueba de Cramer de cada submuestra (30 y 60%)</i>
sgn	<i>signo adoptado en la prueba de Mann Kendall según la diferencia de eventos</i>
t	<i>en la prueba de Mann Kendall, número de datos iguales</i>
Tr	<i>periodo de retorno</i>
EEA	<i>error estándar de ajuste</i>
I	<i>incremento</i>
D	<i>decremento</i>
E	<i>estable</i>
$i-d-T$	<i>intensidad duración periodo de retorno</i>
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>
IDW	<i>Inverse Distance Weighted</i>

Introducción

Aunque el planeta ha experimentado un incremento exponencial en las pérdidas humanas debido a los desastres naturales, persisten los debates sobre el aumento en la frecuencia e intensidad de los eventos meteorológicos extremos, en particular aquellos debidos al cambio climático.

El clima es un sistema complejo y cambiante de circulación de aire de la atmosfera en permanente intercambio de energía con el mar y la superficie terrestre, la fauna de cada lugar, la cantidad de agua disponible y las formas de vida de cada región del mundo.

Desde hace más de 20 años los científicos del mundo han advertido que la temperatura del planeta se ha incrementado debido a la actividad industrial, y que esto ha causado cambios en el clima de la tierra. En particular, la temperatura media global de la superficie terrestre en los últimos 100 años se ha incrementado en promedio 0.5°C , mientras que el nivel del mar ha aumentado de 10 a 25 cm; y los glaciares de las montañas se han reducido en todo el planeta.

Por otro lado, si el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero sigue como hasta ahora, la temperatura media global de la superficie terrestre será de 1.2 a 3.5°C mayor que la actual hacia el año 2080. Los continentes se calentarán el doble de rápido que los océanos; y también se notará más el aumento de temperatura en los inviernos en latitudes altas. Se incrementará la ocurrencia de las inundaciones, sequías y olas de calor.

Otro efecto negativo será el incremento en el nivel del mar, ya que se espera que para el año 2080 aumente unos 40 cm en promedio global, afectando a millones de personas por efecto de las inundaciones costeras. La gran mayoría de países del sudeste asiático, África oriental y del Mediterráneo, así como de las islas del Caribe, del Océano Índico y del Pacífico corren el riesgo de desaparecer.

El aumento de temperatura junto con la alteración de régimen de lluvias y la salinización por intrusión de los acuíferos costeros hará que en muchas zonas se tengan varios problemas de abastecimiento de agua. Se estima que en el año 2080 unos 3000 millones de personas sufrirán escasez de agua, especialmente en zonas que presentan graves problemas de abastecimiento.

Las cosechas se verán alteradas por dos factores: el calor, que induce mayor evapotranspiración de las plantas, requiriendo por ello de más agua, y la abundancia de CO_2 , que tiene un efecto fertilizante. Las previsiones son de aumento de los rendimientos en los cultivos en latitudes medias y altas, y menor producción en zonas subtropicales, lo que puede provocar en este último caso, grandes hambrunas.

El aumento global en las temperaturas también generará la extinción de algunas especies de animales y plantas, además de la propagación de distintos tipos de enfermedades.

La gente que más va a sufrir las consecuencias de la alteración del clima es la que menos ha contribuido a provocarla. La única vía para mitigar los efectos del cambio climático es disminuir las emisiones de CO_2 hasta niveles que retrasen estos impactos negativos, de modo que las poblaciones y los ecosistemas tengan tiempo suficiente para adaptarse.

El deterioro del medio ambiente incrementa la intensidad de los desastres naturales, y es a menudo el factor que transforma un peligro natural, o un evento climático extremo, tal como un fuerte aguacero, es un desastre. Por ejemplo, las inundaciones se ven agravadas e incluso causadas por la deforestación, la cual provoca erosión y obstrucción de ríos, tal como ocurrió en 1998 en la llamada Costa de Chiapas.

En un mundo globalizado, la reducción del riesgo de desastres es un elemento esencial para promover la competitividad y fomentar el desarrollo sustentable e involucrar medidas legales y reglamentarias, reformas institucionales, educación, planificación financiera y compromiso político de los diferentes sectores, los cuales tomen en cuenta los aspectos prioritarios de salud, agricultura y medio ambiente.

El conjunto de medidas a adoptarse deberán estar sustentadas en el análisis del patrón de comportamiento de las variables climatológicas.

En el capítulo 1 se ubica a la zona de estudio denominada Costa de Chiapas así como sus características del medio físico, vegetación y su economía. El capítulo 2 se refiere a la selección de estaciones climatológicas y la depuración de información, debido a la porosidad en las muestras se hace uso de la interpolación de la distancia inversa.

Pasando al capítulo 3 se hace uso de la fórmula de Vincenty y se interpolan los datos, al final del capítulo, se verifica la efectividad de la interpolación.

En el capítulo 4 se expone en qué consisten las diferentes pruebas estadísticas utilizadas en esta tesis, para determinar si existe tendencia en el patrón de las variables climatológicas analizadas.

Del capítulo 5 se tiene el análisis de olas de calor en las temperaturas y de su tendencia mensual e incrementos en grados centígrados, por otra parte de la variable precipitación se analizan las curvas de intensidad de lluvia-duración- periodo de retorno , la tendencia del acumulado de días consecutivos y la tendencia del número de días con lluvia de diferente magnitud (de acuerdo a la clasificación de CONAGUA), en la variable evaporación se analiza la tendencia del acumulado de días consecutivos, al final de este capítulo se incluye un análisis de morbilidad que consiste en verificar la tendencia de enfermedades respiratorias, intestinales y dermatológicas.

Finalmente, en la conclusión se exponen los resultados del análisis de las variables climatológicas así como las recomendaciones necesarias.

Objetivo

Determinar el comportamiento de la variación espacial y temporal en el patrón de ocurrencia de las variables climatológicas de temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación de lluvia y evaporación y que cambios experimentan los municipios de la Costa de Chiapas en estas variables climatológicas.

En la variable de temperatura media analizar la tendencia mensual verificando el incremento en grados centígrados que ha sufrido la Costa de Chiapas en el periodo 1960-2007, elaborar mapas e identificar los municipios que mayor incremento han mostrado por otra parte se analizarán las olas de calor identificado la probabilidad de ocurrencia de cada ola de calor, de las duraciones que se obtengan de este análisis se elaboraran mapas para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20,50 y 100 años.

En la temperatura máxima también se analizará la tendencia mensual verificando el incremento en grados que ha sufrido la Costa de Chiapas en esta variable en el periodo 1960-2007, con ello elaborar mapas e identificar los municipios que mayor incremento han presentado al igual que la temperatura máxima se analizarán las olas de calor identificado la probabilidad de ocurrencia de cada ola de calor, de las duraciones que se obtengan de este análisis se elaboraran mapas para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20,50 y 100 años.

En la temperatura mínima se examinará la tendencia mensual verificando el incremento en grados que ha sufrido la Costa de Chiapas en el periodo 1960-2007, también se construirán mapas y se identificarán los municipios que mayor incremento han mostrado después se analizarán las olas de calor identificado la probabilidad de ocurrencia de cada ola de calor, de las duraciones que se obtengan de este análisis se elaborarán mapas para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20,50 y 100 años.

En la precipitación de lluvia evaluar el cambio que presentan los máximos acumulados anuales de 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 días así como en su comportamiento del número de días mensual y anual, en el intervalo de 0 a 0.1 mm de 0 a 5mm lluvias ligeras, de 5 a 20 mm lluvias moderadas, de 20 a 70 mm lluvias fuertes, de 70 a 150 mm lluvias intensas y las mayores de 150 mm lluvias torrenciales, también se identificarán aquellos municipios que mayor incremento han presentado y se obtendrán las curvas i-d-T para los periodos de retorno de 2,5,10,20,50 y 100 años desde menores a una hora hasta 24 horas.

En la evaporación se evaluará el cambio que presentan la tendencia de los máximos acumulados anuales de 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 días y los municipios que presenten mayor cambio en esta variable.

También un análisis de morbilidad del estado de Chiapas, estudiando la tendencia que presentan las enfermedades de tipo respiratorio, intestinales y dermatológicas.

Mediante los polígonos de Thiessen se analizará el cambio que ha presentado cada municipio de la Costa de Chiapas en las variables climatológicas, con la aportación de las áreas de influencia de cada estación en los municipios.

Capítulo 1.

Costa de Chiapas

1.1 Medio físico

El estado de Chiapas se encuentra ubicado en los paralelos $17^{\circ}59'$ y $14^{\circ}32'$, de latitud norte; y los meridianos $90^{\circ}22'$ y $94^{\circ}14'$ de longitud oeste con una extensión territorial del estado está calculada en 75 344 Km² y representa el 3.8 por ciento de la superficie total del país, es el octavo estado más grande del país; Chiapas colinda al este con Guatemala, al oeste con Oaxaca, al norte con Tabasco, al sur con el océano Pacífico y al noroeste con Veracruz. Se divide en 118 municipios y en 7 regiones fisiográficas: Llanura costera del Pacífico, Sierra Madre de Chiapas, Depresión central, Bloque central, Montañas del Norte, Montañas del Oriente y Llanuras aluviales del Norte.



Figura 1.1 Localización de la región “Costa de Chiapas”

La región denominada Costa de Chiapas es una franja dispuesta en forma paralela al océano pacífico la cual está definida por la existencia de la Sierra Madre de Chiapas, que origina un parteaguas paralelo a la costa y comprende desde el río Tapanatepéc hasta el río Suchiate, abarca desde los $14^{\circ}30'$ a los $16^{\circ}33'$ de latitud norte y de los $92^{\circ}4'$ a los $94^{\circ}19'$ de longitud oeste con una superficie total de 13591 km² y está constituida por 17 municipios de Chiapas, iniciando desde Arriaga hasta Suchiate, lo cual tiene una distancia aproximada de 260 km.

El clima en la costa es cálido subhúmedo con lluvias en verano, la vegetación es de selva baja y espinosa o selva caducifolia en las vegas de los ríos. No obstante, buena parte de esta vegetación original ha sido sustituida por praderas para la cría de ganado bovino en estas áreas forestales se han sufrido fuertes impactos negativos debido a prácticas no controladas de extracción de madera.

En esta región se destacan elevaciones que van desde los 0 - 500 msnm, está constituida por material de depósito proveniente de la sierra. Presenta un relieve uniformemente plano, del cual sobresale el cerro Bernal al sur de Tonalá, el suelo de esta región se caracteriza por ser profundos y salitrosos conforme su cercanía al mar, aunque, hacia el sur, por la naturaleza del material que lo constituye (cenizas, volcánicas principalmente), aunado a las condiciones climáticas, existen mejores condiciones edafológicas.

1.2 Vegetación

En cuanto a su vegetación es de selva mediana caducifolia, aunque actualmente ha sido sustituida, casi en su totalidad, por pastizales para el ganado y extensos campos agrícolas. Además se destaca un gran ecosistema de manglares en los esteros que van desde Tapachula hasta Tonalá mejor conocida esa zona como Reserva de la Biosfera de la Encrucijada.

Dentro de esta región destaca el sistema hidrológico de la Llanura costera, el cual está constituido por los ríos Suchiate, Cahoacán, Texcuyapan, Coatán, Cuilco, Huehuetan, Huixtla, Fortuna, Cacaluta, San Nicolás, Novillero, Pijijiapan, Urbina, Ocellapa, Zanatenco, Tiltepec y Lagartero, estos en su mayoría son de longitudes cortas, no muy hondos en profundidad, y en su mayoría nacidos de la Sierra Madre de Chiapas pero no con suficiente caudal para desembocar en el mar por lo que lo hacen a través de Esteros, Lagunas, Barras, Boca - Barras. Estos ríos en su mayoría producen un riesgo cuando se encuentra un ciclón ya que debido a su poca profundidad se desbordan en algunas ocasiones.

La lámina de lluvia media anual de la zona es de 2660 mm, y se concentra en los meses de mayo a octubre, temporada en la que llueve casi el 90 % del total anual. la temperatura media queda restringida dentro de los 22.5°C a los 28.2°C, la lamina de evaporación media es de 1660 mm.

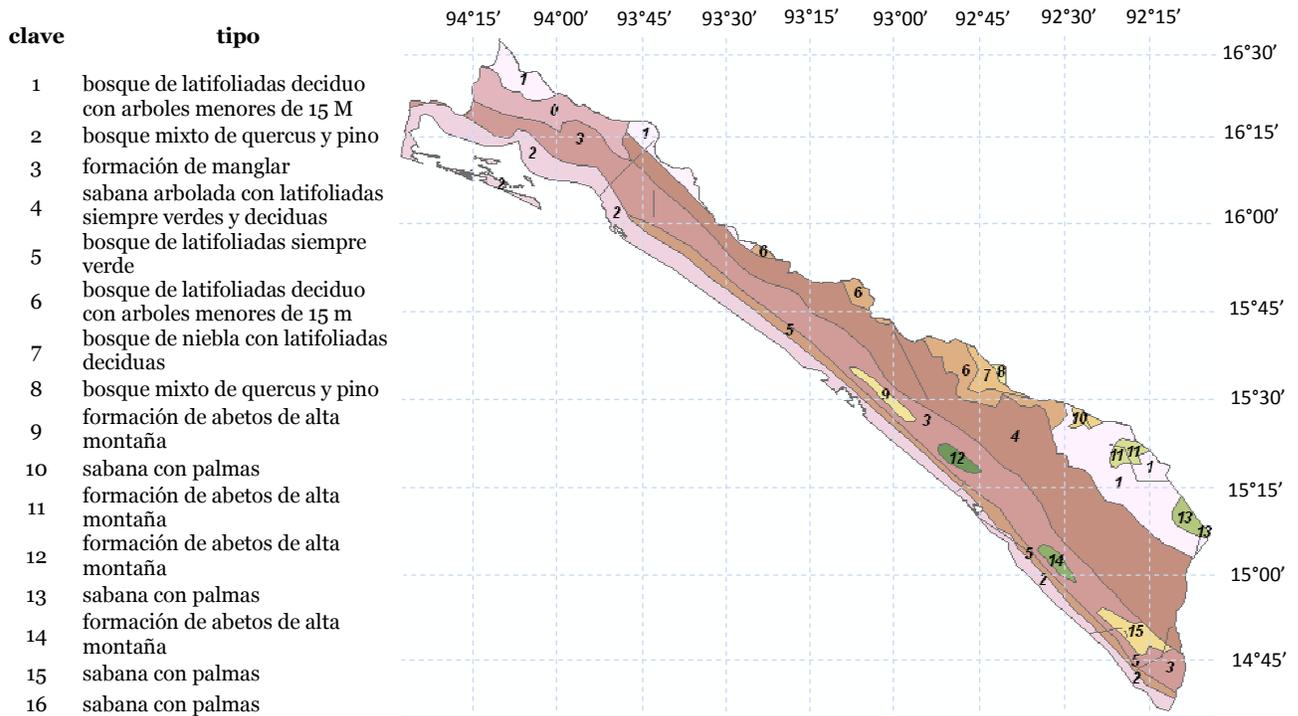


Figura 1.2 Vegetación de la Costa de Chiapas (INEGI)

1.3 Economía

Por su economía la Región Costa se puede agrupar en dos zonas la VIII Soconusco y IX Istmo Costa

VIII. Soconusco

La región Soconusco se localiza en el sureste del estado. Por su variedad orográfica existe diversidad de climas y suelos, su principal riqueza es la agricultura, dedicándose a esta actividad 400 mil hectáreas, 80% del total de la región.

Los cultivos más importantes son el café con 75 mil hectáreas cultivadas, siendo el primer productor a nivel nacional, le sigue en importancia el plátano de exportación con 15 mil hectáreas de riego y el maíz con 43 mil hectáreas cultivadas.

Por su ubicación estratégica, la región Soconusco tiene una importancia comercial preponderante por que concentra las principales vías de comunicación que son paso obligado hacia los países de Centroamérica. Tapachula constituye un polo de desarrollo económico y el mercado más importante para las regiones del Soconusco, istmo-costa, Sierra y Guatemala.

Esta región está conformada por 16 municipios en un espacio de 5475 kilómetros cuadrados, equivalente al 7.2% del territorio estatal. La cabecera municipal se localiza en la ciudad de Tapachula. El 16.5% de la población de 15 años y más de la región es analfabeta, para combatir el analfabetismo cuenta con 1927 escuelas y 9197 personas dedicadas a la educación.

En comunicaciones y transportes cuenta con 3294.4 km de carretera tanto federal como estatal y un aeropuerto internacional, además dispone de 335 oficinas postales. La población derechohabiente de las instituciones de seguridad social representan el 38.1% del total regional, de los cuales 79.4% tienen derecho al IMSS, 16.3% al ISSSTE y 4.3% al ISSTECH. La cobertura de salud proporciona 151 clínicas de consulta externa y 7 de hospitalización general. En cuanto a servicios básicos, 65.2% de las viviendas cuentan con aguas entubadas, 73.5% con drenaje y 90.7% disponen de luz eléctrica.

Es una de las regiones mejor comunicadas del estado, cuenta con carretera de cuatro carriles Arriaga-Tapachula; la línea de ferrocarril panamericano que recorre la costa y el Soconusco hasta la Ciudad de Hidalgo, que es la frontera con Guatemala. Los 145 kilómetros de litoral en el Océano Pacífico y la importancia de la zona estuaría representa un potencial pesquero relevante para la región, contando además con un puerto de altura con infraestructura subutilizada.

El potencial turístico lo constituyen sus recursos naturales y la gran variedad de paisajes, entre las que se mencionan las barras de San José y San Simón en Mazatán, los manglares y esteros de las Palmas y Zacapulco en Acapetahua; así como la zona arqueológica de Izapa.

El Soconusco es una región sobreexplotada, con un fuerte deterioro ecológico, por lo que las lluvias han disminuido y la producción agrícola de temporal es menos productiva. Se tienen algunas zonas con problemas de erosión y de contaminación por productos agroquímicos que son arrastrados hacia el litoral y el flujo de los ríos de aguas negras que tienen origen en las principales cabeceras municipales.

La infraestructura industrial de esta región, está representada por el Parque Industrial de Puerto Madero, con los servicios básicos para el asentamiento de empresas industriales, en el se ubican la planta “Pescados de Chiapas”, subutilizada por la escasa captura de atún, principal materia prima para esta empresa. En Huixtla se ubica un ingenio azucarero y rastro frigorífico para el sacrificio de ganado bovino. Esta región no tiene presencia de población indígena.

IX. Istmo-Costa

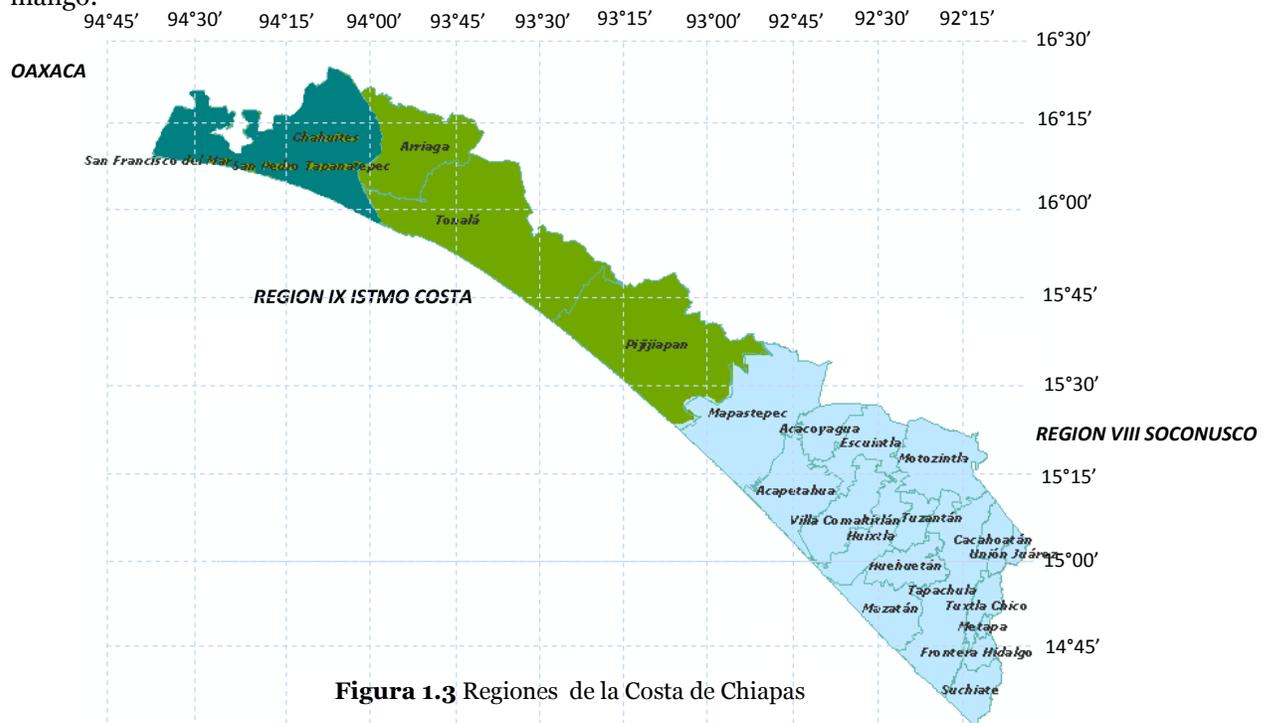
Esta región está integrada por 3 municipios en un espacio de 4643 kilómetros cuadrados, equivalente al 6.1% del territorio estatal. La cabecera municipal se encuentra localizada en la ciudad de Tonalá. El 16.9% de la población de 15 años y más de la región es analfabeta. Para satisfacer esta demanda educativa en la región se dispone de 619 escuelas y 2572 personas dedicadas a la educación.

Con relación a comunicaciones y transportes existen 1240.9 km de carretera federal y estatal, comunicándose al centro del estado por medio de la carretera panamericana y hacia la costa del estado por la carretera costera y el ferrocarril. Dispone también de 130 oficinas postales. En materia de salud, 34.2% de la población de esta región son derechohabientes a las instituciones de seguridad social, que en términos absolutos es de 55907 habitantes. De ellos, 78.1% pertenecen al IMSS, 14.2% al ISSSTE y 7.7% al ISSTECH. Los servicios de salud en la región lo proporcionan 56 clínicas de consulta externa y 3 de hospitalización general. En cuanto a disposición de servicios básicos, en energía eléctrica se tiene un cubrimiento del 91.1% de las viviendas, 64.9% de agua entubada y 76.4% con drenaje.

La ganadería es la actividad principal de esta región, se dedican 301,310 hectáreas a su explotación. Esta actividad se realiza en forma extensiva. Por su climatología está considerada como de alto riesgo, predominan fuertes vientos que causan incendios forestales y provocan el calentamiento y sequedad de las llanuras en los primeros meses de febrero y mayo, así como una fuerte erosión de los suelos. Esta región no cuenta con población indígena.

Se encuentra entre las de menor grado de analfabetismo y mayor atención de servicios urbanos, el rito de crecimiento demográfico relativamente moderado. La actividad pesquera es la segunda en importancia en esta región. Se tienen 32,778 hectáreas de sistemas de lagunas estuarias, con problemas constantes de azolvamiento, en donde se captura camarón, robalo, mojarra y bagre, principalmente. Se dedican a esta actividad 5662 pescadores integrados en 29 cooperativas.

El potencial turístico de la zona lo constituyen las playas de Puerto Arista, Boca del Cielo, Santa Brígida y Costa Azul, con escasa infraestructura de caminos y servicios turísticos. La agricultura es escasa, se dedican a esta actividad 4424 hectáreas y los cultivos más importantes son el maíz, sorgo y mango.



Capítulo 2.

Análisis de la calidad y cantidad de información

2.1 Selección de las estaciones climatológicas

Para poder determinar el comportamiento en la tendencia del patrón de las variables climatológicas en la región de la Costa de Chiapas, se procedió a seleccionar estaciones climatológicas con suficiente información utilizando la base de datos CLICOM 2008, se tomó un total de 51 estaciones dentro de la costa, así como diez estaciones cercanas al área de la costa para complementar datos faltantes.

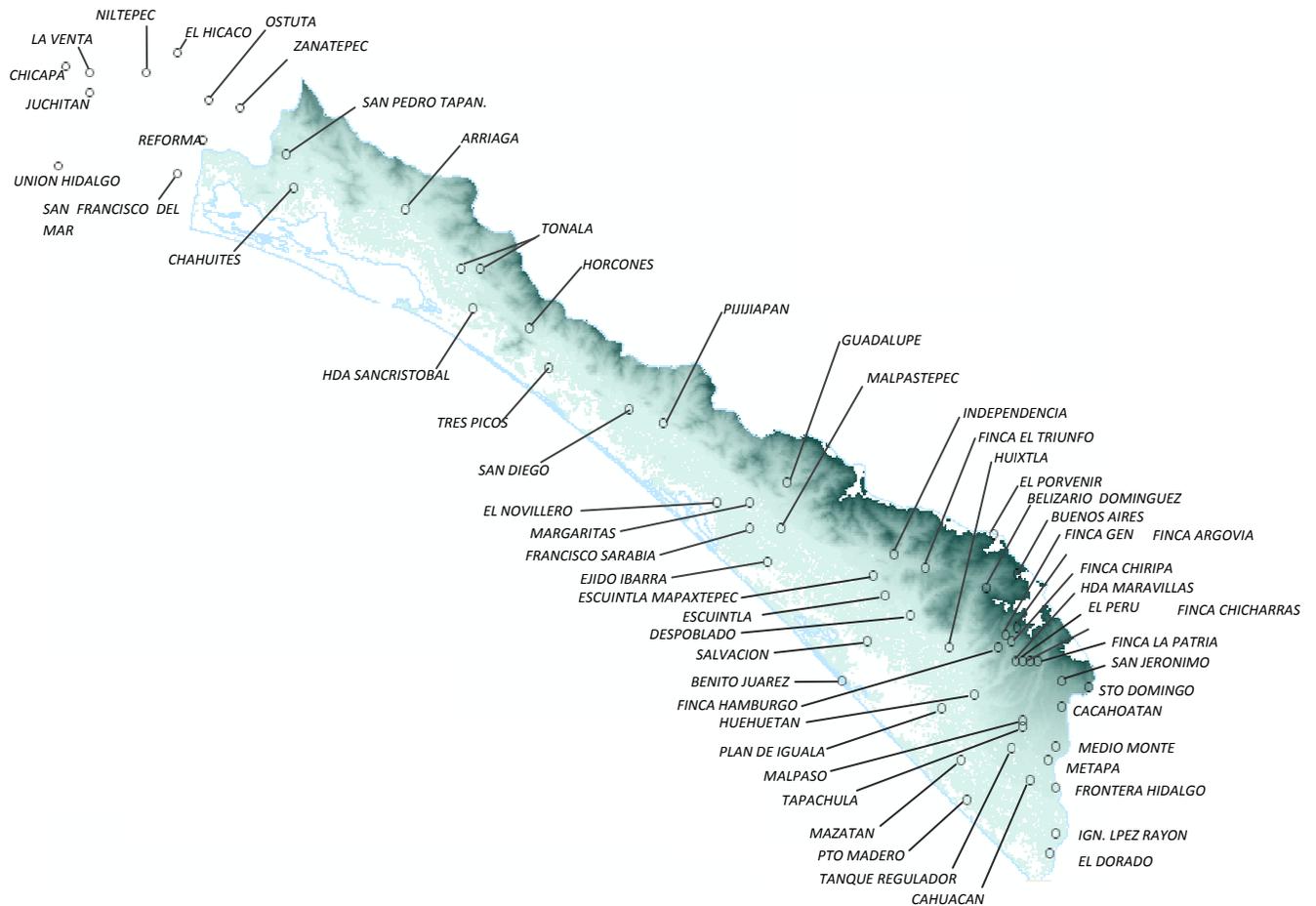


Figura 2.1 Ubicación de las estaciones climatológicas en la Costa de Chiapas

En la tabla siguiente se observa el conjunto de estaciones que se utilizaran (Anexo A1) con sus correspondientes coordenadas geográficas, aquellas estaciones sombreadas se encuentran fuera de la región Costa de Chiapas y se añadieron solo con el propósito de complementación de información.

Tabla 2.1 Estaciones seleccionadas para el análisis de calidad y cantidad de información con periodo de registro de 1960 - 2007.

Estación	Nombre	Longitud		Latitud		Altura (msnm)
		Grados	Minutos	Grados	Minutos	
7012	FINCA ARGOVIA, TAPACHULA	15	9	92	18	620
7014	BELIZARIO DOMINGUEZ	15	17	92	22	660
7018	CACAOATAN, CACAOATAN	14	59	92	10	350
7019	CAHUACAN, SUCHIATE	14	48	92	15	350
7038	DESPOBLADO	15	13	92	34	60
7045	EL DORADO, SUCHIATE	14	40	92	11	9
7048	FINCA EL TRIUNFO	15	20	92	31	971
7053	ESCUINTLA, ESCUINTLA	15	16	92	38	110
7056	FINCA CHIRIPA, TAPACHULA	15	11	92	17	750
7057	FINCA CHICHARRAS	15	6	92	15	1264
7058	EL PERU, TAPACHULA	15	6	92	16	800
7060	FINCA GENOVA, TAPACHULA	15	10	92	19	880
7061	FINCA HAMBURGO, TAPACHULA	15	8	92	20	1225
7068	FRONTERA HIDALGO	14	47	92	11	60
7072	HACIENDA LAS MARAVILLAS	15	6	92	17	660
7073	HACIENDA SAN CRISTOBAL	15	59	93	43	38
7074	HORCONES, TONALA	15	56	93	34	140
7075	HUEHUETAN, HUEHUETAN	15	1	92	24	44
7077	HUIXTLA, HUIXTLA	15	8	92	28	40
7078	IGNACIO LOPEZ RAYON	14	37	92	12	7
7113	MALPASTEPEC, MALPASTEPEC	15	26	92	54	32
7115	MARGARITAS, PIJUIAPAN	15	30	93	4	80
7116	MEDIO MONTE, TUXTLA CHICO	14	53	92	11	190
7117	METAPA, METAPA	14	51	92	12	93
7129	PIJUIAPAN,	15	22	92	15	1728
7136	PTO.MADERO, TAPACHULA SMN	14	45	92	25	4
7146	SAN JERONIMO, UNION J.	15	3	92	10	612
7157	SANTO DOMINGO (DGE)	15	2	92	5	1300
7168	TONALA, TONALA (DGE)	16	5	93	45	55
7182	ARRIAGA, ARRIAGA (DGE)	16	14	93	54	64
7185	ESCUINTLA, MAPAXTEPEC	15	19	92	40	110
7187	FCA. LA PATRIA, TAPACHULA	15	6	92	13	900
7191	MALPASO, TAPACHULA	14	57	92	16	303
7199	TANQUE REGULADOR	14	53	92	18	572
7200	TAPACHULA, TAPACHULA	14	56	92	16	179
7201	TONALA, TONALA (SMN)	16	5	93	42	17
7208	EL NOVILLERO, MAPASTEPEC	15	30	92	59	90
7228	TRES PICOS, TONALA	15	50	93	31	55
7320	SALVACION, V.COMALTITLAN	15	9	92	41	141
7326	MAZATAN, MAZATAN	14	51	92	26	15
7333	BUENOS AIRES, MOTOZINTLA	15	19	92	17	260
7334	FRANCISCO SARABIA	15	26	92	59	570
7336	PLAN DE IGUALA, HUEHUETAN	14	59	92	29	38
7339	EL PORVENIR, EL PORVENIR	15	25	92	20	800
7342	BENITO JUAREZ (DGE)	15	3	92	45	540
7344	EJIDO IBARRA, MAPASTEPEC	15	21	92	56	60
7347	GUADALUPE VICTORIA	15	33	92	53	211
7348	INDEPENDENCIA, CHIAPAS	15	22	92	36	7
7352	SAN DIEGO, PIJUIAPAN	15	44	93	18	840
20027	CHICAPA, JUCHITAN DE Z.	16	35	94	49	30
20054	KM. 67+500, JUCHITAN DE Z	16	31	94	45	20
20059	LA VENTA, JUCHITAN DE Z.	16	34	94	45	90
20082	OSTUTA, SANTO DOMINGO Z.	16	30	94	26	35
20148	SAN PEDRO TAPANATEPEC,	16	22	94	13	35
20173	UNION HIDALGO, UNION H.	16	20	94	50	10
20290	NILTEPEC, NILTEPEC (DGE)	16	34	94	36	605
20292	ZANATEPEC, (DGE)	16	29	94	21	36
20300	REFORMA, REFORMA DE P.	16	24	94	27	20
20328	CHAHUITES, CHAHUITES	16	17	94	12	35
20341	SAN FRANCISCO DEL MAR	16	19	94	31	10
20347	EL HICACO, SGO.NILTEPEC	16	37	94	31	250

2.2 Selección del rango y depuración de información

Para poder utilizar la información de las variables climatológicas, primero se inspecciono mediante el siguiente grafico que años estaban completos, logrando con esto un mejor panorama y así optar por el rango de años más común entre las diferentes variables, bajo esta observación se determino el rango más común desde el año 1960 al año 2007 (Anexo A2).

Periodo 1960-2008	7012				7014				7018		
	Tempmax	Tempmin	Precip	Evap	Tempmax	Tempmin	Precip	Evap	Tempmax	Tempmin	Precip
	7012	7012	7012	7012	7014	7014	7014	7014	7018	7018	7018
1960	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█
1961	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█
1962	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█
1963	--	█	█	--	█	█	█	--	█	█	█
1964	--	█	█	--	█	█	█	--	█	█	█
1965	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█
1966	--	█	█	--	█	█	█	--	█	█	█
1967	--	█	█	--	█	█	█	--	█	█	█
1968	--	█	█	--	█	█	█	--	█	█	█
1969	--	--	█	--	█	█	█	--	█	█	█
1970	--	█	█	--	█	█	█	--	█	█	█
1971	--	█	█	--	█	█	█	--	█	█	█
1972	--	█	█	--	█	█	█	--	█	█	█
1973	--	█	█	--	█	█	█	--	█	█	█
1974	--	█	█	--	█	█	█	--	█	█	█
1975	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█
1976	--	█	█	--	█	█	█	--	█	█	█
1977	--	█	█	--	█	█	█	--	█	█	█
1978	--	--	--	--	█	█	█	--	--	--	--
1979	--	█	█	--	█	█	█	--	█	█	█
1980	--	█	█	--	█	█	█	--	█	█	█
1981	--	█	█	--	█	█	█	--	█	█	█
1982	--	--	--	--	█	█	█	--	█	█	█

Figura 2.2 Años completos de las estaciones analizadas en el rango de años 1960 a 2007.

De los años incompletos, se examinaron en un grafico mensual, aquellos meses completos y los que no tienen información (Anexo A3).

Periodo 1960-2008	Año	Mes	7012				7014				7018			
			Tempmax	Tempmin	Precip	Evap	Tempmax	Tempmin	Precip	Evap	Tempmax	Tempmin	Precip	Evap
			7012	7012	7012	7012	7014	7014	7014	7014	7018	7018	7018	7018
1960	1	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█	--	
1960	2	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█	--	
1960	3	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█	--	
1960	4	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█	--	
1960	5	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█	--	
1960	6	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█	--	
1960	7	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█	--	
1960	8	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█	--	
1960	9	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█	--	
1960	10	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█	--	
1960	11	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█	--	
1960	12	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█	--	
1961	1	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█	--	
1961	2	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█	--	
1961	3	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█	--	
1961	4	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█	--	
1961	5	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█	--	
1961	6	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█	--	
1961	7	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█	--	
1961	8	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█	--	
1961	9	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█	--	
1961	10	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█	--	
1961	11	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█	--	
1961	12	--	█	█	--	--	█	█	--	█	█	█	--	

Figura 2.3 Meses completos de las estaciones analizadas en el rango de años 1960 a 2007.

2.3 Método de interpolación de la distancia inversa

En este estudio debido a la ausencia de datos en las estaciones analizadas, los datos se han interpolado mediante el método IDW (inverso de la distancia) Simanton y Osborn (Ramesh S. V. Teegavarapu, 2009), que versus el método Krigging Universal y el Spline, ha demostrado ser el más adecuado ya que es el método que minimiza el error cuadrático medio. (Correa, Rosa, Lesino, 2006).

Esta es una técnica que pertenece a la familia de métodos de distancias pesadas, en el método de interpolación gravitacional o inversa de la distancia (IDW), Ec.2.3.1, cada punto muestral ejerce una influencia sobre el punto a determinar. Cada punto vecino contará con un “peso” en la determinación de la variable del punto a interpolar, que será mayor cuanto más cerca se encuentre, mismo que disminuye a medida que aumenta la distancia, dependiendo del coeficiente de potencia β , siguiendo por el principio de correlación espacial propuesto por Legates et.al y Xiaojun. (Correa, Rosa, Lesino, 2006) Ec.2.1

$$p_e = \sum_{i=1}^N w_i p_i \quad (2.1)$$

donde:

p_e dato estimado en el sitio e

p_i dato medido en la estación i

w_i denota el peso de la estación

i representa el punto estimado en el sitio e

N número total de estaciones cercanas al sitio e, que se utilizarán para estimar el dato en el sitio e.

La función de proporcionalidad entre el peso y la distancia está dada por la Ec.2.2

$$w_i = \frac{\left[\frac{1}{d_{ij}}\right]^\beta}{\sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{d_{ij}}\right]^\beta} \quad (2.2)$$

donde:

$\beta=1$ interpolación de distancia inversa

$\beta=2$ interpolación del cuadrado de la distancia inversa

Las distancias d_{ij} se calculan analíticamente.

Según varios autores Declercq (Correa, Rosa, Lesino, 2006) el valor del exponente (β) igual a 2 es el que genera mejores resultados empíricos. En general, el valor más adecuado será aquel que minimice el EMC (error medio cuadrático).

Capítulo 3.

Interpolación de datos

3.1 Distancia con la fórmula de Vincenty

La fórmula de Vincenty es un método iterativo utilizado en Geodesia para calcular la distancia entre dos puntos de la superficie de un esferoide (Thaddeus Vincenty, 1975). Se basa en el supuesto de que la tierra es un esferoide achatado en los polos.

El método directo calcula la ubicación de un punto con la dirección y la distancia desde otro punto, el método inverso encuentra el azimut y la distancia elipsoidal dadas las coordenadas de los dos puntos (φ_1, λ_1) y (φ_2, λ_2) . Estos métodos han sido ampliamente utilizados en geodesia, ya que tienen una precisión de 0,06 mm (0.020 ") en el elipsoide de la tierra.

Notación utilizada y datos del elipsoide de referencia WGS-84

a	longitud del eje mayor del elipsoide (radio en el	WGS-84 (6,378,137.0 metros)
b	longitud del eje menor del elipsoide (radio en los	WGS-84 (6,356,752.314
$f = (a - b) / a$	aplanamiento del elipsoide;	WGS-84) (1/298.257223563)
φ_1, φ_2	latitud de los puntos	
$U_1 = \arctan [(1 - f) \tan \varphi$	latitud reducida	
$U_2 = \arctan [(1 - f) \tan \varphi$		
λ_1, λ_2	longitud de los puntos	
$L = \lambda_2 - \lambda_1$	diferencia de longitudes	
s	distancia elipsoidal	

Procedimiento para el cálculo de la distancia

Dadas las coordenadas de los dos puntos (φ_1, λ_1) y (φ_2, λ_2) , el método inverso encuentra el azimut α_1, α_2 y la distancias elipsoidal.

Calcular U_1, U_2 y L , y establecer el valor inicial de $\lambda = L$. Luego de forma iterativa se evalúan las siguientes ecuaciones hasta que λ converge:

$$\sin \sigma = \sqrt{(\cos U_2 \sin \lambda)^2 + (\cos U_1 \sin U_2 - \sin U_1 \cos U_2 \cos \lambda)^2} \quad (3.1)$$

$$\cos \sigma = \sin U_1 \sin U_2 + \cos U_1 \cos U_2 \cos \lambda \quad (3.2)$$

$$\sigma = \arctan \frac{\sin \sigma}{\cos \sigma} \quad (3.3)$$

$$\sin \alpha = \frac{\cos U_1 \cos U_2 \cos \lambda}{\sin \sigma} \quad (3.4)$$

$$\cos^2 \alpha = 1 - \sin^2 \alpha \quad (3.5)$$

$$\cos(2\sigma_m) = \cos \sigma - \frac{2 \sin U_1 \sin U_2}{\cos^2 \alpha} \quad (3.6)$$

$$C = \frac{f}{16} \cos^2 \alpha [4 + f(4 - 3 \cos^2 \alpha)] \quad (3.7)$$

$$\lambda = L + (1 - C) \sin \alpha \{ \sigma + C \sin \sigma [\cos(2\sigma_m) + C \cos \sigma (-1 + 2 \cos^2(2\sigma_m))] \} \quad (3.8)$$

Cuando λ ha convergido con el grado deseado de precisión (10^{-12} corresponde aproximadamente a 0,06 mm), se evalúa lo siguiente:

$$u^2 = \cos^2 \alpha \frac{a^2 - b^2}{b^2} \quad (3.9)$$

$$A = 1 + \frac{u^2}{16384} \{ 4096 + u^2 [-768 + u^2 (320 - 175u^2)] \} \quad (3.10)$$

$$B = \frac{u^2}{1024} \{ 256 + u^2 [74 - 47u^2] \} \quad (3.11)$$

$$\Delta \sigma = B \sin \left\{ \cos(2\sigma_m) + \frac{1}{4} B \left[\cos \sigma (-1 + 2 \cos^2(2\sigma_m)) - \frac{1}{6} B \cos(2\sigma_m) (-3 + 4 \cos^2(2\sigma_m)) \right] \right\} \quad (3.12)$$

$$s = bA(\sigma - \Delta \sigma) \quad (3.13)$$

$$\alpha_1 = \arctan \left(\frac{\cos U_2 \sin \lambda}{\cos U_1 \cos U_2 - \sin U_1 \cos U_2 \cos \lambda} \right) \quad (3.14)$$

$$\alpha_2 = \arctan \left(\frac{\cos U_2 \sin \lambda}{-\sin U_1 \cos U_2 + \cos U_1 \sin U_2 \cos \lambda} \right) \quad (3.15)$$

En 1976, Vincenty propuso sustituir sus expresiones de serie A y B con

$$A = \frac{1 + \frac{1}{4}(k_1)^2}{1 - k_1} \quad (3.16)$$

$$B = k_1 \left(1 - \frac{3}{8}(k_1)^2 \right) \quad (3.17)$$

donde

$$k_1 = \frac{\sqrt{(1 + u^2)} - 1}{\sqrt{(1 + u^2)} + 1} \quad (3.18)$$

3.2 Observación

Se realizó la comparación de distancias en kilómetros entre las estaciones estudiadas, entre el modelo de Vincenty y la proyección UTM (Anexo A5), encontrando diferencias significativas (Anexo A6).

En este trabajo se utilizó la fórmula de Vincenty, ya que calcula directamente las distancias en la superficie del elipsoide, disminuyendo los errores que se obtienen en los límites de cuadrículas de las proyecciones UTM cuando estas se alejan del ecuador y cuando los puntos se encuentran en diferentes zonas.

Se recomienda tomar un elipsoide de referencia ajustado al lugar en estudio; en México se adopta el elipsoide WGS-84, el cual está ajustado para Estados Unidos.

3.3 Criterios en interpolación

Para determinar las estaciones que son potencialmente homogéneas se utilizó el coeficiente de variación (CV) y el coeficiente de correlación (R) (Anexo A7), para aplicar la técnica de interpolación de datos IDW se utilizó un solo criterio de homogeneidad, seleccionando para ello las estaciones que mejor se correlacionan y que mantienen un mínimo valor de diferencia en el coeficiente de variación, esta depuración se realizó en la variable precipitación de lluvia por tener más datos y para utilizar un solo criterio.

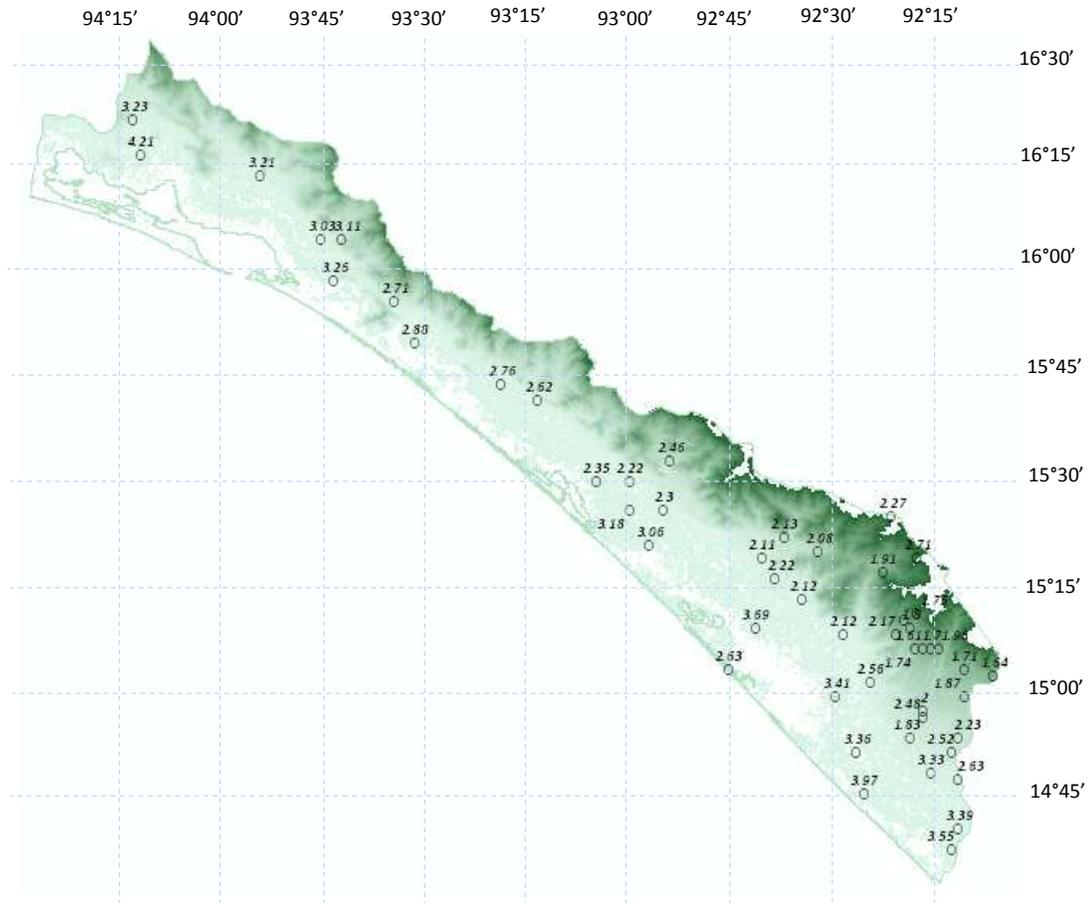


Figura 3.1 Coeficientes de variación anual de la variable precipitación, con longitud de registro de 1960-2007

Con los criterios de homogeneidad determinados anteriormente identificamos para cada una de las estaciones aquellas dos más cercanas y que son potencialmente homogéneas, obteniendo con ello una mejor calidad en la transferencia de información.

Con el método de interpolación del **cuadrado de la distancia inversa IDW** se realizó la interpolación de datos, comenzando con la estación con mayor información, esto se hizo desde el oeste de la costa al este y viceversa.

Para este trabajo se utilizó un $\beta=2$ y se restringió para la estación a interpolar solo con dos estaciones que le transferirán información y estas se condicionaron a tener la menor distancia, mejor coeficiente de correlación y mejor coeficiente de variación (Anexo A8).

Tabla 3.1 Identificación de las dos estaciones mas cercanas y potencialmente homogéneas, la distancia esta dada en kilómetros

interpolación IDW con dos estaciones $\beta=2$																	
			7012	7014	7018	7019	7038	7045	7048	7053	7056	7057	7058	7060	7061	7066	7068
Latitud	Latitud	Longitud	-92.30	-92.36	-92.16	-92.25	-92.56	-92.18	-92.51	-92.63	-92.28	-92.25	-92.26	-92.31	-92.33	-92.30	-92.18
	Latitud	Longitud	15.15	15.28	14.98	14.80	15.21	14.66	15.33	15.26	15.18	15.10	15.10	15.16	15.13	15.13	14.78
7012	-92.30	15.15															
7014	-92.36	15.28											2.57			1.8	
7018	-92.16	14.98											13.9				
7019	-92.25	14.80															7.41
7038	-92.56	15.21							13.9	9.0							
7045	-92.18	14.66															12.9
7048	-92.51	15.33															
7053	-92.63	15.26						9.05									
7056	-92.28	15.18	4.1											4.03			
7057	-92.25	15.10															
7058	-92.26	15.10										1.7					
7060	-92.31	15.16	2.5								4.0						5.1
7061	-92.33	15.13	4.0														3.5
7066	-92.30	15.13	1.8												3.5		
7068	-92.18	14.78					7.4										
7072	-92.28	15.10										3.5	1.7				
7073	-93.71	15.98															
7074	-93.56	15.93															
7075	-92.40	15.01															
7077	-92.46	15.13															
7078	-92.20	14.61						14.1									
7092	-92.50	15.33						14.7		1.79							18.5

Tabla 3.2 Factores de peso de algunas estaciones utilizadas en la interpolación de distancia inversa IDW

interpolación IDW con dos estaciones $\beta=2$																	
			7012	7014	7018	7019	7038	7045	7048	7053	7056	7057	7058	7060	7061	7066	7068
Latitud	Latitud	Longitud	-92.30	-92.36	-92.16	-92.25	-92.56	-92.18	-92.51	-92.63	-92.28	-92.25	-92.26	-92.31	-92.33	-92.30	-92.18
	Latitud	Longitud	15.15	15.28	14.98	14.80	15.21	14.66	15.33	15.26	15.18	15.10	15.10	15.16	15.13	15.13	14.78
7012	-92.30	15.15												0.34		0.66	
7014	-92.36	15.28												0.32			
7018	-92.16	14.98															
7019	-92.25	14.80															0.52
7038	-92.56	15.21															
7045	-92.18	14.66							0.30	0.70							0.17
7048	-92.51	15.33															
7053	-92.63	15.26						0.35									
7056	-92.28	15.18	0.49											0.51			
7057	-92.25	15.10											0.8				
7058	-92.26	15.10										0.8				0.11	
7060	-92.31	15.16	0.71								0.2						
7061	-92.33	15.13	0.44														0.56
7066	-92.30	15.13	0.79												0.2		
7068	-92.18	14.78					0.51										
7072	-92.28	15.10										0.2	0.8				
7073	-93.71	15.98															
7074	-93.56	15.93															
7075	-92.40	15.01															
7077	-92.46	15.13						0.46									
7078	-92.20	14.61							0.9								0.09
7092	-92.50	15.33						0.01		0.99							

Capítulo 4.

Pruebas de hipótesis

4.1 Concepto

El análisis de frecuencia se basa en el empleo de una serie de histórica de datos observados de manera sistemática en una sección o punto de interés. Para el adecuado empleo de dicha serie, se debe verificar el cumplimiento de dos tipos de pruebas de hipótesis: Pruebas de Independencia y Pruebas de Homogeneidad.

Las pruebas de Independencia son utilizadas para demostrar que los valores que conforman la serie son aleatorios. Esta afirmación implica que la probabilidad de ocurrencia de uno cualquiera de ellos no depende de la ocurrencia del o de los valores precedentes, y no afecta de ninguna manera a la probabilidad de ocurrencia de los datos posteriores.

Por otra parte las pruebas de Homogeneidad evalúan si todos los valores que conforman la muestra, provienen estadísticamente de una misma población, logrando con ello verificar si ha existido cambio en la tendencia de la serie. Para ello es necesario dividir la muestra en dos o más grupos de tamaños iguales (o diferentes), y se comparan los estadísticos de la muestra: media, mediana, varianza, entre otros.

La aceptación de las pruebas de independencia y homogeneidad de la muestra estará dada en función de un nivel de significancia propuesto, por lo general del 5 %.

4.2 Homogeneidad temporal

Un proceso es considerado homogéneo en el tiempo si la probabilidad de ocurrencia de un evento es independiente del tiempo, y se lo denomina proceso puramente aleatorio o proceso estacionario. En hidrología, estrictamente no existen series homogéneas en el tiempo, pues diversos tipos de variaciones, de origen natural y artificial, están presentes en todos los fenómenos hidrológicos. Sin embargo, existen técnicas que permiten analizar si estas variaciones son apreciables.

Tendencia. Es la variación unidireccional del valor promedio de una variable hidrológica. Pueden usarse numerosas técnicas estadísticas para determinar la tendencia.

Periodicidad. Representa una forma de variación regular u oscilatoria. Existe con frecuencia en los fenómenos hidrológicos.

Persistencia. Significa que los eventos sucesivos de un proceso hidrológico están ligados entre sí de manera persistente.

4.3 Nivel de significancia

En problemas estadísticos, al afirmar cierta hipótesis que se desea contrastar, la misma recibe el nombre de hipótesis nula H_0 . el nombre de “nula” indica que H_0 representa la hipótesis que se mantiene como verdadera a menos que los datos indiquen su falsedad, y puede entenderse, por tanto, en el sentido de “neutra” (von mises, 1946).

La hipótesis H_0 nunca se considera probada, aunque puede ser rechazada por los datos. Por ejemplo, la hipótesis de que dos poblaciones tienen la misma media puede ser rechazada fácilmente cuando ambas difieren considerablemente, analizando muestras suficientemente grandes de ambas poblaciones. Sin embargo, no puede ser “demostrada” mediante muestreo, puesto que siempre cabe la posibilidad de que las medias difieran en una cantidad lo suficientemente pequeña para que no pueda ser detectada, aunque la muestra sea muy grande.

Usualmente, se diseñan los contrastes de tal manera que la probabilidad α sea el 5% (0,05), aunque a veces se usan el 10% (0,1) o 1% (0,01) para adoptar condiciones más relajadas o más estrictas.

4.4 Prueba de independencia de Anderson

La prueba que se proponen para determinar si las variables que integran las series de las estaciones seleccionadas son independientes es la de Anderson. La prueba de independencia de Anderson (Técnicas Estadísticas en Hidrología, Escalante Sandoval y Reyes Chávez, 2008) hace uso del coeficiente de autocorrelación serial r_k^j para diferentes tiempos de retraso k . En el caso de analizar un solo registro, entonces $j = 1$. La expresión para obtener el coeficiente de autocorrelación serial de retraso k se presenta a continuación (Ecuación 4.1).

$$r_k^j = \frac{\sum_{j=1}^{n_j-k} (Q_i^j - \bar{Q}^j)(Q_{i+k}^j - \bar{Q}^j)}{\sum_{i=1}^{n_j} (Q_i^j - \bar{Q}^j)^2} \quad (4.1)$$

$$k = 1, 2, \dots, \frac{n_j}{3}$$

donde:

$$\bar{Q}^j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{Q_i^j}{n_j} \quad (4.2)$$

Además, los límites al 95% de confianza para r_k^j se pueden obtener con la ecuación 4.3

$$r_k^j(95\%) = \frac{-1 \pm 1.96\sqrt{n_i - k - 1}}{n_j - k} \quad (4.3)$$

La gráfica de los valores estimados para r_k^j (ordenadas) contra los tiempos de retraso k (abscisas), junto con sus correspondientes límites de confianza, se denomina correlograma de la muestra.

Si no más del 10% de los valores r_k^j sobrepasan los límites de confianza, se dice que la serie Q_i^j es independiente y por lo tanto es una variable que sigue las leyes de la probabilidad.

4.5 Pruebas de homogeneidad

Durante el desarrollo de esta Tesis se han aplicado tres pruebas de Homogeneidad. Dichas pruebas permiten determinar si las variables que integran cada una de las series de las estaciones seleccionadas no se han modificado en su tendencia a través del tiempo. Estas pruebas han sido las de: Helmert, t de Student, Cramer y Mann-Kendall. En los párrafos subsiguientes se explicará en qué consisten tales pruebas.

4.5.1 Prueba de homogeneidad de Helmert

Esta prueba es sencilla y consiste en analizar el signo de las desviaciones de cada evento Q_i^j de la serie j para $i = 1, 2, 3, \dots, n_j$, con respecto a su valor medio \bar{Q}^j (Escalante Sandoval y Reyes Chávez, 2005). Si una desviación de un cierto signo es seguida por otra del mismo signo, entonces se dice que se forma una secuencia: S, de lo contrario se considera un cambio: C. La serie se considera homogénea si se cumplen las condiciones de la ecuación 4.4.

$$-\sqrt{n_j - 1} \leq (S - C) \leq \sqrt{n_j - 1} \quad (4.4)$$

4.5.2 Prueba estadística de t de Student

Si se considera una serie Q_i^j para $i = 1, 2, 3, \dots, n_j$, del sitio j , la cual se divide en dos conjuntos de tamaño $n_1 = n_2 = \frac{n_j}{2}$, entonces el estadístico de prueba se define con la expresión 4.5. En el caso de que no se cuente con muestras pares las submuestras no tendrán igual número de datos, difiriendo por uno, lo cual no afecta la validez de la prueba. (Escalante Sandoval y Reyes Chávez, 2005).

$$t_d = \frac{\bar{Q}_1 - \bar{Q}_2}{\left[\frac{n_1 \cdot s_1^2 + n_2 \cdot s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (4.5)$$

donde:

\bar{Q}_1, s_1^2 media y la varianza de la primera parte del registro de tamaño n_1
 \bar{Q}_2, s_2^2 media y la varianza de la segunda parte del registro de tamaño n_2

El valor absoluto de t_d se compara con el valor de la distribución t de Student de dos colas y con $v = n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad y para un nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Si y solo si el valor absoluto de t_d es mayor que aquel de la distribución t de Student, se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia, y por lo tanto la serie Q_i^j se considera no homogénea. En caso contrario la serie es Homogénea.

4.5.3 Prueba estadística de Cramer

Esta prueba se utiliza con el propósito de verificar homogeneidad en el registro Q_i^j de la serie j para $i = 1, 2, 3, \dots, n_j$, y también para determinar si el valor medio no varía significativamente de un período de tiempo a otro (Escalante Sandoval y Reyes Chávez, 2005). Con este propósito se consideran tres bloques, el primero del tamaño total de la muestra, n_j , el segundo de tamaño n_{60} (últimos 60% de los valores de la muestra) y el tercero de tamaño n_{30} (últimos 30% de los valores de la muestra). La prueba compara el valor \bar{Q}^j del registro total con cada una de las medias de los bloques elegidos \bar{Q}_{60}^j y \bar{Q}_{30}^j . Para que se considere la serie analizada como estacionaria en la media, se deberá cumplir que no existe una diferencia significativa entre las medias de los dos bloques. (Escalante Sandoval y Reyes Chávez, 2005).

$$\bar{Q}^j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{Q_i^j}{n_j} \quad (4.6)$$

Para una sola muestra analizada $j = 1$.

$$s_Q^j = \left[\frac{1}{(n_j - 1)} \cdot \sum_{i=1}^{n_j} (Q_i^j - \bar{Q}^j)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.7)$$

$$\overline{Q}_{60}^j = \sum_{i=1}^{n_{60}} \frac{Q_i^j}{n_{60}} \quad (4.8)$$

$$\overline{Q}_{30}^j = \sum_{i=1}^{n_{30}} \frac{Q_i^j}{n_{30}} \quad (4.9)$$

$$\tau_{60}^j = \frac{\overline{Q}_{60}^j - \overline{Q}^j}{S_Q^j} \quad (4.10)$$

$$\tau_{30}^j = \frac{\overline{Q}_{30}^j - \overline{Q}^j}{S_Q^j} \quad (4.11)$$

$$t_w = \left\{ \frac{n_w \cdot (n_j - 2)}{n_j - n_w \cdot [1 + (\tau_w^j)^2]} \right\}^{\frac{1}{2}} \cdot |\tau_w^j| \quad (4.12)$$

\overline{Q}^j valor medio de la serie analizada

S_Q^j desviación de la serie analizada

$\overline{Q}_{60}^j, \overline{Q}_{30}^j$ media de las submuestras 30% y 60% de los datos

τ_{60}^j, τ_{30}^j estadísticos de las submuestras 30% y 60% de los datos

t_w estadístico de la prueba para cada una de las submuestras (30 y 60%)

El estadístico t_w tiene distribución t de Student de dos colas con $v = n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad y para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Si y solo si el valor absoluto de t_w para $w = 60$ y $w = 30$, es mayor que el de la distribución t de Student se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia y por lo tanto la serie Q_i^j se considera no homogénea. En caso contrario la serie es Homogénea.

4.5.4 Prueba de Mann-Kendall

La prueba de Mann-Kendall (Mann (1945), Kendall (1975)), ha sido ampliamente utilizada para probar aleatoriedad contra tendencias en los datos climáticos de las series de tiempo (Pérez et al, 2009) es una prueba no- paramétrica, que asume observaciones independientes, para una serie de n datos (Q_1, Q_2, \dots, Q_n) independientes e idénticamente distribuidos supone la aceptación previa de la hipótesis nula H_0 , que supone la no existencia de tendencia.

Esta prueba se define con la expresión siguiente:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(Q_j - Q_k) \quad (4.13)$$

donde:

$$\text{sgn}(Q_j - Q_k) = \begin{cases} 1 \rightarrow (Q_j - Q_k) > 0 \\ 0 \rightarrow (Q_j - Q_k) = 0 \\ -1 \rightarrow (Q_j - Q_k) < 0 \end{cases} \quad (4.14)$$

De acuerdo con H_0 la distribución S es normal en el límite cuando $n \rightarrow \infty$, la media de la varianza de S , considerando que puede haber nodos en las series Q , son:

$E[S]=0$ y

$$\text{var}[S] = \left[n(n - 2n + 5) - \sum_t t(t - 1)(2t + 5) \right] / 18 \quad (4.15)$$

Donde t es la longitud de alguna cola y $\sum t$ denota a la sumatoria de todos los datos iguales, la asunción de normalidad para S se encuentra aun para una n pequeña; ($n \approx 10$), con una correlación de ± 1 y la variación estándar típica es utilizada para probar la hipótesis.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{[\text{VAR}(S)]^{1/2}} \rightarrow S > 0 \\ 0 \rightarrow S = 0 \\ \frac{S+1}{[\text{VAR}(S)]^{1/2}} \rightarrow S < 0 \end{cases} \quad (4.16)$$

Es una prueba de dos lados para tendencias, la hipótesis nula es rechazada en un nivel de significancia de α si $|Z| > Z_{(1-\alpha/2)}$, donde $Z_{(1-\alpha/2)}$ es el valor de la distribución normal que excede a $\alpha/2$. Un valor positivo de Z indica un atendencia ascendente; un valor negativo indica una tendencia descendente en la serie de tiempo evaluada en este trabajo se utilizo un nivel de significancia $\alpha=0.05$.

La presencia de una tendencia estadísticamente significativa es evaluada usando el valor de ZMK, que tiene una distribución normal. Un valor positivo (negativo) de ZMK indica tendencia creciente (decreciente).

4.5.5 Observación

Debido a que el análisis expuesto en esta tesis verifica si existe tendencia en las series, se optó por la prueba estadística de Cramer, Mann-Kendall y t de Student, esta ultima divide en dos muestras iguales la serie, si bien esta prueba se aplica a series con forma monticular o de aproximación normal, como lo expone Mendenhall (del libro Introducción a la probabilidad y la estadística), por otra parte la prueba de Cramer divide en un 30% y 60% la muestra, por su parte la prueba de Mann Kendall ha sido ampliamente utilizada en análisis de tendencias climatológicas (Allende, Mendoza, 2007). Tomando en cuenta si el cambio en la tendencia ha ocurrido desde la mitad de la serie o al final se hizo uso de estas pruebas estadísticas y debido a que las variables deben de ser independientes se hace uso de la prueba de independencia de Anderson.

Capítulo 5.

Análisis de las variables climatológicas

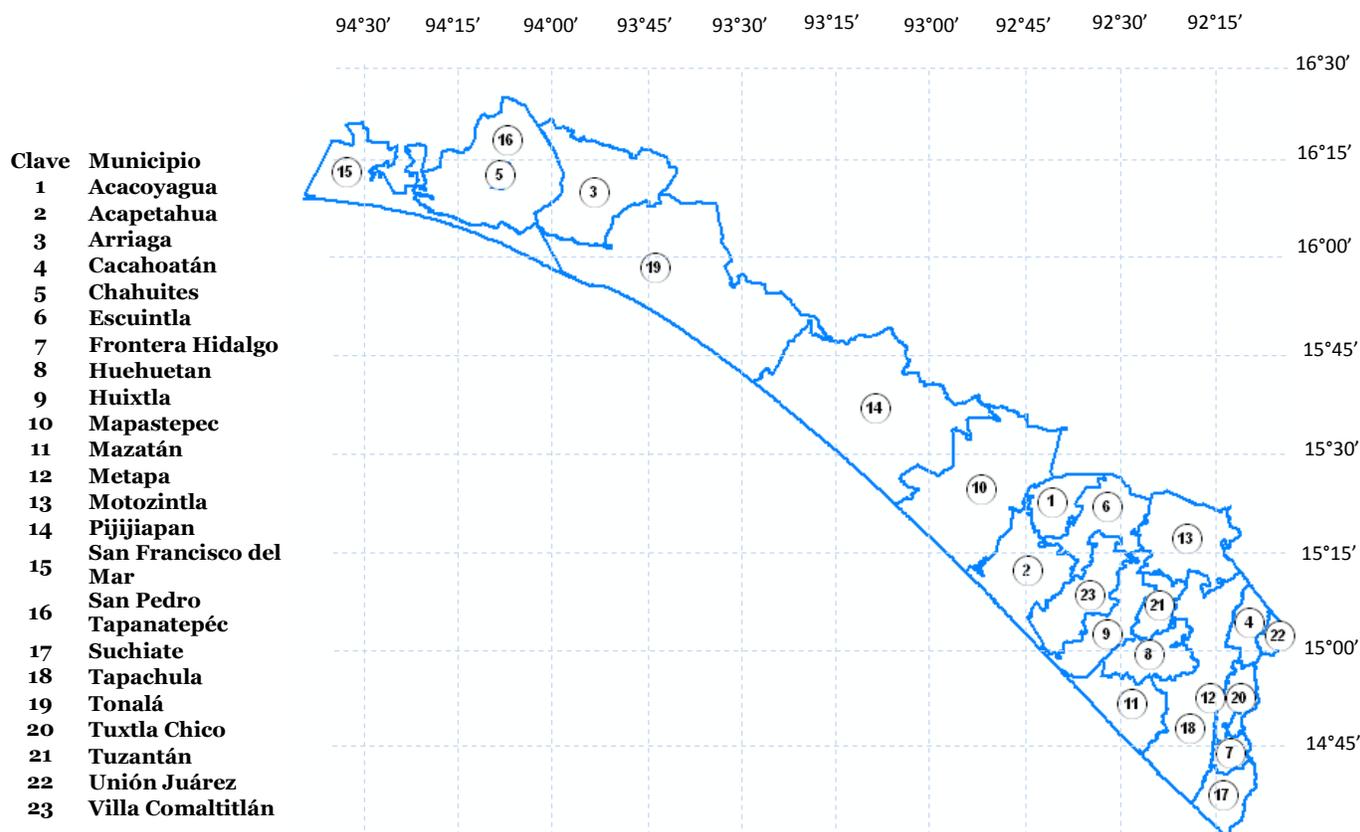


Figura 5.1 Notación utilizada para identificar a los diferentes municipios en la Costa de Chiapas

5.1 Análisis de olas de calor

Las olas de calor son una de las causas principales de fallecimientos relacionados con fenómenos meteorológicos adversos. Debido al aumento de temperatura inducido por el cambio en el patrón de conducta de las variables climatológicas, podría esperarse que este hecho se viera incrementado tanto en su frecuencia como en intensidad, duración y extensión (Robinson, 2001). Estos fenómenos no solo afectan a la salud sino que también tienen una incidencia notable en las sequías, la desertificación o los incendios forestales.

Las olas de calor invadieron gran parte de Europa en el verano del 2003, provocando miles de fallecimientos en todo el continente, en Francia murieron, al menos 3.000 personas.

En el mapa siguiente se muestra las temperaturas medias de las diferentes estaciones analizadas el día 1 de agosto del año 2003, observándose que la mayor parte de la costa presenta una temperatura por encima de la media de la costa que es de 26.1°C.



Figura 5.2 Temperaturas de las estaciones correspondientes al día 1 de agosto del 2003

Para llevar a cabo este análisis se calcularon el número total de olas de calor asociadas a diferentes duraciones, considerando como ola de calor al calentamiento importante del aire o invasión de aire muy caliente, sobre una zona extensa; suele durar de unos días a una semana los cuales sobrepasan el percentil 90 de la serie (Anexo B5, C5 Y D5), con ello se construyeron histogramas para cada duración, como se presentan en Grafico 5.1, 5.2 y 5.3, para temperatura media, máxima y mínima. También se hace uso del análisis de frecuencia al promedio de olas de calor de cada duración, determinando para periodos de retorno de 2,5,10,20,50 y 100 años sus valores de temperatura promedio esperado (Anexos B6,C6 y D6).

5.1.1 Análisis de olas de calor en la variable temperatura media

Esta variable es el promedio de la suma del valor de la temperatura máxima mas el valor de la temperatura mínima, este valor se obtuvo de forma diaria (Anexo B1).

Aunque hay diversos criterios para seleccionar los eventos de las olas de calor, aquí se ha considerado como ola de calor, aquellos días mayores que 1, en que la temperatura sobrepasa el percentil 90, en el periodo del año 1960 a 2007 (Anexo B5).

Una vez obtenida esta nueva serie de duraciones, se graficó de acuerdo a la probabilidad de frecuencia de las duraciones de 2 días a 10 días, esto se hizo dividiendo el numero de olas de calor correspondiente a cada duración entre el número total de olas de calor obtenidas, como se muestra en el grafico 5.1.

También se obtuvo la serie de promedios de duraciones que van desde 2 días hasta 7 días, debido al número de datos necesarios en un análisis de frecuencia (Anexo B6) ; con ello se obtuvo los eventos esperados del promedio de las duraciones para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años.

En las Figuras 5.3 a la 5.8 se ejemplifica para diferentes periodos de retorno, del promedio de las olas de calor de 7 días, el evento esperado en esta zona denominada Costa de Chiapas.

Tabla 5.1 Numero de olas de calor de diferentes duraciones de la variable temperatura media

Estación	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7012	160.0	65.0	23.0	18.0	8	6	7	4	7
7014	87.0	30.0	28.0	16.0	13	12	7	7	2
7018	117.0	78.0	50.0	20.0	15	11	9	8	3
7019	127.0	64.0	50.0	22.0	16	10	7	4	8
7038	131.0	74.0	27.0	31.0	12	12	11	8	6
7045	100.0	56.0	34.0	20.0	14	10	10	6	6
7048	150.0	74.0	36.0	23.0	10	8	13	5	4
7053	155.0	59.0	42.0	19.0	11	12	5	8	3
7056	71.0	34.0	18.0	15.0	15	10	7	9	10
7057	211.0	89.0	29.0	24.0	10	7	3	3	4
7058	143.0	51.0	36.0	23.0	15	8	10	6	3
7060	153.0	71.0	35.0	23.0	18	9	4	5	4
7061	166.0	63.0	31.0	27.0	14	14	6	8	4
7068	110.0	65.0	29.0	24.0	10	15	8	4	8
7072	176.0	81.0	37.0	31.0	15	10	7	4	6
7073	109.0	45.0	23.0	19.0	12	14	11	5	7
7074	170.0	62.0	32.0	17.0	13	7	7	4	4
7075	147.0	53.0	32.0	13.0	12	8	8	4	2
7077	100.0	39.0	24.0	19.0	11	5	6	5	6
7078	137.0	74.0	36.0	25.0	18	5	7	6	5
7113	136.0	72.0	42.0	21.0	14	7	12	8	8
7115	112.0	38.0	30.0	19.0	21	8	10	5	6
7116	114.0	51.0	25.0	22.0	16	10	5	6	3
7117	184.0	81.0	42.0	28.0	21	12	7	4	5
7129	180.0	76.0	35.0	27.0	19	8	6	9	1
7136	90.0	36.0	23.0	10.0	13	6	4	5	7
7146	178.0	80.0	44.0	29.0	20	11	11	4	2
7157	156.0	78.0	40.0	27.0	16	16	10	4	5
7168	136.0	60.0	46.0	27.0	16	8	5	5	5
7182	145.0	63.0	32.0	23.0	18	9	4	5	3
7185	71.0	25.0	9.0	14.0	7	7	8	2	2
7187	105.0	45.0	20.0	13.0	6	7	8	4	2
7191	157.0	89.0	43.0	36.0	15	15	9	6	4
7199	90.0	59.0	26.0	12.0	11	9	2	4	7
7200	72.0	53.0	40.0	17.0	10	8	5	4	8
7201	99.0	45.0	34.0	29.0	7	13	4	10	3
7208	124	49	21	23	17	10	5	5	5
7228	177	80	51	26	12	7	13	5	7
7320	125	73	31	20	9	12	3	6	7
7326	98	65	26	16	19	10	4	3	3
7333	126	75	36	27	20	9	5	7	2
7334	106	41	24	22	16	7	8	4	5
7336	128	61	37	15	14	4	6	11	4
7339	96	47	27	13	14	8	10	6	6
7342	115	45	32	23	16	10	9	10	10
7344	231	105	50	30	27	13	5	6	6
7347	114	57	26	27	14	6	4	4	2
7348	119	59	18	18	6	7	7	3	1
7352	127	61	35	22	11	8	7	4	8
20148	159	83	40	25	27	21	6	3	5
20328	93	48	21	15	12	8	6	4	3

Tabla 5.2 Probabilidad de ocurrencia de olas de calor con diferentes duraciones

Estación	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7012	51%	21%	7%	6%	3%	2%	2%	1%	2%
7014	34%	12%	11%	6%	5%	5%	3%	3%	1%
7018	32%	22%	14%	6%	4%	3%	2%	2%	1%
7019	36%	18%	14%	6%	5%	3%	2%	1%	2%
7038	37%	21%	8%	9%	3%	3%	3%	2%	2%
7045	34%	19%	12%	7%	5%	3%	3%	2%	2%
7048	42%	21%	10%	6%	3%	2%	4%	1%	1%
7053	43%	17%	12%	5%	3%	3%	1%	2%	1%
7056	30%	14%	8%	6%	6%	4%	3%	4%	4%
7057	53%	22%	7%	6%	2%	2%	1%	1%	1%
7058	45%	16%	11%	7%	5%	3%	3%	2%	1%
7060	46%	21%	10%	7%	5%	3%	1%	1%	1%
7061	47%	18%	9%	8%	4%	4%	2%	2%	1%
7068	37%	22%	10%	8%	3%	5%	3%	1%	3%
7072	45%	21%	9%	8%	4%	3%	2%	1%	2%
7073	41%	17%	9%	7%	4%	5%	4%	2%	3%
7074	51%	19%	10%	5%	4%	2%	2%	1%	1%
7075	48%	17%	11%	4%	4%	3%	3%	1%	1%
7077	40%	16%	10%	8%	4%	2%	2%	2%	2%
7078	41%	22%	11%	7%	5%	1%	2%	2%	1%
7113	39%	21%	12%	6%	4%	2%	3%	2%	2%
7115	40%	14%	11%	7%	7%	3%	4%	2%	2%
7116	41%	18%	9%	8%	6%	4%	2%	2%	1%
7117	46%	20%	10%	7%	5%	3%	2%	1%	1%
7129	47%	20%	9%	7%	5%	2%	2%	2%	0%
7136	42%	17%	11%	5%	6%	3%	2%	2%	3%
7146	45%	20%	11%	7%	5%	3%	3%	1%	1%
7157	42%	21%	11%	7%	4%	4%	3%	1%	1%
7168	42%	18%	14%	8%	5%	2%	2%	2%	2%
7182	45%	20%	10%	7%	6%	3%	1%	2%	1%
7185	42%	15%	5%	8%	4%	4%	5%	1%	1%
7187	43%	18%	8%	5%	2%	3%	3%	2%	1%
7191	39%	22%	11%	9%	4%	4%	2%	2%	1%
7199	36%	23%	10%	5%	4%	4%	1%	2%	3%
7200	30%	22%	16%	7%	4%	3%	2%	2%	3%
7201	37%	17%	13%	11%	3%	5%	1%	4%	1%
7208	44%	17%	7%	8%	6%	4%	2%	2%	2%
7228	45%	20%	13%	7%	3%	2%	3%	1%	2%
7320	39%	23%	10%	6%	3%	4%	1%	2%	2%
7326	36%	24%	10%	6%	7%	4%	1%	1%	1%
7333	38%	23%	11%	8%	6%	3%	2%	2%	1%
7334	40%	16%	9%	8%	6%	3%	3%	2%	2%
7336	42%	20%	12%	5%	5%	1%	2%	4%	1%
7339	37%	18%	10%	5%	5%	3%	4%	2%	2%
7342	38%	15%	11%	8%	5%	3%	3%	3%	3%
7344	48%	22%	10%	6%	6%	3%	1%	1%	0%
7347	39%	19%	9%	9%	5%	2%	1%	1%	1%
7348	44%	22%	7%	7%	2%	3%	3%	1%	0%
7352	42%	20%	12%	7%	4%	3%	2%	1%	3%
20148	40%	21%	10%	6%	7%	5%	2%	1%	1%
20328	40%	21%	9%	6%	5%	3%	3%	2%	1%

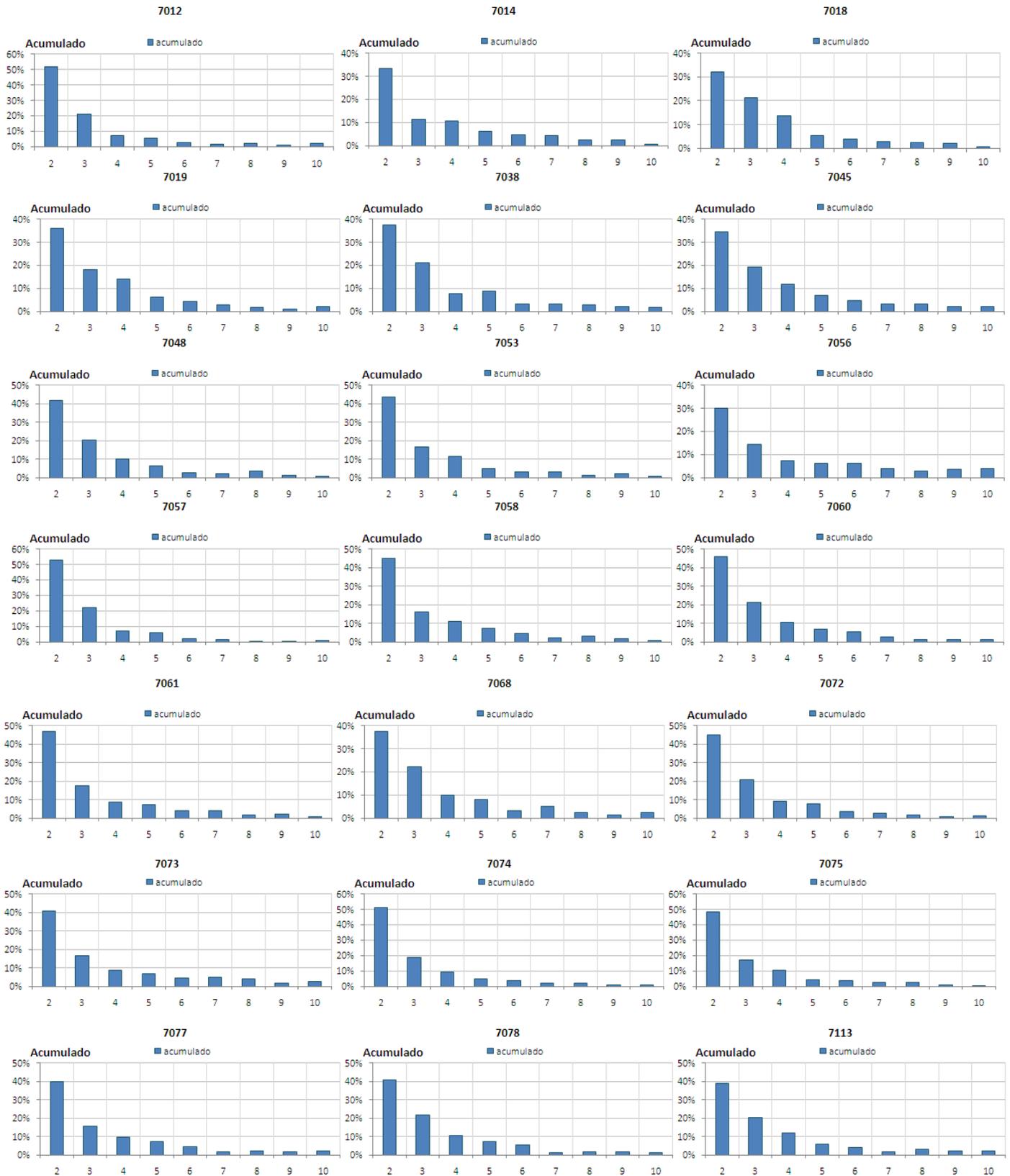


Grafico 5.1 Histograma de olas de calor de algunas estaciones de diferentes duraciones

Mapas de olas de calor del promedio de duración 7 días (grados centígrados)

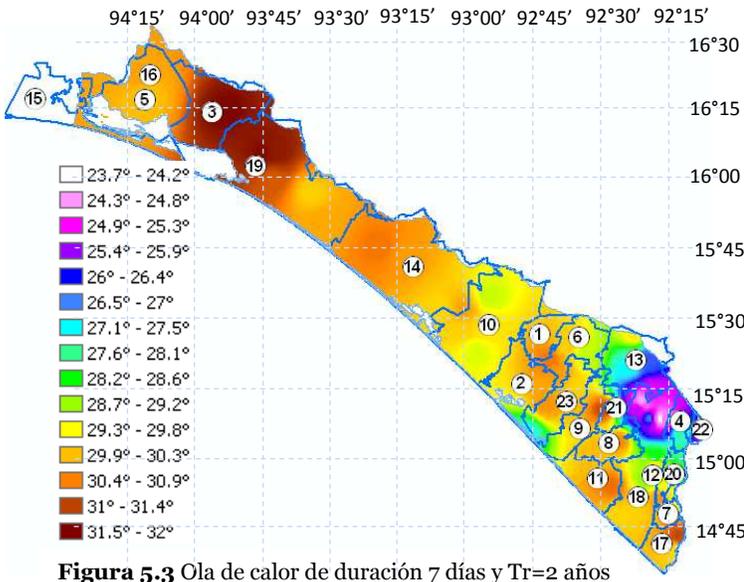


Figura 5.3 Ola de calor de duración 7 días y Tr=2 años

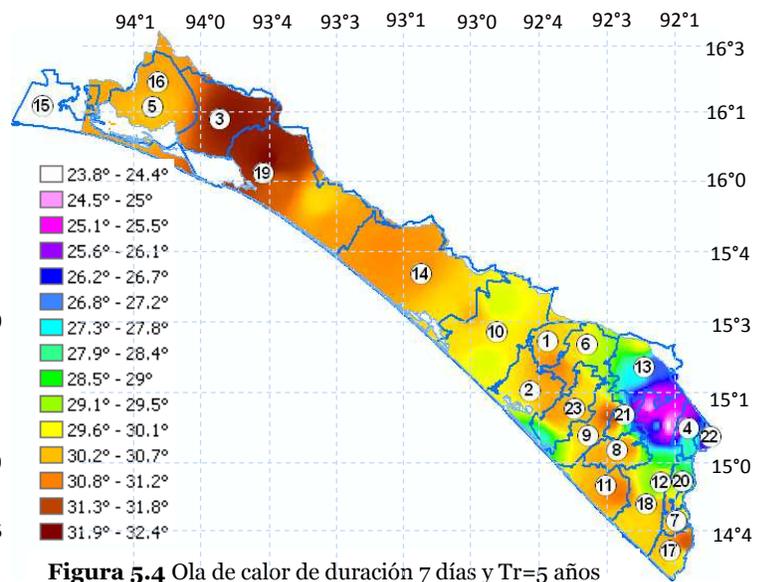


Figura 5.4 Ola de calor de duración 7 días y Tr=5 años

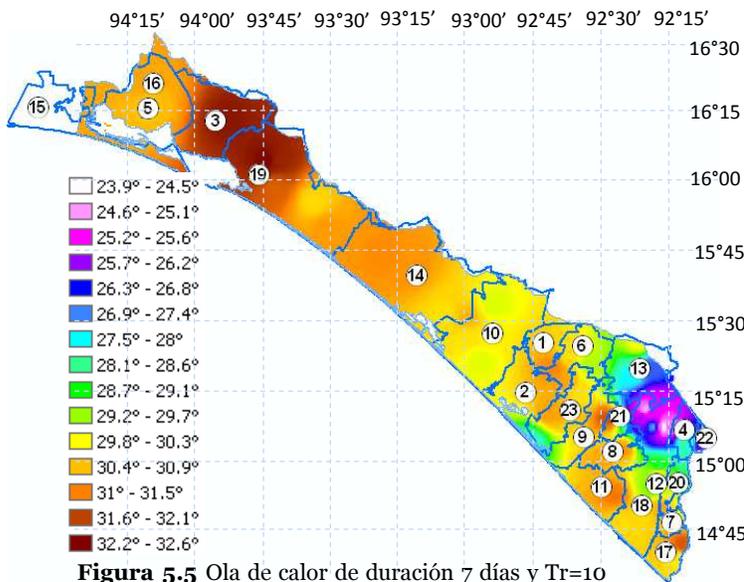


Figura 5.5 Ola de calor de duración 7 días y Tr=10 años

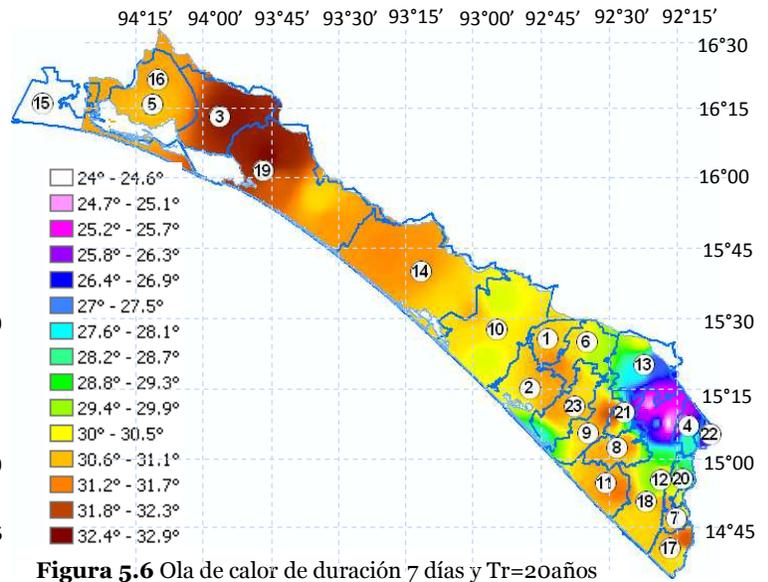


Figura 5.6 Ola de calor de duración 7 días y Tr=20 años

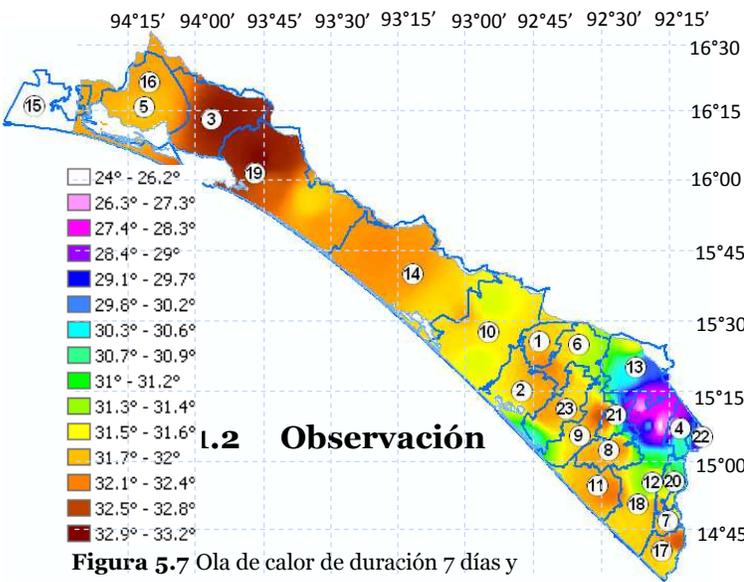


Figura 5.7 Ola de calor de duración 7 días y Tr=100 años

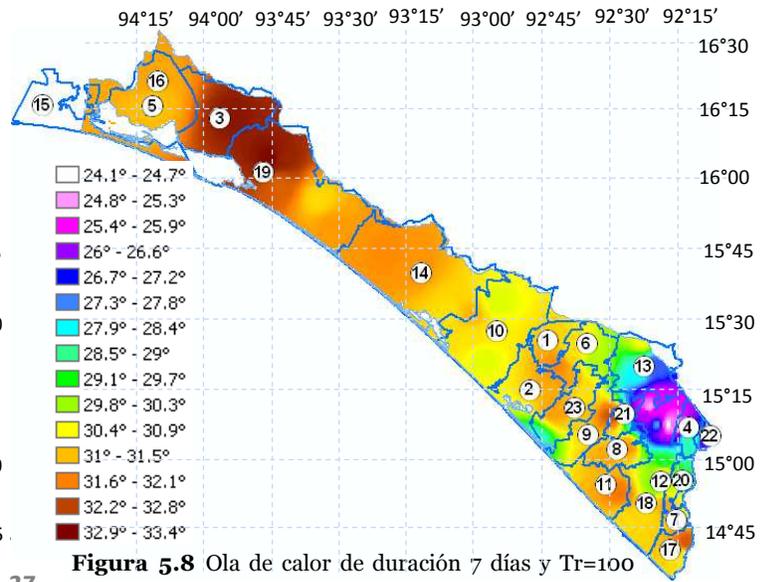


Figura 5.8 Ola de calor de duración 7 días y Tr=100 años

1.2 Observación

De acuerdo a los resultados del análisis la ola de calor más frecuente es la que corresponde a duración de dos días en todas las estaciones analizadas (Anexo B5), esto se comprobó dibujando la probabilidad de ocurrencia de duración de dos días hasta la de diez días (Grafico 5.1).

Para la variable temperatura media se observa en promedio la parte noroeste de la Costa de Chiapas es la más severa con una media de 31.5° a 32° , para un periodo de retorno de 2 años y para 100 años es de 32.9° a 33.4° , los municipios que presentaron el promedio más alto en esta variable son Arriaga y Tonalá.

Las temperaturas menores se observan en la parte sureste de la Costa de Chiapas, con una media que oscila de 23.7° a 24.3° para un periodo de retorno de 2 años y para 100 años es de 24.1° a 24.7° , los municipios que presentaron el promedio más bajo en esta variable son Motozintla, la parte norte de Tapachula, Cacahoatán y Unión Juárez.

5.2 Análisis de olas de calor en la variable temperatura máxima

La variable temperatura máxima se registra en el día generalmente, la toman a las 2 de la tarde en los observatorios meteorológicos, para este análisis se necesitó la base de datos diarios (Anexo C1).

Como se menciona anteriormente de los diversos criterios para seleccionar los eventos de las olas de calor, para esta variable se ha considerado como ola de calor, aquellos días mayores que 1, en que la temperatura sobrepasa el percentil 90, en el periodo del año 1960 a 2007 (Anexo C5).

Una vez obtenida esta nueva serie de duraciones, se graficó de acuerdo a la probabilidad de frecuencia de las duraciones de 2 días a 10 días, esto se hizo dividiendo el número de olas de calor correspondiente a cada duración entre el número total de olas de calor obtenidas, como se muestra en el grafico 5.2.

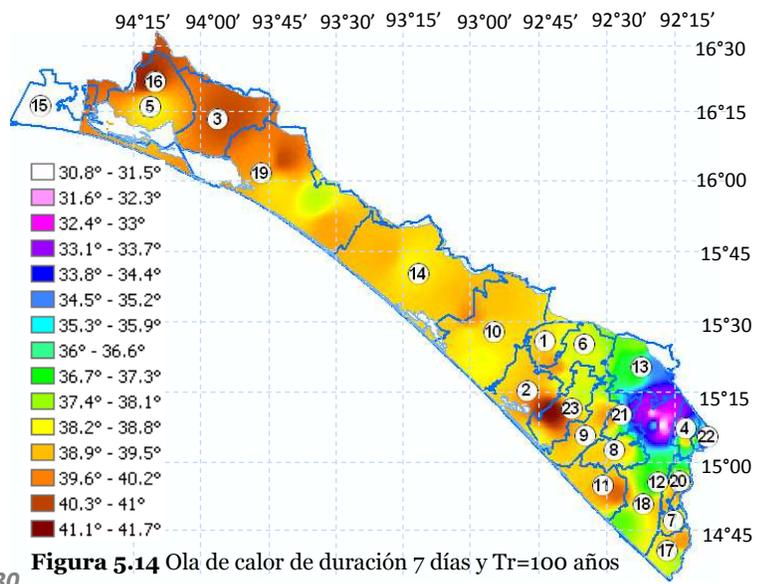
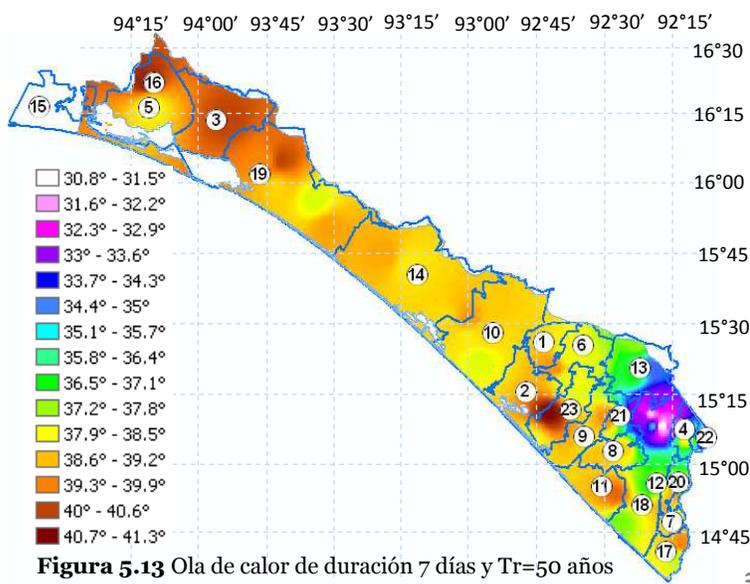
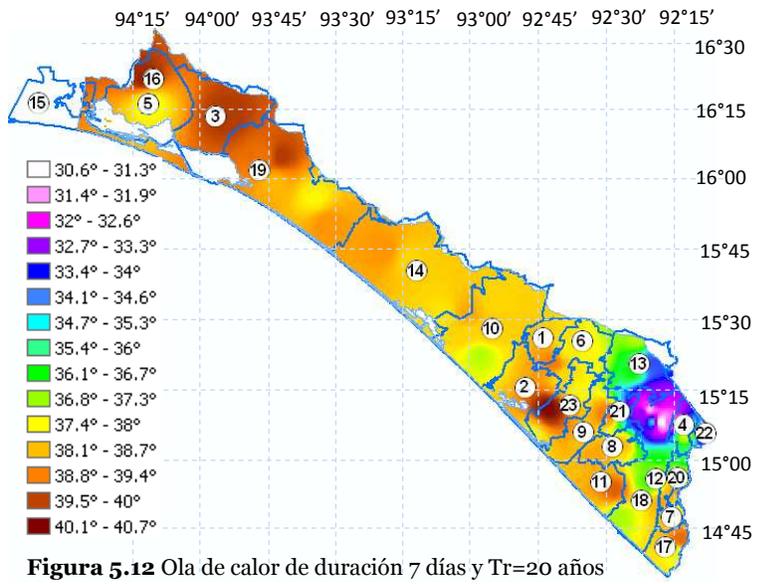
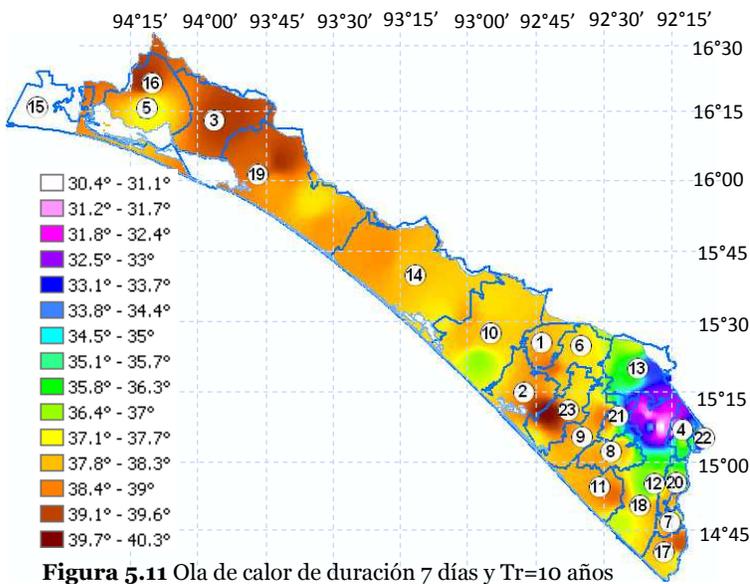
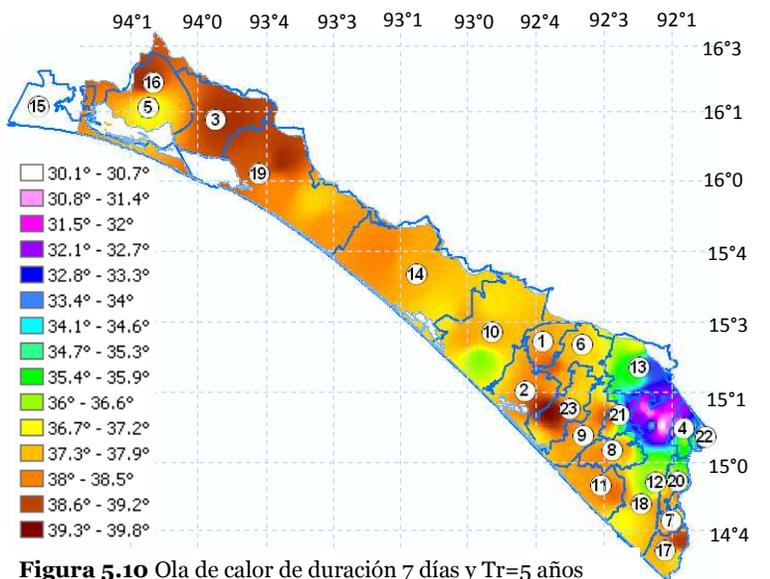
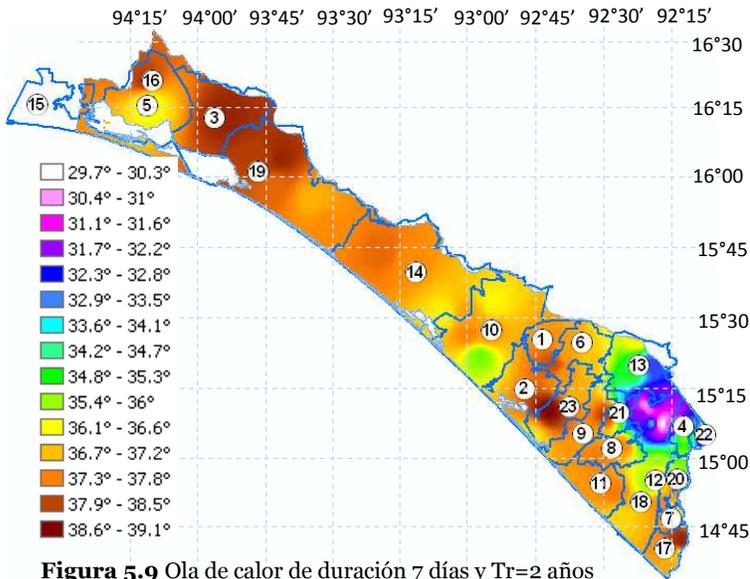
También se obtuvo la serie de promedios de duraciones que van desde 2 días hasta 7 días, debido al número de datos necesarios en un análisis de frecuencia (Anexo C6); con ello se obtuvo los eventos esperados del promedio de las duraciones para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años.

En las Figuras 5.9 a la 5.14 se ejemplifica para diferentes periodos de retorno, del promedio de las olas de calor de 7 días, el evento esperado en esta zona denominada Costa de Chiapas.



Grafico 5.2 Histograma de olas de calor de algunas estaciones de diferentes duraciones

Mapas de olas de calor del promedio de duración 7 días (en grados centígrados)



5.2.3 Observación

De acuerdo al análisis la ola de calor más frecuente es la que corresponde a duración de dos días en todas las estaciones analizadas (Anexo C5), esto se comprobó dibujando la probabilidad de ocurrencia de duración de dos días hasta la de diez días (Grafico 5.2).

En este estudio de olas de calor en la variable temperatura máxima se observa que en promedio la parte noroeste y la parte baja sureste de la Costa de Chiapas presentaron las condiciones más severas, teniendo una media de 38.6° a 39.1 ° para un periodo de retorno de 2 años y para 100 años es de 41.1° a 41.7°, los municipios que presentaron el promedio más alto en esta variable son Arriaga, Tonalá, Frontera Hidalgo y Villa Comaltitlán.

El promedio de temperaturas menores se observa en la parte sureste de la Costa de Chiapas con una media que oscila de 29.7° a 30.3 ° para un periodo de retorno de 2 años y para 100 años es de 30.8° a 31.5°, los municipios que presentaron el promedio más bajo en esta variable son la parte este de Motozintla, la parte norte de Tapachula, Cacahoatán y Unión Juárez.

5.4 Análisis de olas de calor en la variable temperatura mínima

La variable temperatura mínima corresponde al mínimo que se registra en el día generalmente la toman a las 2 de la mañana, en los observatorios meteorológicos, este valor se obtuvo de forma diaria (Anexo D1).

Para la selección de eventos en las olas de calor, se considero a aquellos días mayores que 1, en que la temperatura sobrepasa el percentil 90, en el periodo del año 1960 a 2007 (Anexo D5).

De la nueva serie de duraciones, se graficó de acuerdo a la probabilidad de frecuencia de las duraciones de 2 días a 10 días, esto se hizo dividiendo el numero de olas de calor correspondiente a cada duración entre el número total de olas de calor obtenidas, como se muestra en el grafico 5.3.

Otra serie que se obtuvo es la de promedios de duraciones que van desde 2 días hasta 7 días, debido al número de datos necesarios para un análisis de frecuencia (Anexo D6) ; con ello se obtuvieron los eventos esperados del promedio de las duraciones para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años.

En las Figuras 5.15 a la 5.20 se ejemplifica para diferentes periodos de retorno, del promedio de las olas de calor de 7 días, el evento esperado en esta zona denominada Costa de Chiapas.



Grafico 5.3 Histograma de olas de calor de algunas estaciones de diferentes duraciones

Mapas de olas de calor del promedio de duración 7 días (grados centígrados)

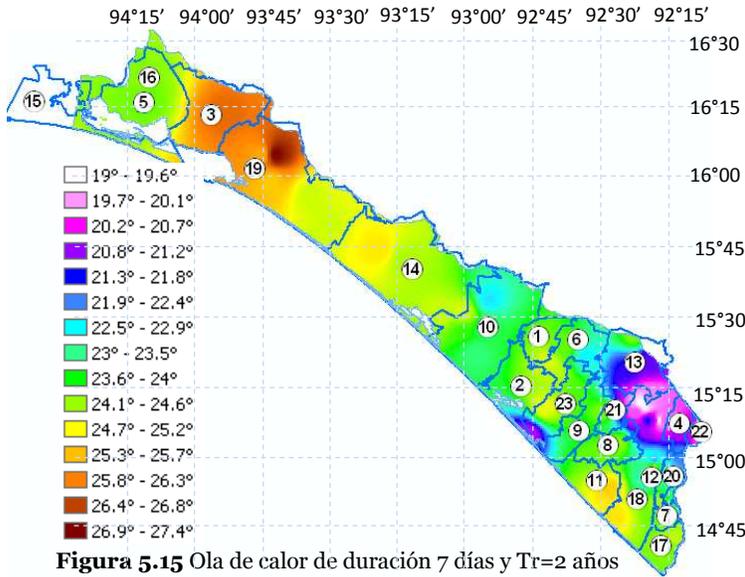


Figura 5.15 Ola de calor de duración 7 días y Tr=2 años

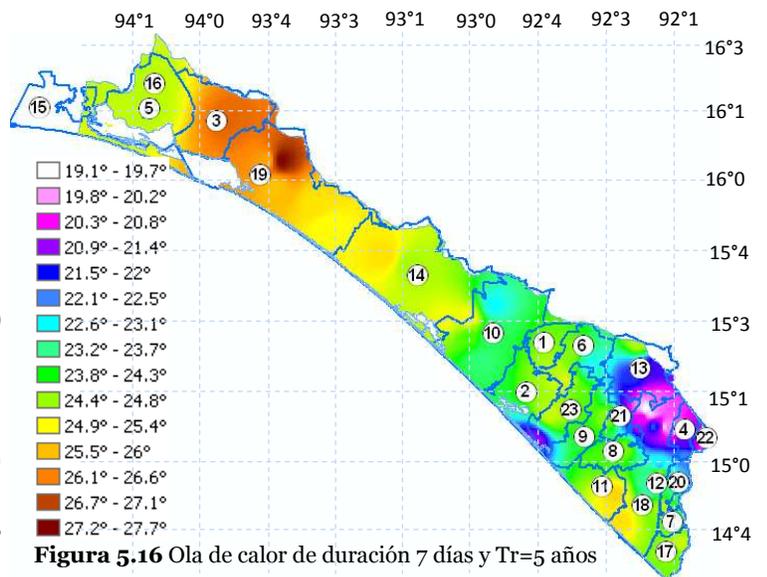


Figura 5.16 Ola de calor de duración 7 días y Tr=5 años

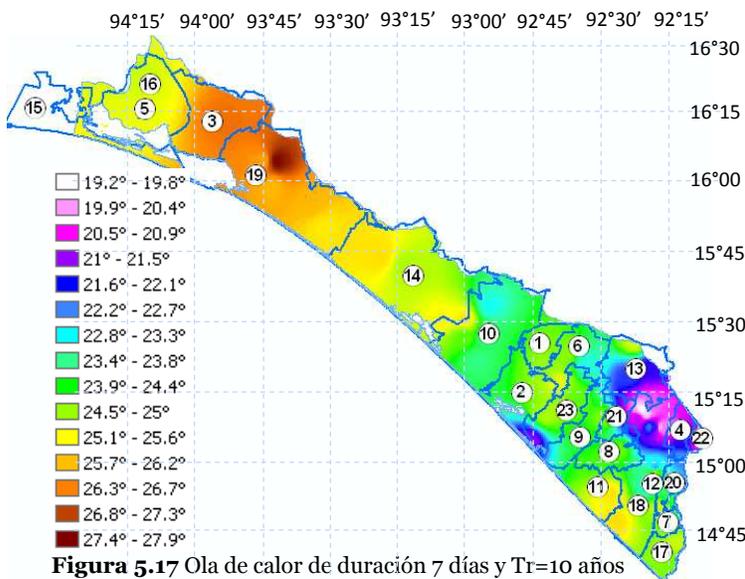


Figura 5.17 Ola de calor de duración 7 días y Tr=10 años

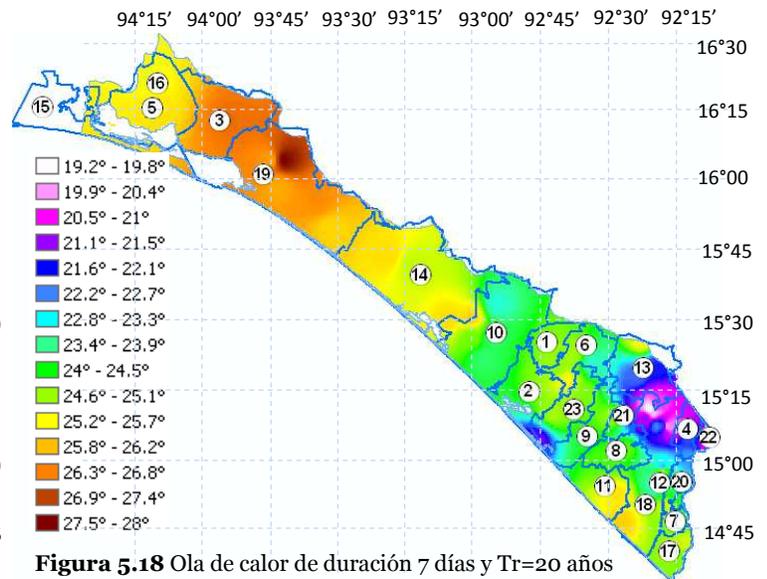


Figura 5.18 Ola de calor de duración 7 días y Tr=20 años

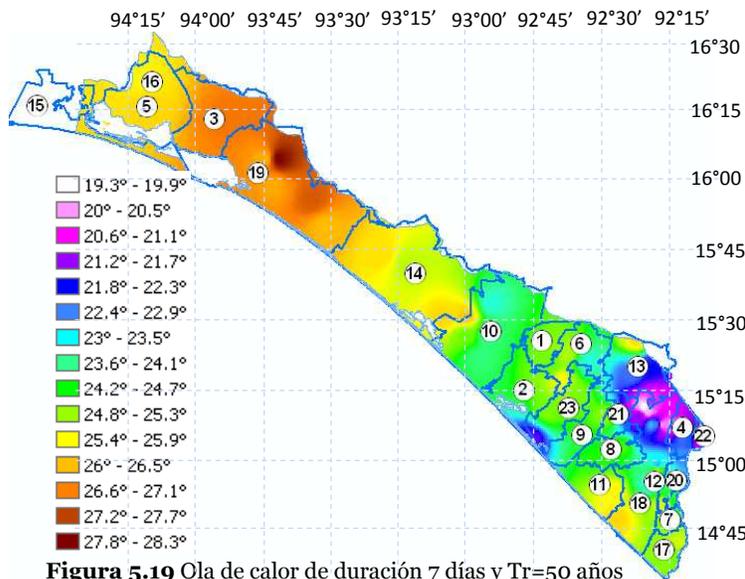


Figura 5.19 Ola de calor de duración 7 días y Tr=50 años

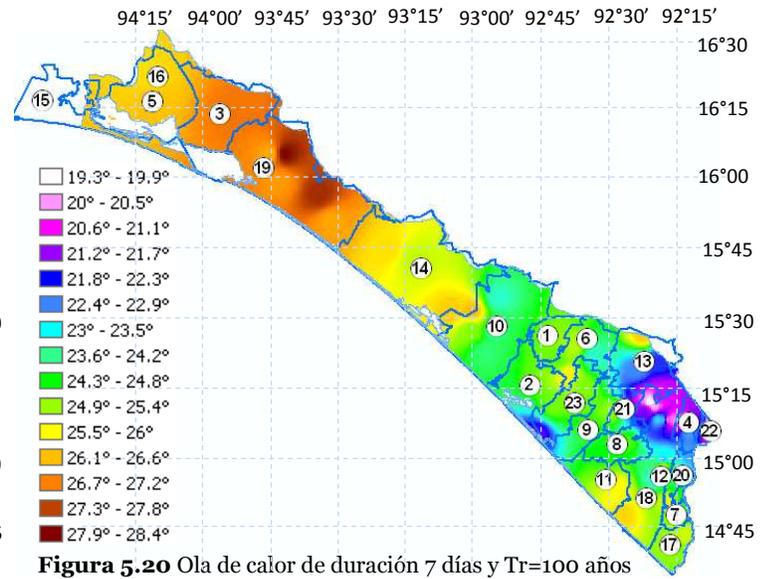


Figura 5.20 Ola de calor de duración 7 días y Tr=100 años

5.3.3 Observación

La ola de calor más frecuente es la que corresponde a duración de dos días en todas las estaciones analizadas (Anexo D5), esto se verifica en los histogramas obtenidos (Grafico 5.3)

Para la variable temperatura mínima se observa en promedio la parte noroeste y la parte baja sureste de la Costa de Chiapas, presentaron mayor severidad teniendo una media de 26.9° a 27.4 ° para un periodo de retorno de 2 años y para un periodo de retorno de 100 años es de 27.9° a 28.4°, los municipios que presentaron el promedio más alto en esta variable son Arriaga y Tonalá.

Las temperaturas menores se observan en la parte sureste de la Costa de Chiapas con una media que oscila de 19.0° a 19.6 ° para un periodo de retorno de 2 años y para 100 años es de 19.3° a 19.9°, los municipios que presentaron el promedio más bajo en esta variable son Motozintla, la parte norte de Tapachula, Cacahoatán y Unión Juárez.

5.4 Tendencia mensual e incrementos en grados centígrados de las variables temperatura máxima, media y mínima

En esta sección se presentan las tendencias mensuales que ha presentado la temperatura en el rango de tiempo 1960-2007.

Para identificar si existió cambio en el patrón de tendencia de esta variable se graficó de forma mensual para la temperatura media (Anexo B2), para la temperatura máxima (Anexo C2) y para la temperatura mínima (Anexo D2). Se aplicaron las pruebas de homogeneidad de Helmert, Cramer, *t* de Student y Mann-Kendall a las diferentes variables (Anexo B3, C3 Y D3), de las que resultaron no homogéneas se observó su tendencia (Anexo B4, C4 y D4).

Una vez obtenida la tendencia de cada uno de los meses de las temperaturas, se verificó cuales son los municipios con mayor área afectada en estos incrementos y decrementos de temperatura, haciendo uso del programa ARCGIS se obtuvieron mapas de incrementos y decrementos de temperaturas como se muestra más adelante.

Para identificar el cambio en grados centígrados que ha tenido los municipios de la Costa de Chiapas, se promedió la mitad del registro de 1960 a 1983 comparando con el promedio de 1984 a 2007. Para cada municipio se obtuvo el incremento o decremento de temperatura en grados centígrados, esto se hizo utilizando los polígonos de Thiessen, obteniendo áreas de influencia de cada estación respecto de los municipios. Finalmente se elaboraron mapas que corresponden al incremento y decremento de temperatura.

Tabla 5.3 tendencia del promedio mensual de la variable temperatura media

Estación	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
7012	E	E	E	E	E	I	E	I	I	E	I	I
7014	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
7018	I	I	I	I	I	I	I	I	I	E	I	I
7019	I	I	I	I	I	I	I	I	E	E	I	I
7038	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
7045	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
7048	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
7053	D	D	D	D	E	E	D	D	D	I	E	D
7056	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
7057	E	E	D	E	E	E	E	E	E	D	E	E
7058	E	E	D	D	D	D	D	D	D	D	E	E
7060	E	E	D	E	E	E	E	E	E	E	I	E
7061	I	I	E	E	E	E	E	E	D	I	I	I
7068	I	I	E	I	E	E	E	E	E	E	E	I
7072	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7073	I	I	I	I	I	I	E	E	E	E	I	E
7074	I	I	I	E	E	E	E	E	E	E	I	E
7075	E	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
7077	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
7078	I	E	D	D	D	D	D	D	D	D	D	E
7113	I	I	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7115	E	I	E	E	E	E	I	I	E	E	E	E
7116	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
7117	E	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7129	I	I	E	E	E	I	E	E	E	I	I	I
7136	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
7146	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	I
7157	E	E	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
7168	I	E	E	E	E	E	I	I	I	E	I	E
7182	E	I	E	E	E	I	I	I	I	E	I	D
7185	E	E	D	D	E	E	D	E	E	E	E	E
7187	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	I	E
7191	E	E	D	E	E	I	D	E	E	D	I	I
7199	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
7200	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
7201	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	E
7208	E	E	D	D	D	D	D	D	D	D	I	D
7228	I	I	I	I	E	E	E	E	E	E	I	I
7320	E	D	D	E	I	I	I	I	E	I	I	I
7326	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
7333	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
7334	E	E	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
7336	I	E	D	D	D	E	E	D	E	E	E	I
7339	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
7342	E	D	E	I	I	I	I	I	I	I	E	D
7344	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
7347	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
7348	E	E	D	D	D	D	D	D	E	I	E	E
7352	I	I	E	D	D	E	D	E	E	E	E	E
20148	D	E	E	D	E	E	E	E	E	E	E	D
20328	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	D

Mes de Enero

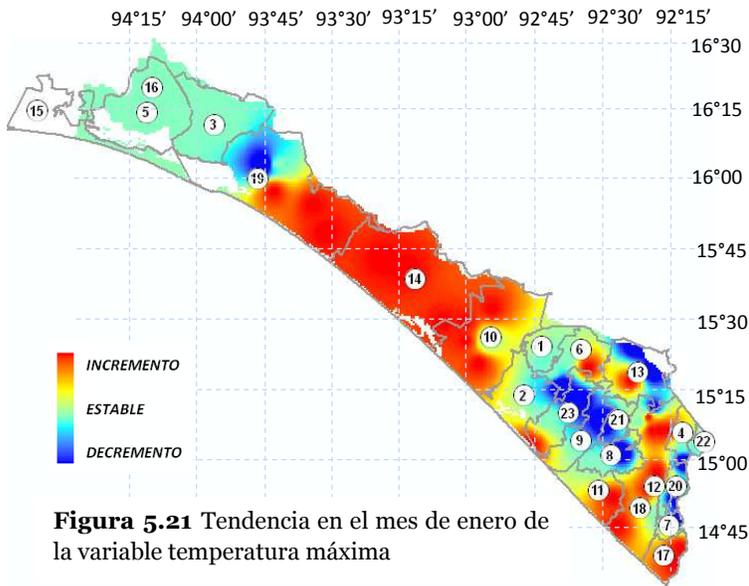


Figura 5.21 Tendencia en el mes de enero de la variable temperatura máxima

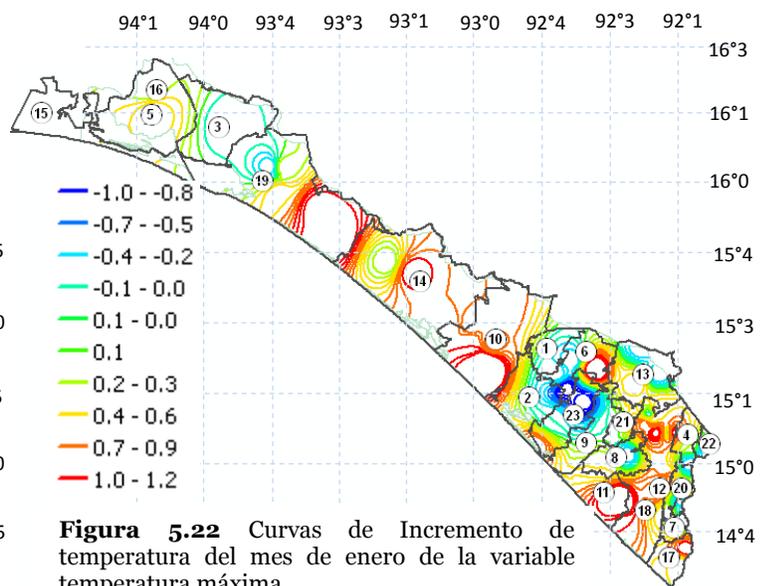


Figura 5.22 Curvas de Incremento de temperatura del mes de enero de la variable temperatura máxima

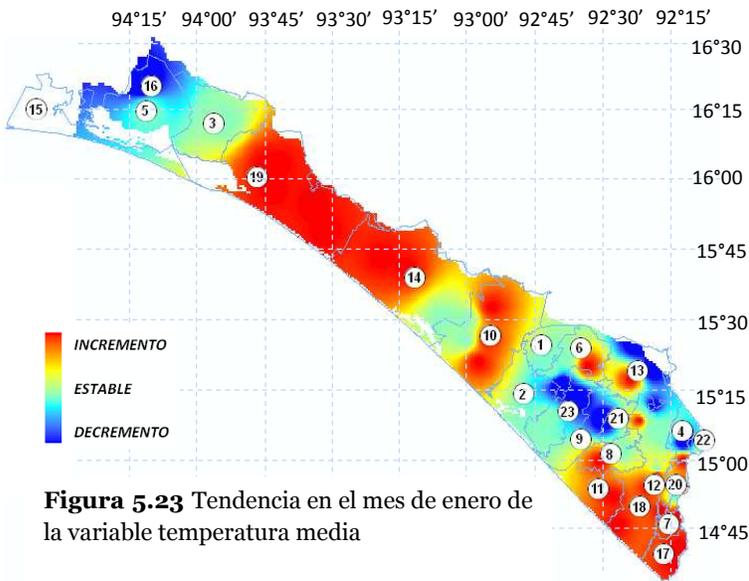


Figura 5.23 Tendencia en el mes de enero de la variable temperatura media

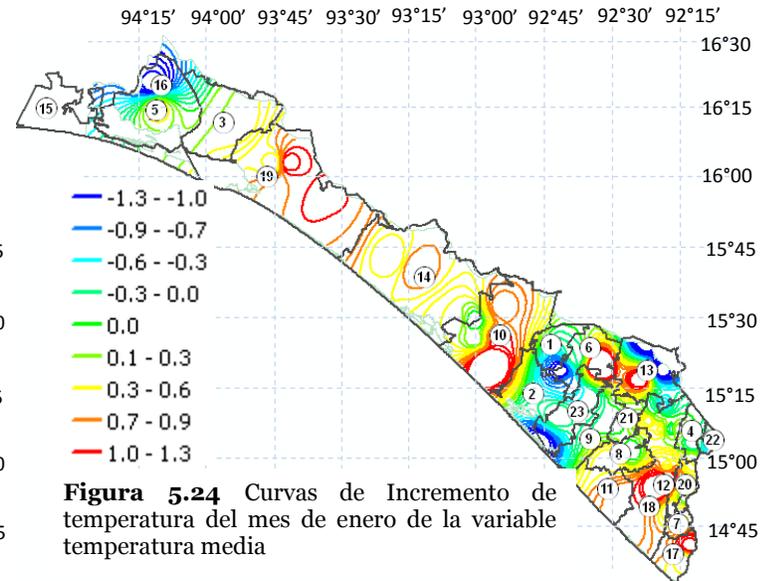


Figura 5.24 Curvas de Incremento de temperatura del mes de enero de la variable temperatura media

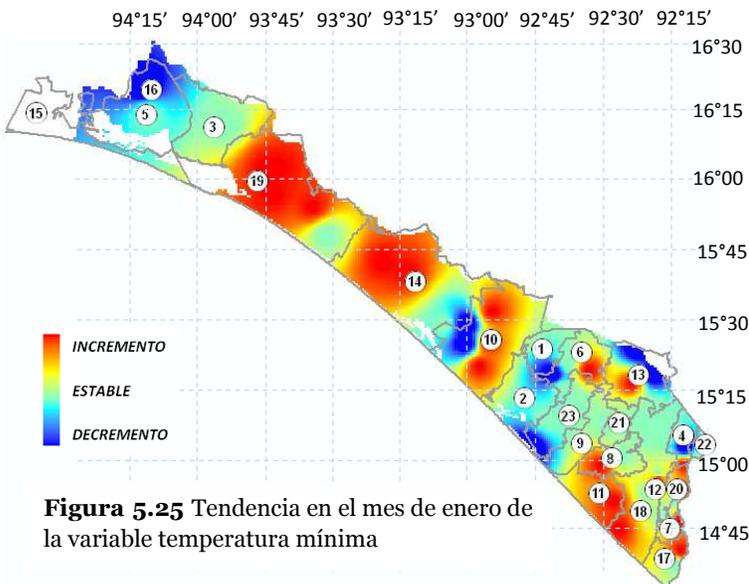


Figura 5.25 Tendencia en el mes de enero de la variable temperatura mínima

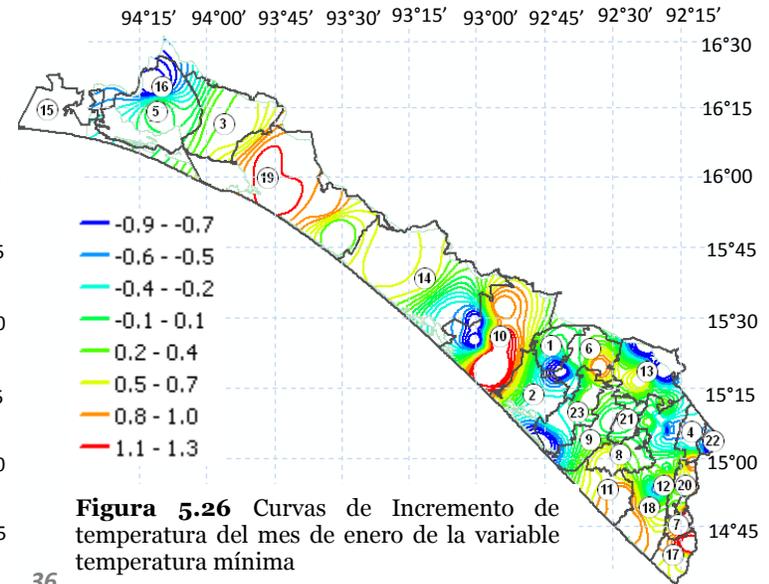
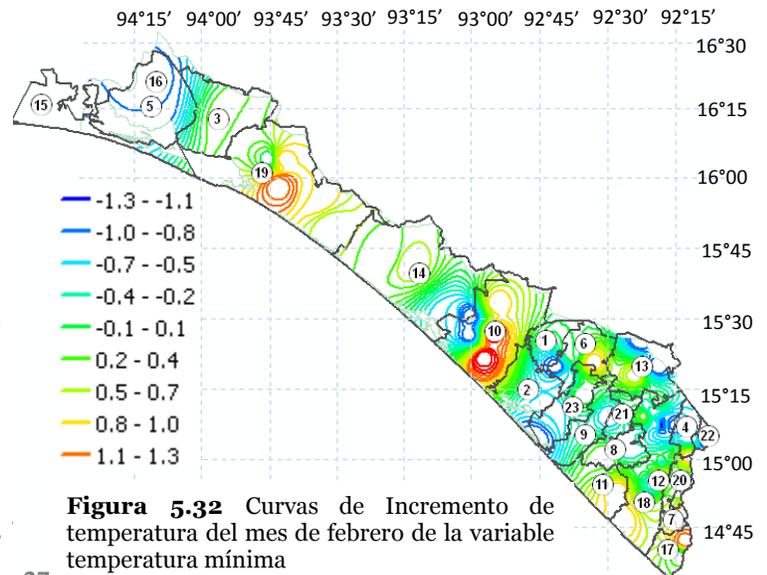
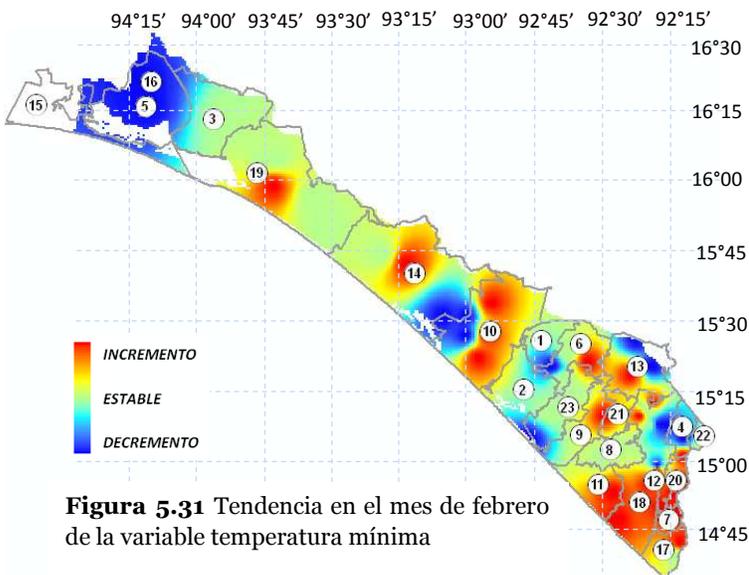
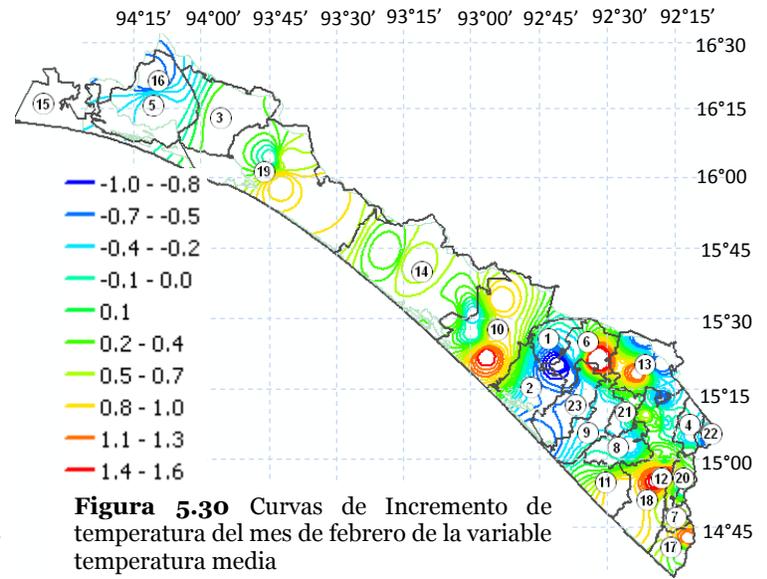
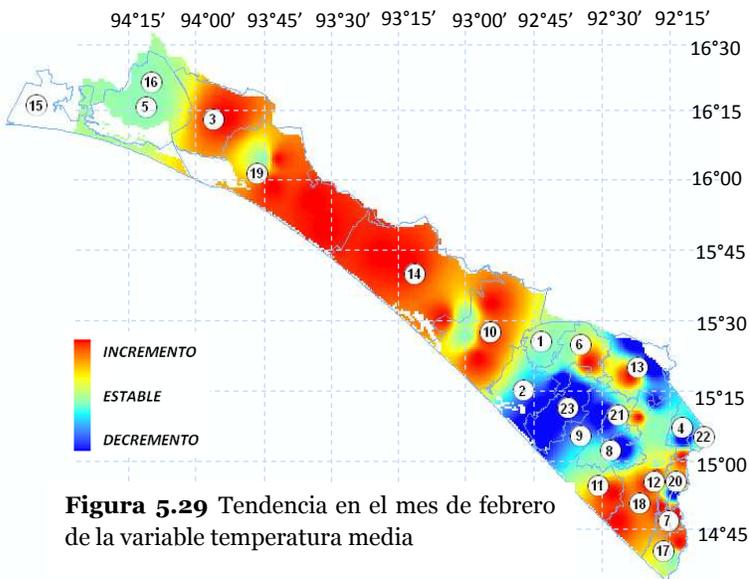
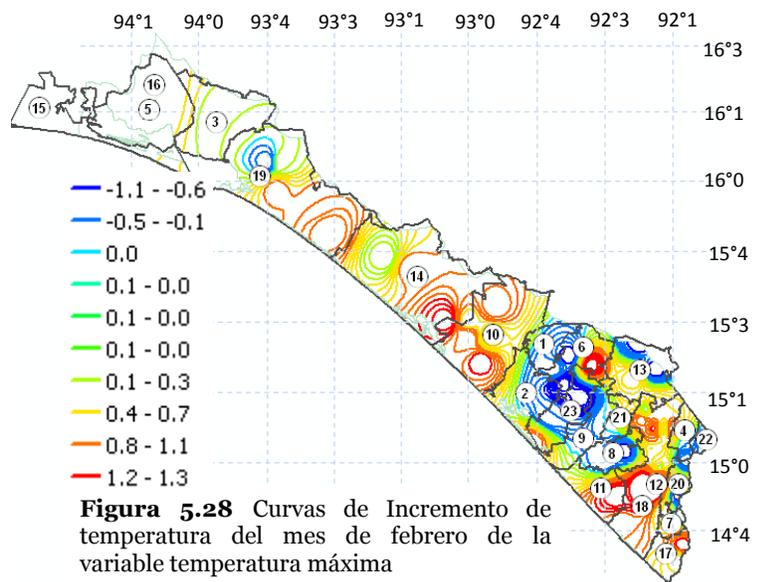
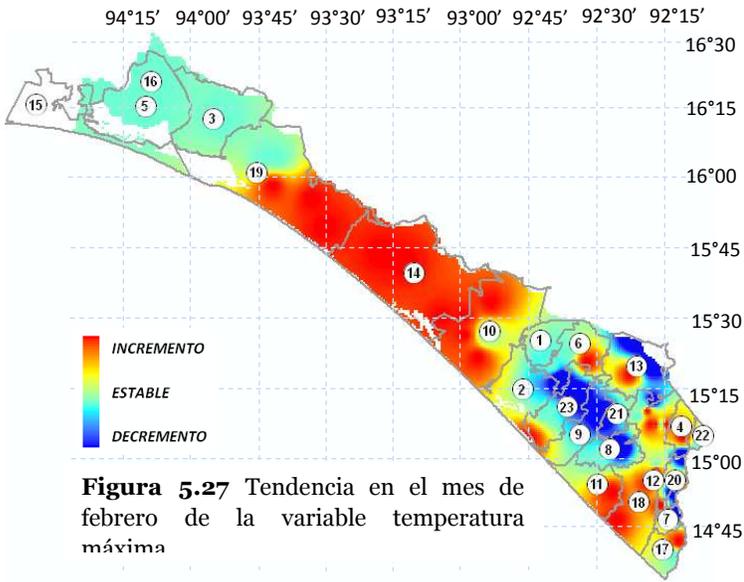


Figura 5.26 Curvas de Incremento de temperatura del mes de enero de la variable temperatura mínima

Mes de Febrero



Mes de Marzo

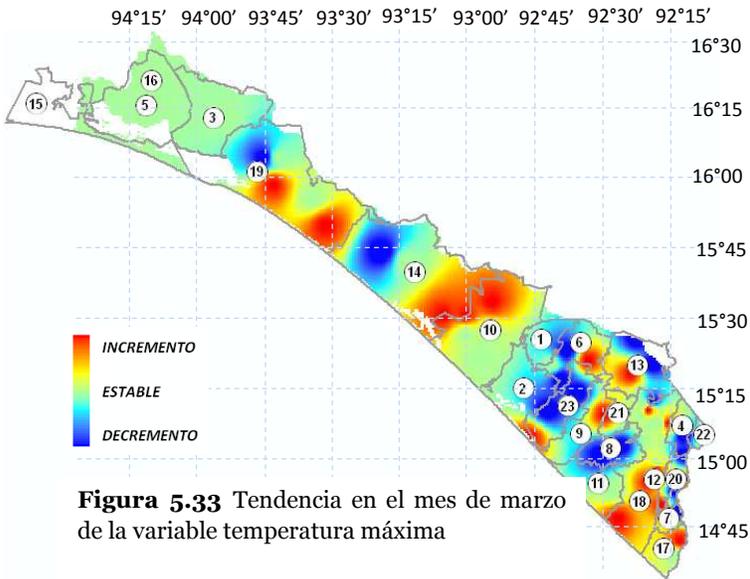


Figura 5.33 Tendencia en el mes de marzo de la variable temperatura máxima

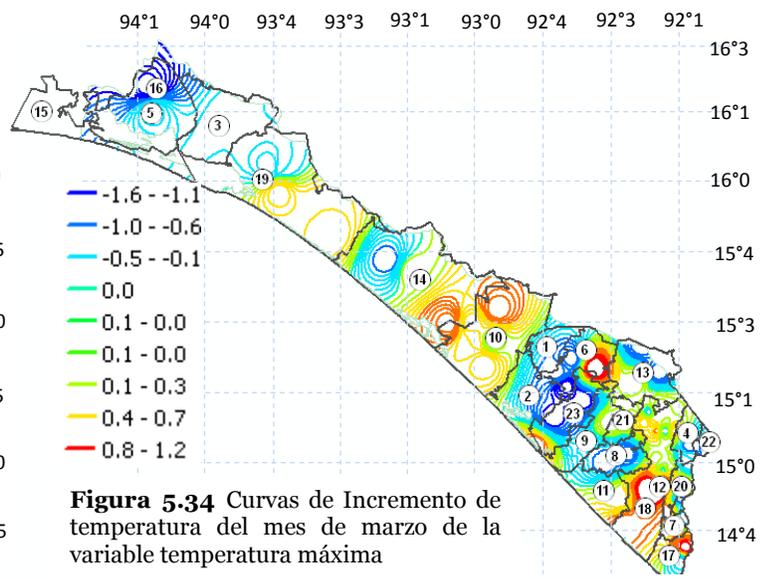


Figura 5.34 Curvas de Incremento de temperatura del mes de marzo de la variable temperatura máxima

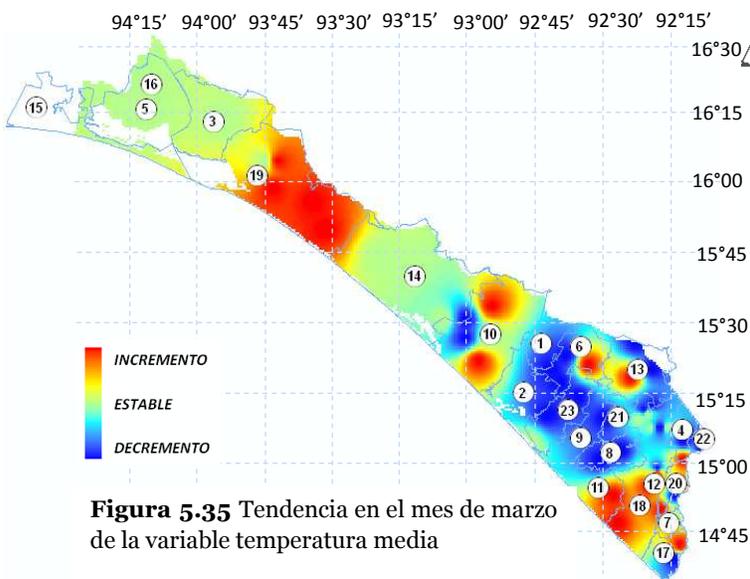


Figura 5.35 Tendencia en el mes de marzo de la variable temperatura media

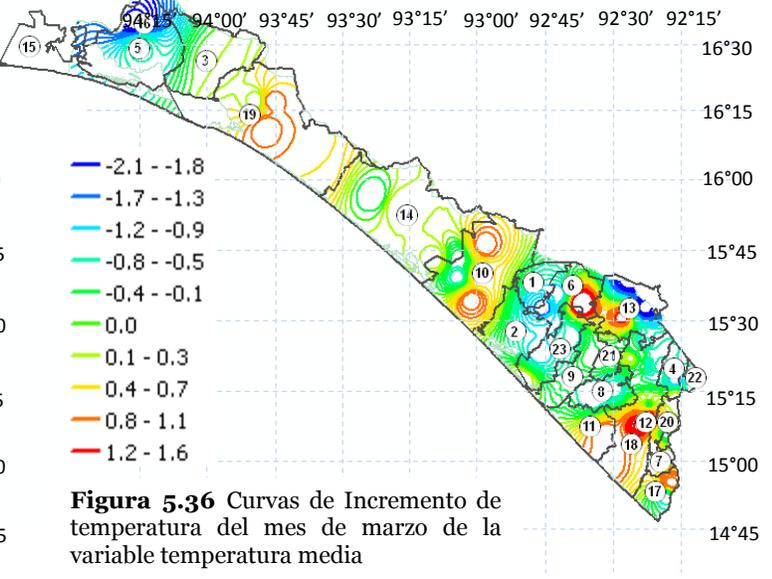


Figura 5.36 Curvas de Incremento de temperatura del mes de marzo de la variable temperatura media

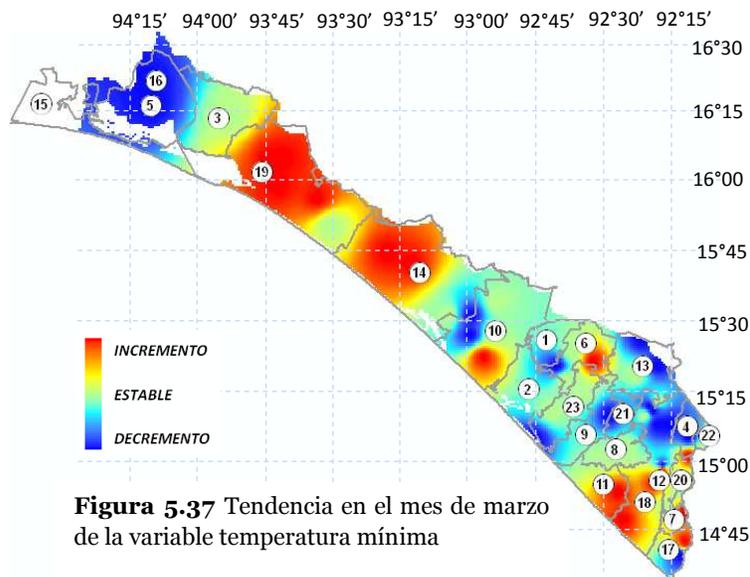


Figura 5.37 Tendencia en el mes de marzo de la variable temperatura mínima

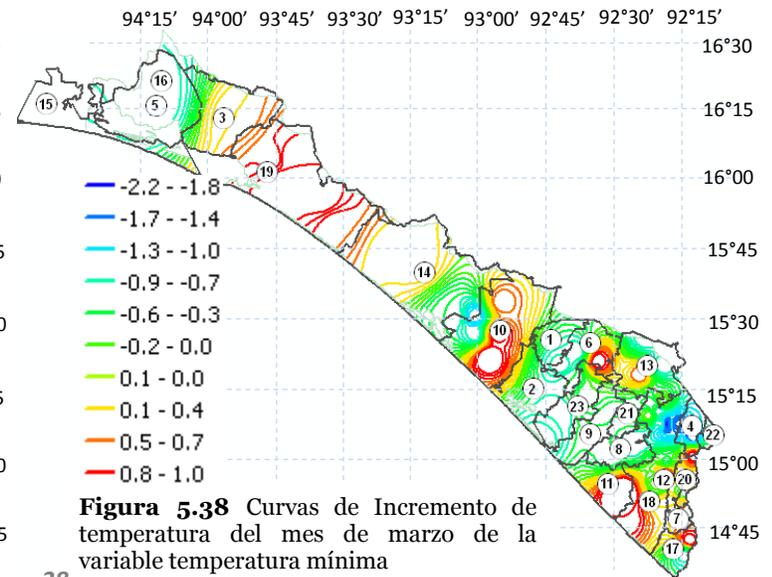


Figura 5.38 Curvas de Incremento de temperatura del mes de marzo de la variable temperatura mínima

Mes de Abril

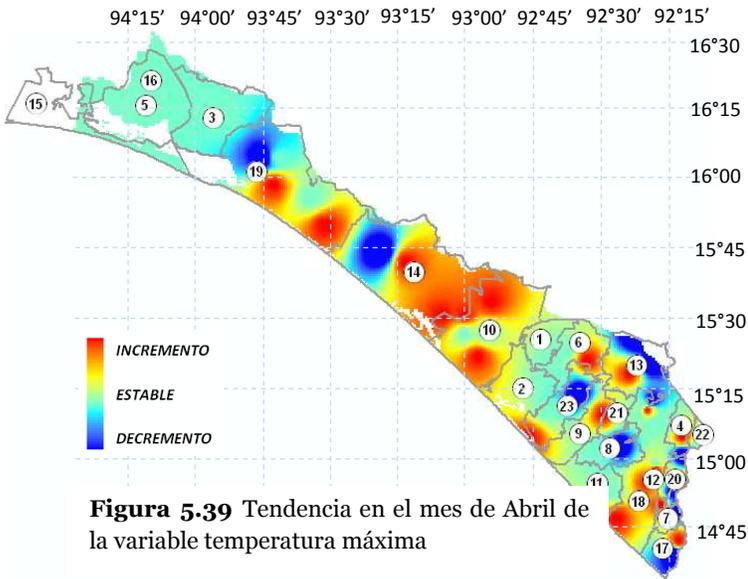


Figura 5.39 Tendencia en el mes de Abril de la variable temperatura máxima

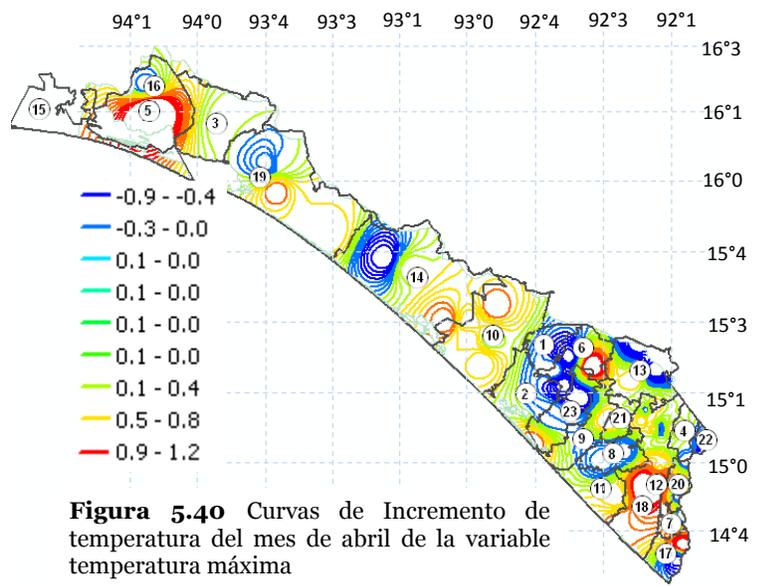


Figura 5.40 Curvas de Incremento de temperatura del mes de abril de la variable temperatura máxima

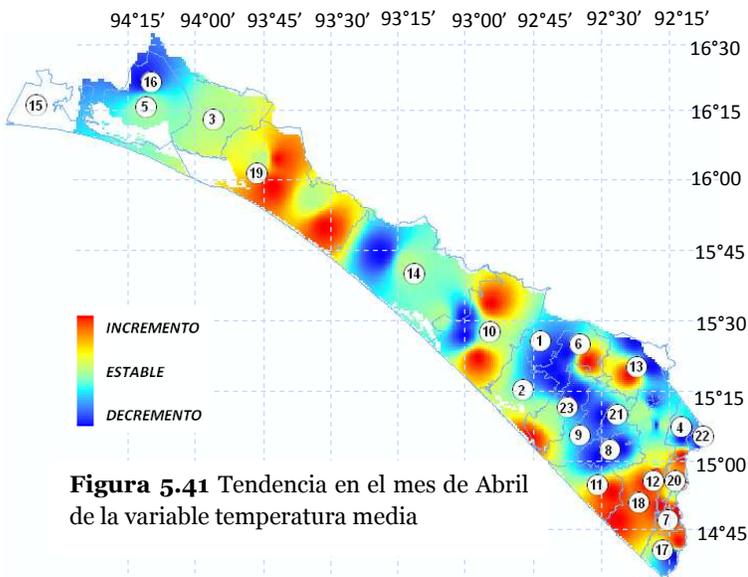


Figura 5.41 Tendencia en el mes de Abril de la variable temperatura media

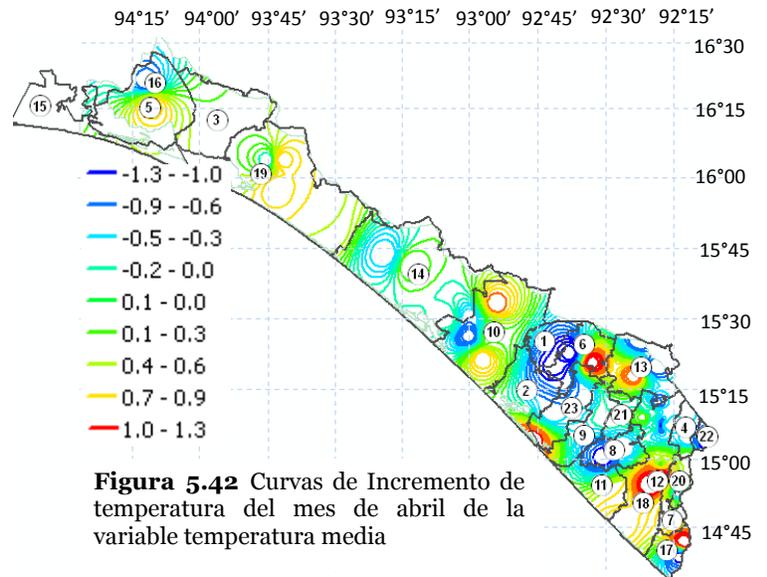


Figura 5.42 Curvas de Incremento de temperatura del mes de abril de la variable temperatura media

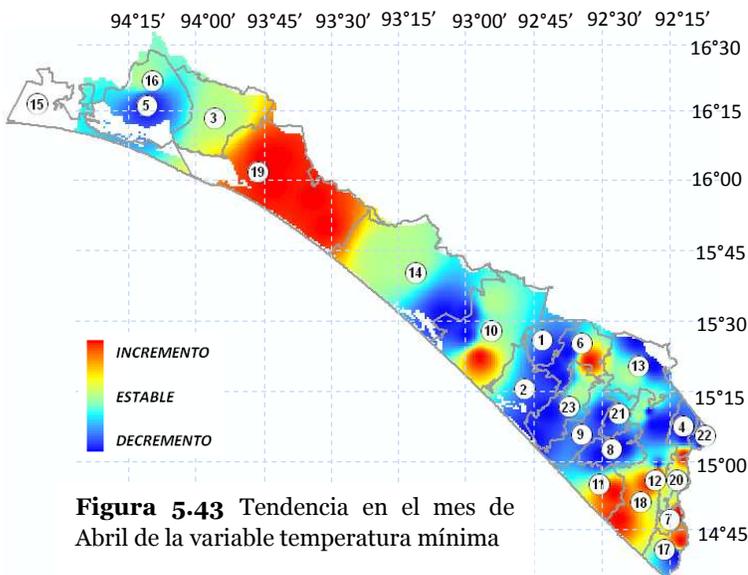


Figura 5.43 Tendencia en el mes de Abril de la variable temperatura mínima

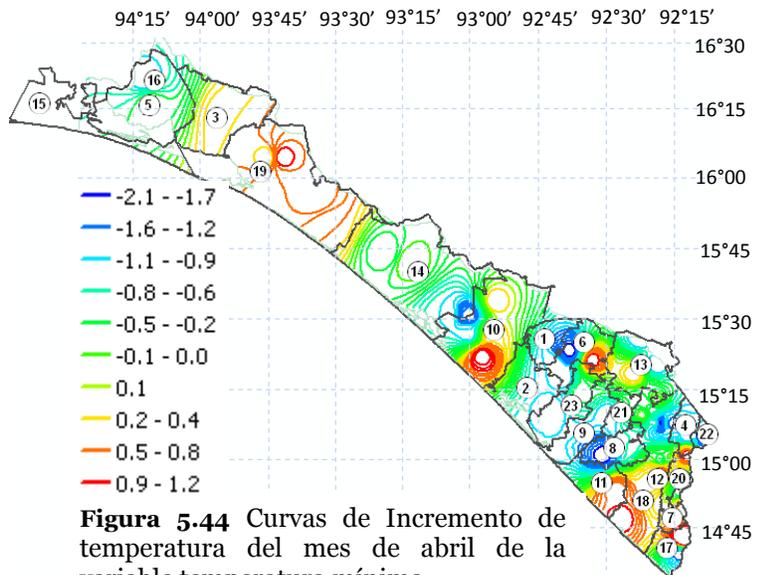


Figura 5.44 Curvas de Incremento de temperatura del mes de abril de la variable temperatura mínima

Mes de Mayo

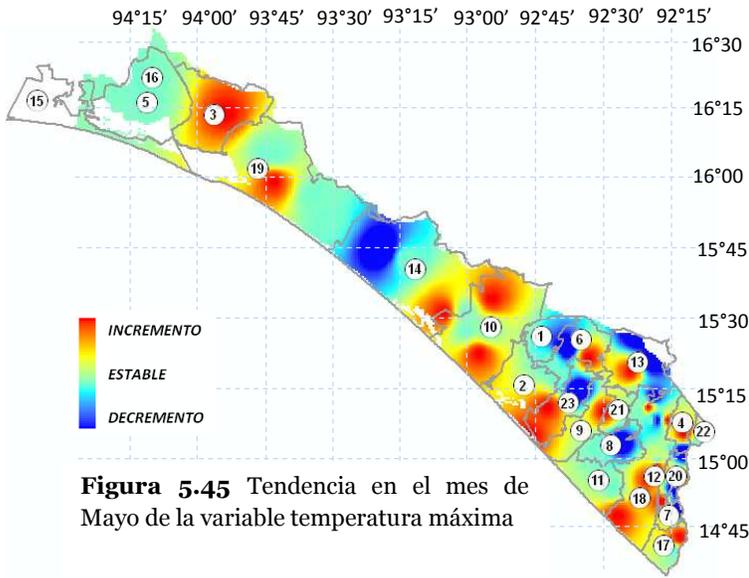


Figura 5.45 Tendencia en el mes de Mayo de la variable temperatura máxima

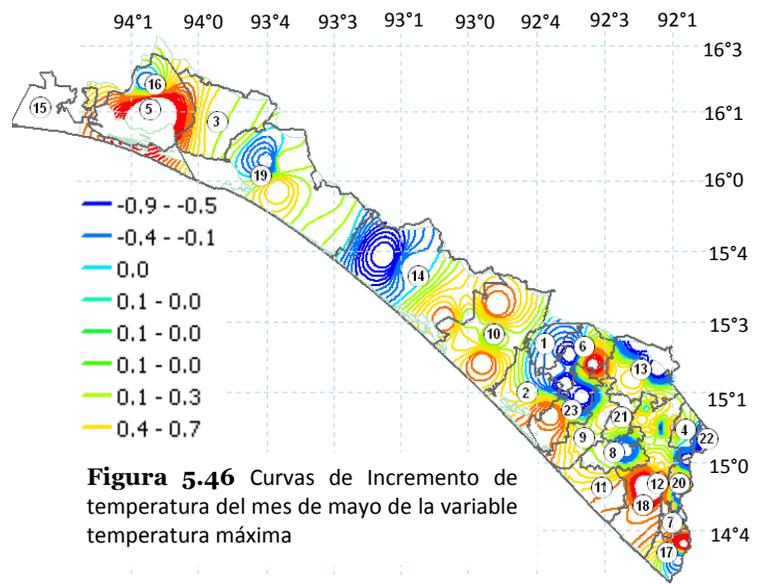


Figura 5.46 Curvas de Incremento de temperatura del mes de mayo de la variable temperatura máxima

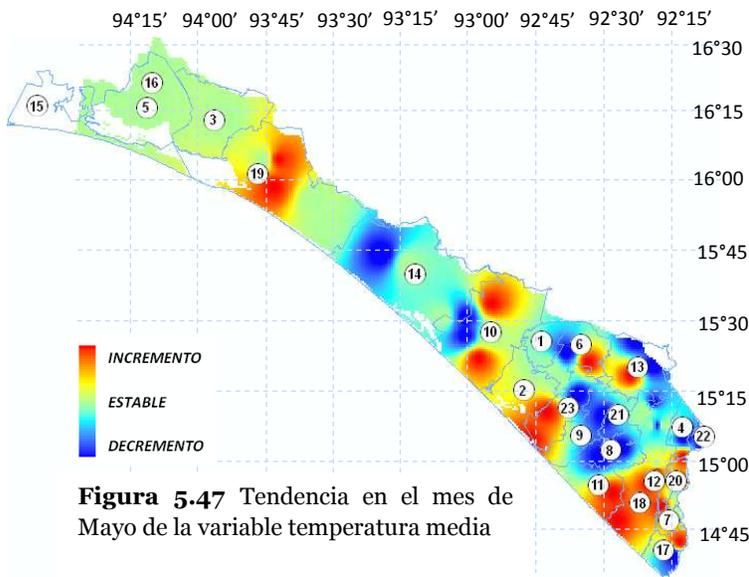


Figura 5.47 Tendencia en el mes de Mayo de la variable temperatura media

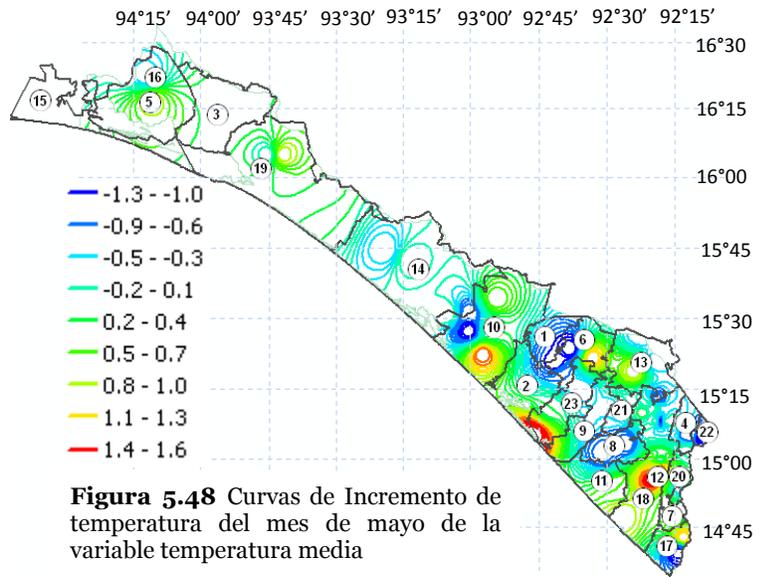


Figura 5.48 Curvas de Incremento de temperatura del mes de mayo de la variable temperatura media

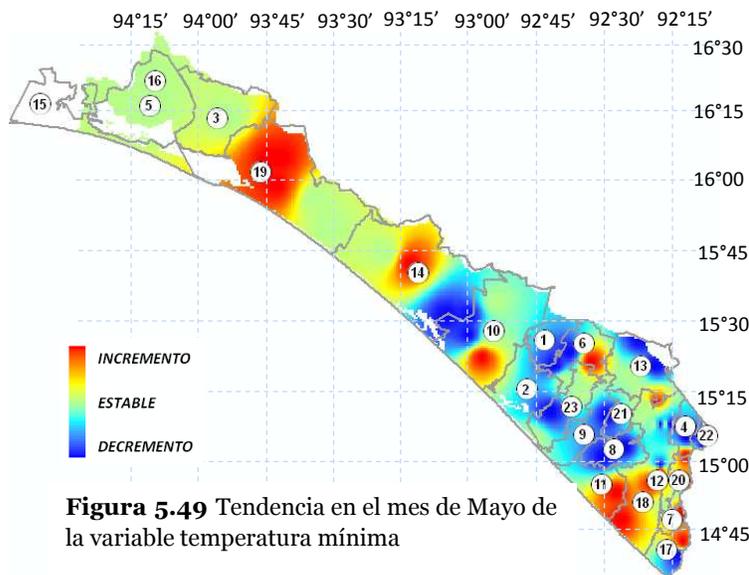


Figura 5.49 Tendencia en el mes de Mayo de la variable temperatura mínima

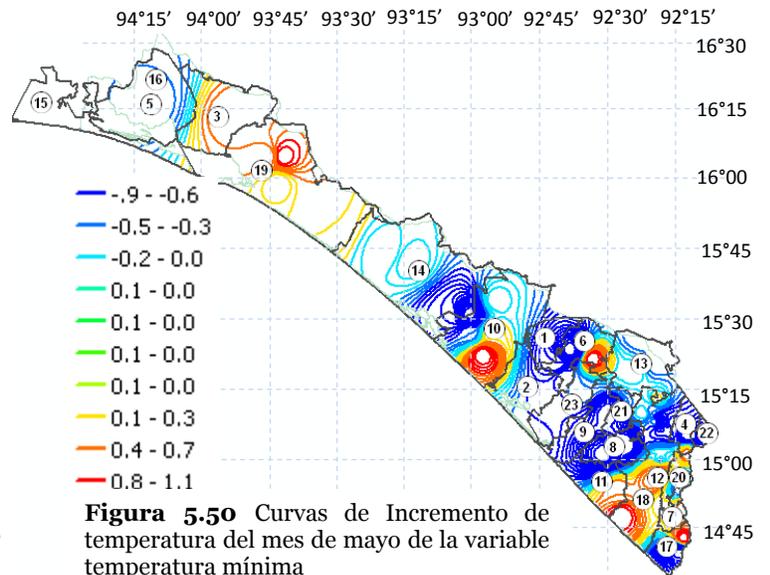


Figura 5.50 Curvas de Incremento de temperatura del mes de mayo de la variable temperatura mínima

Mes de Junio

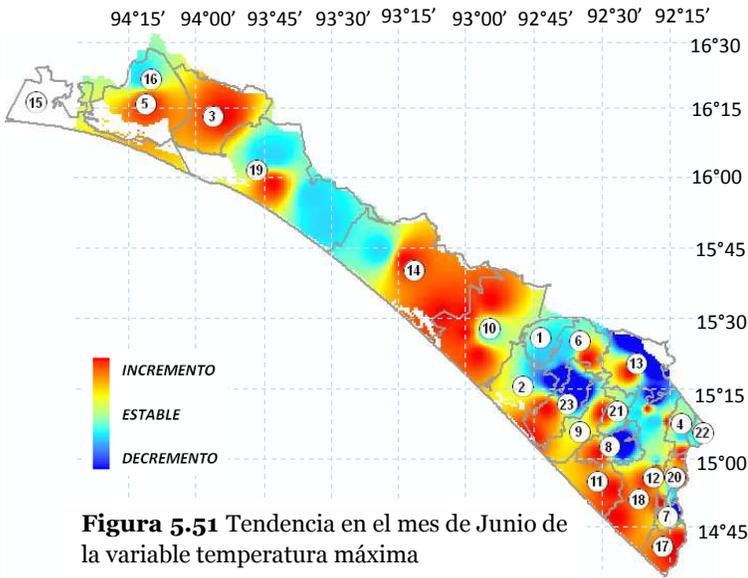


Figura 5.51 Tendencia en el mes de Junio de la variable temperatura máxima

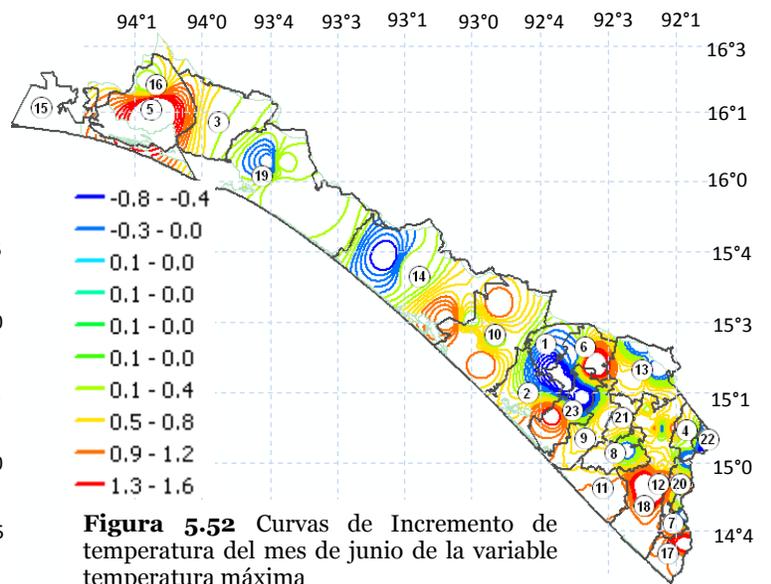


Figura 5.52 Curvas de Incremento de temperatura del mes de junio de la variable temperatura máxima

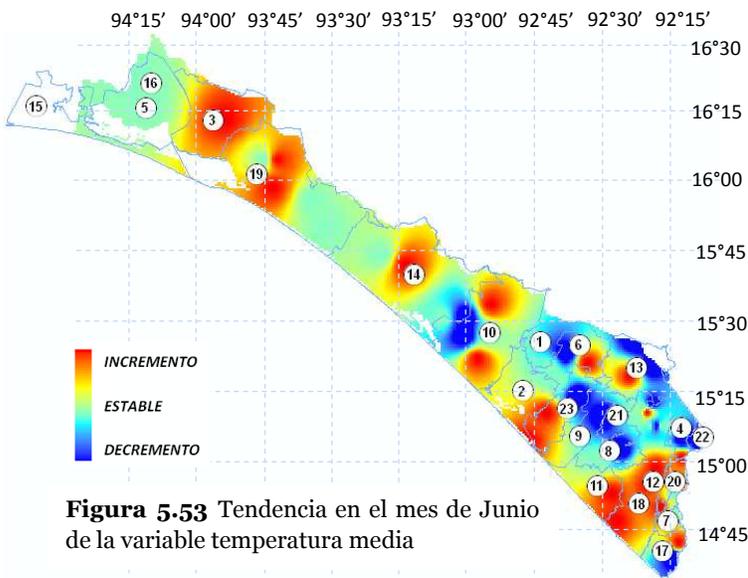


Figura 5.53 Tendencia en el mes de Junio de la variable temperatura media

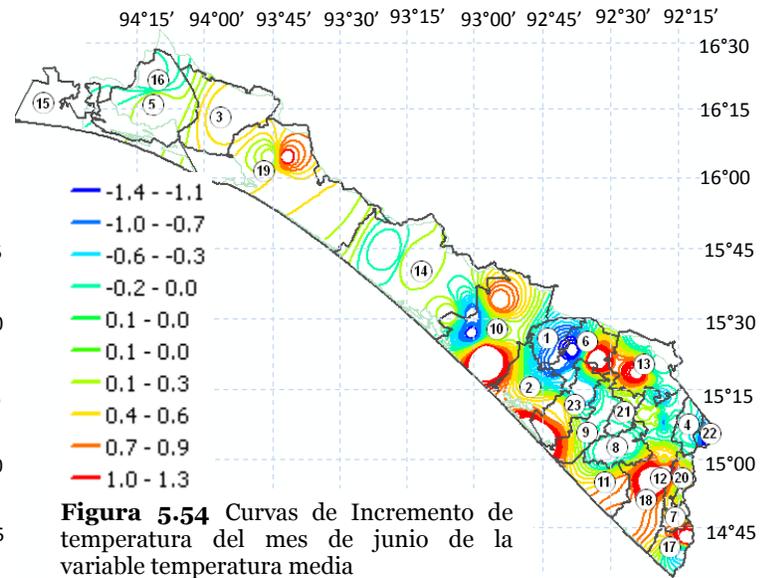


Figura 5.54 Curvas de Incremento de temperatura del mes de junio de la variable temperatura media

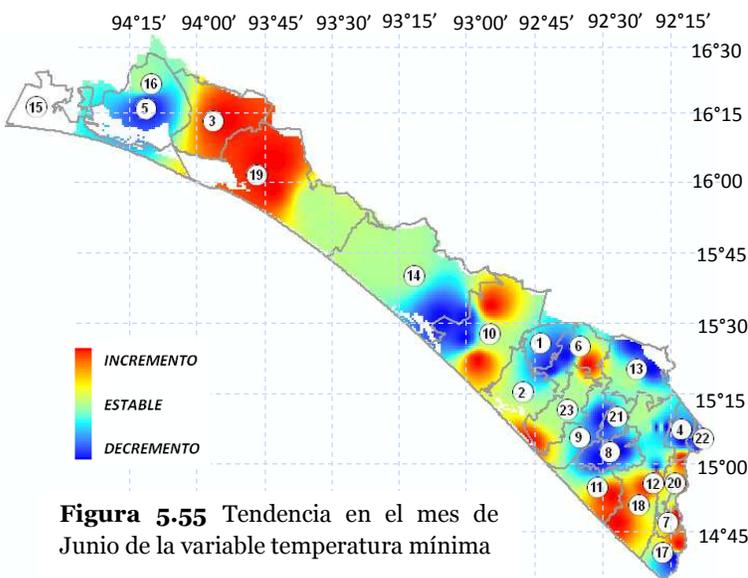


Figura 5.55 Tendencia en el mes de Junio de la variable temperatura mínima

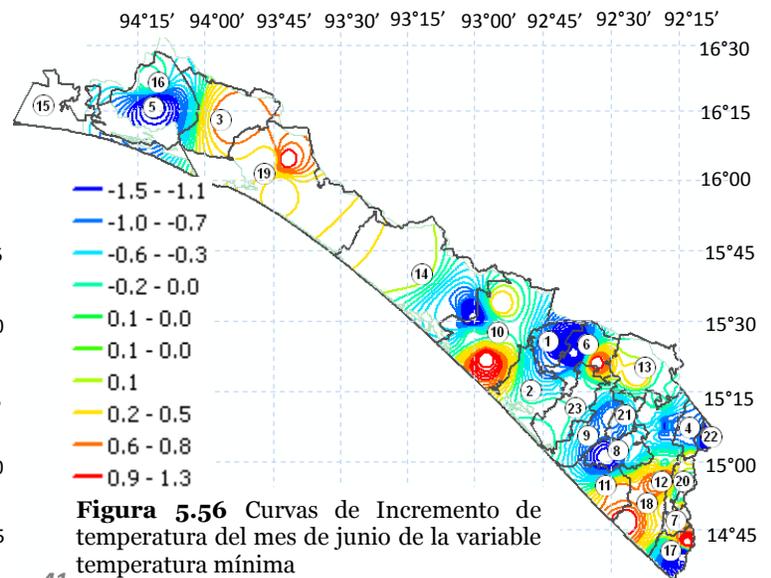


Figura 5.56 Curvas de Incremento de temperatura del mes de junio de la variable temperatura mínima

Mes de Julio

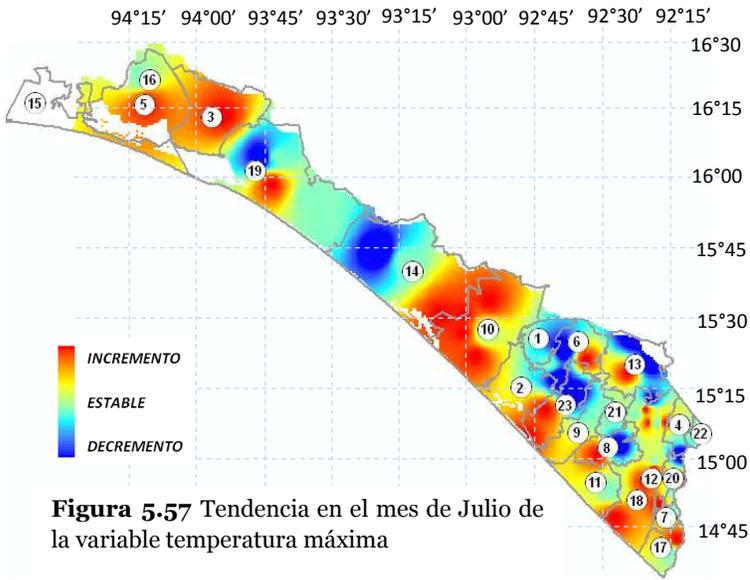


Figura 5.57 Tendencia en el mes de Julio de la variable temperatura máxima

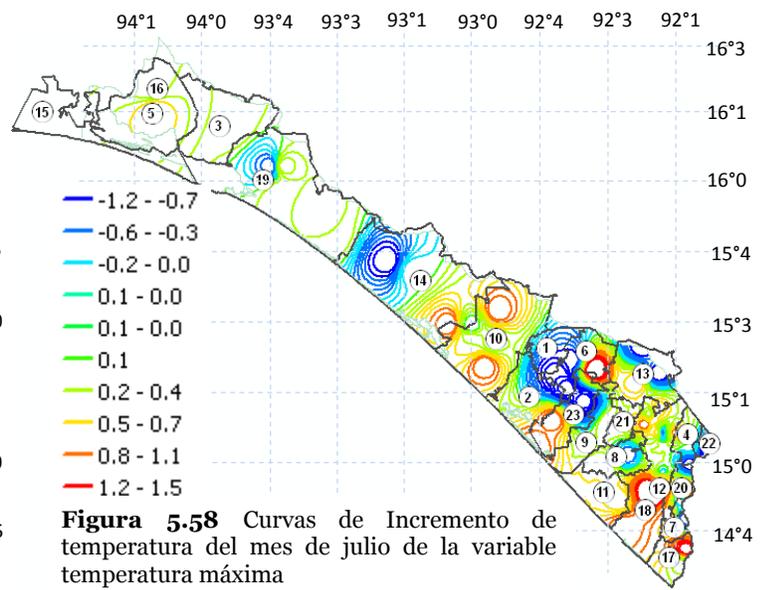


Figura 5.58 Curvas de Incremento de temperatura del mes de julio de la variable temperatura máxima

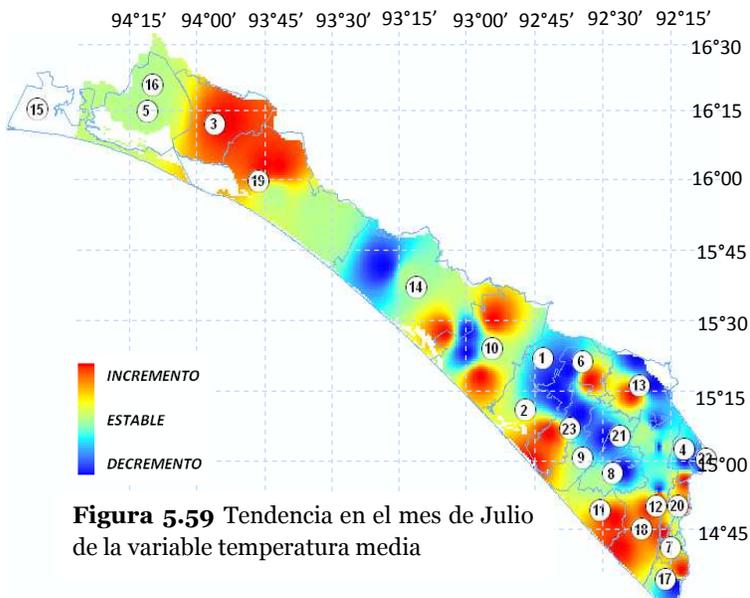


Figura 5.59 Tendencia en el mes de Julio de la variable temperatura media

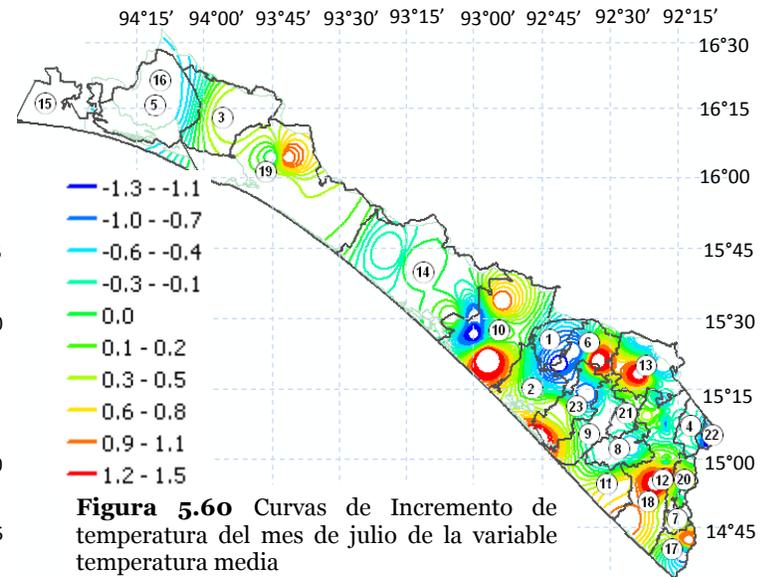


Figura 5.60 Curvas de Incremento de temperatura del mes de julio de la variable temperatura media

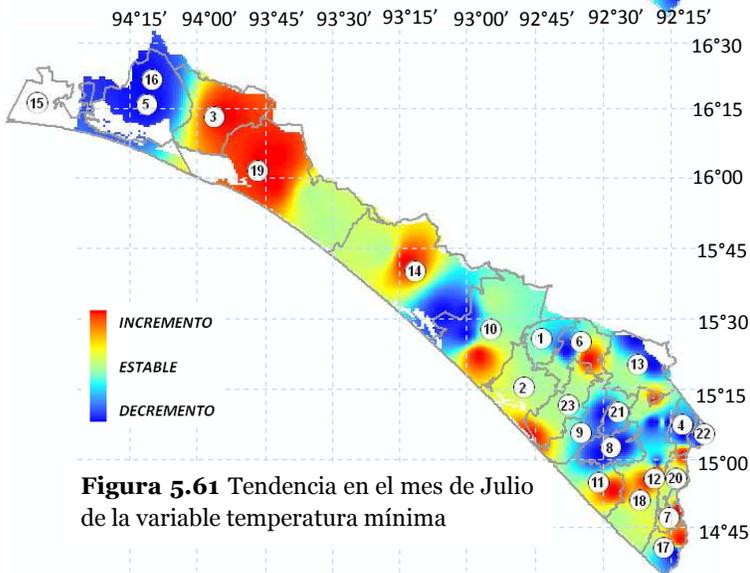


Figura 5.61 Tendencia en el mes de Julio de la variable temperatura mínima

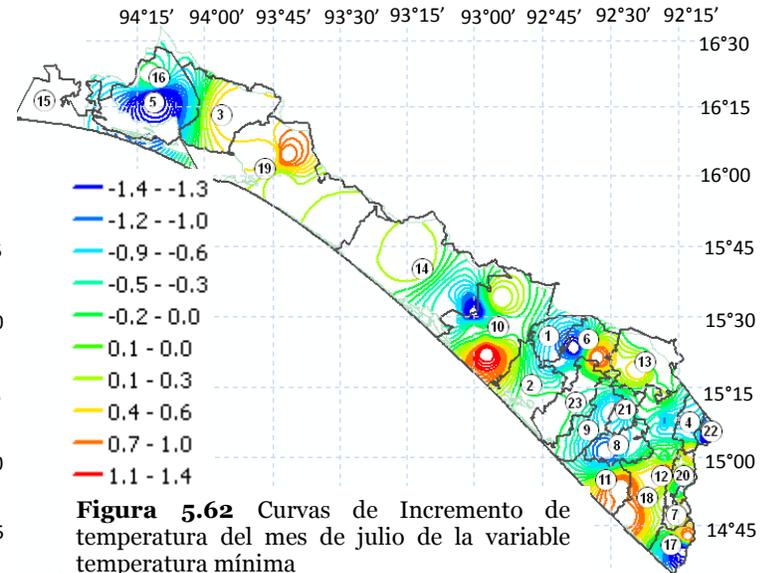


Figura 5.62 Curvas de Incremento de temperatura del mes de julio de la variable temperatura mínima

Mes de Agosto

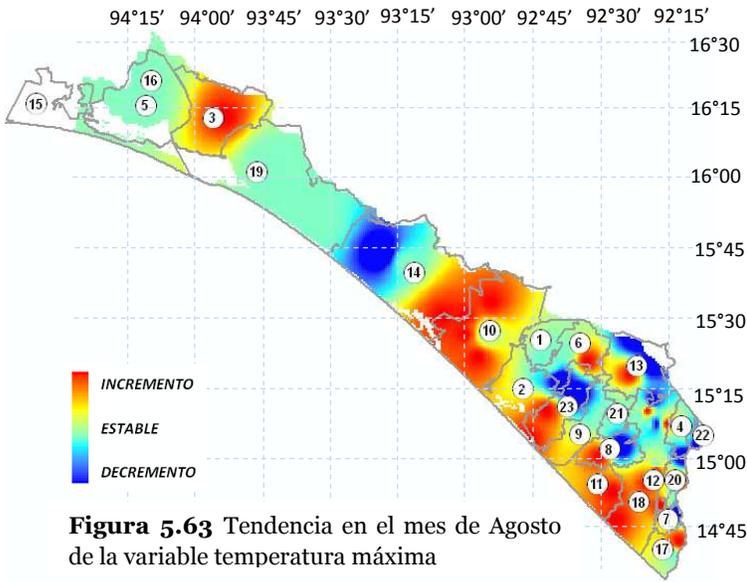


Figura 5.63 Tendencia en el mes de Agosto de la variable temperatura máxima

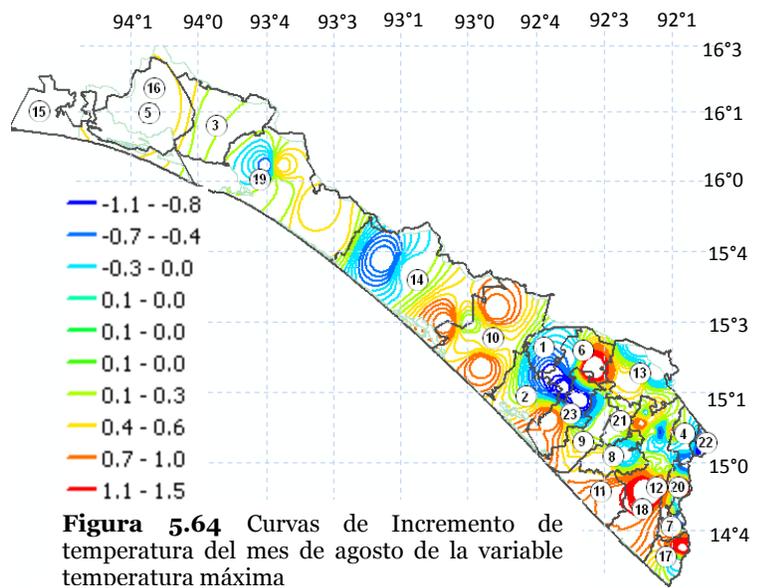


Figura 5.64 Curvas de Incremento de temperatura del mes de agosto de la variable temperatura máxima

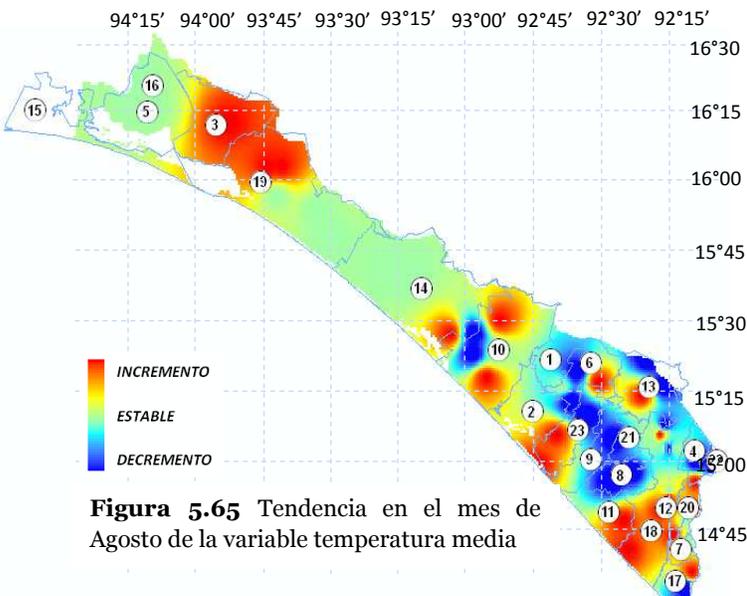


Figura 5.65 Tendencia en el mes de Agosto de la variable temperatura media

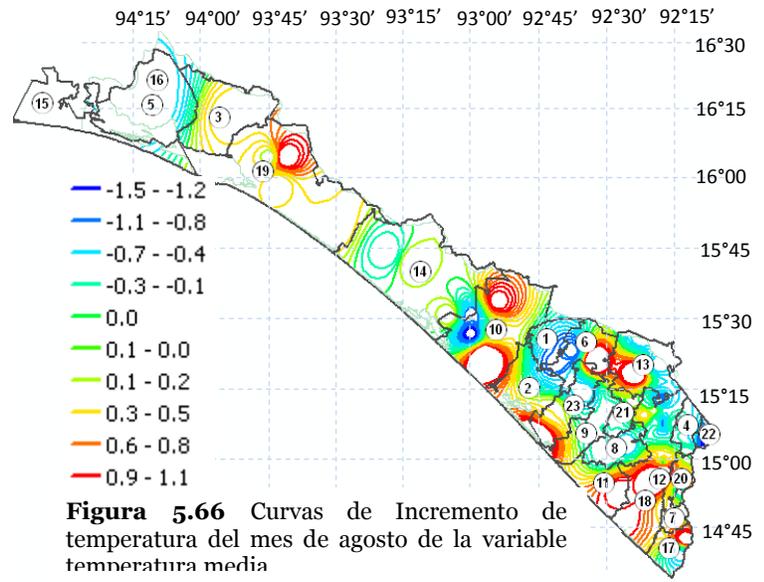


Figura 5.66 Curvas de Incremento de temperatura del mes de agosto de la variable temperatura media

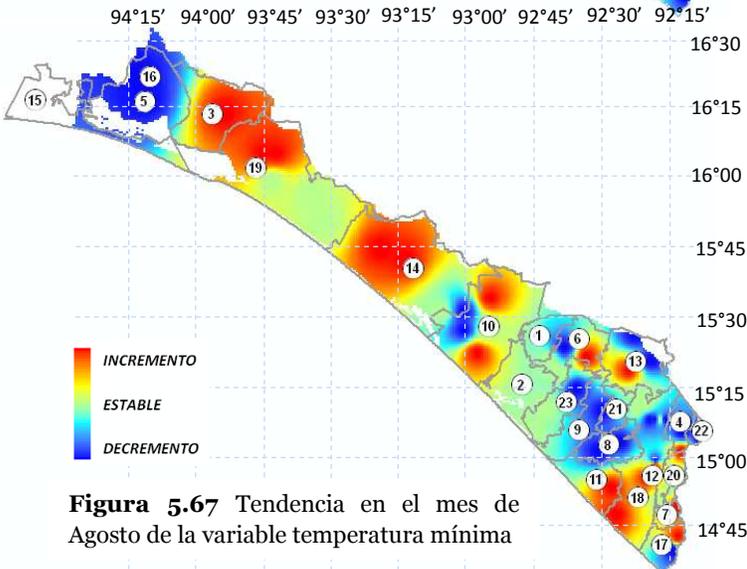


Figura 5.67 Tendencia en el mes de Agosto de la variable temperatura mínima

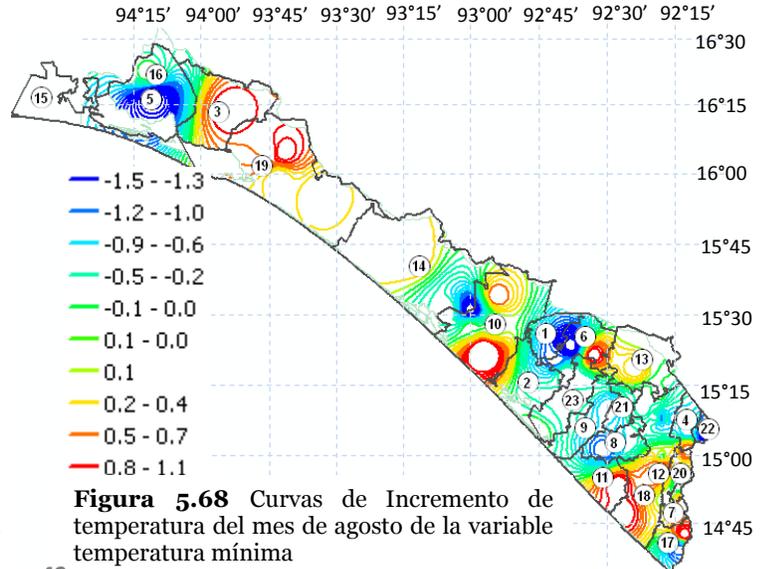


Figura 5.68 Curvas de Incremento de temperatura del mes de agosto de la variable temperatura mínima

Mes de Septiembre

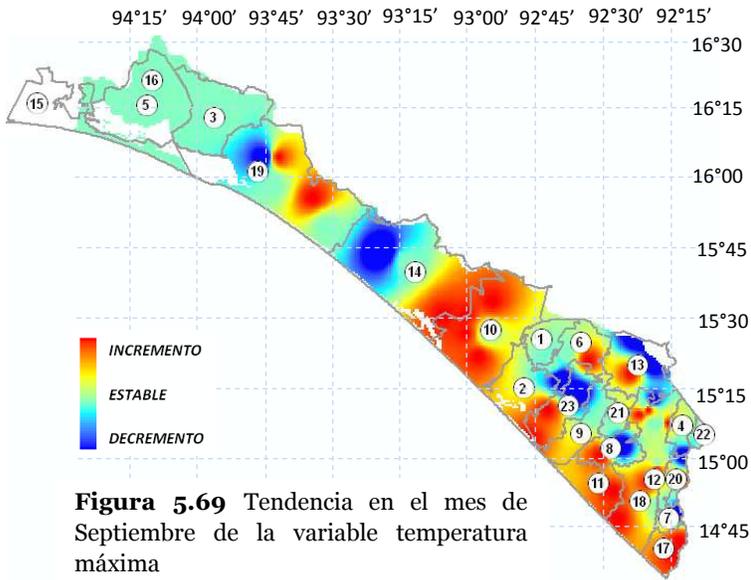


Figura 5.69 Tendencia en el mes de Septiembre de la variable temperatura máxima

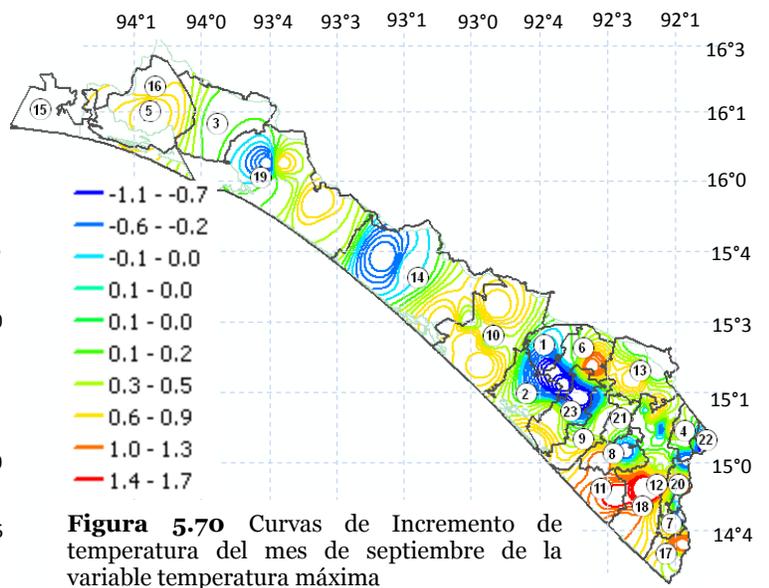


Figura 5.70 Curvas de Incremento de temperatura del mes de septiembre de la variable temperatura máxima

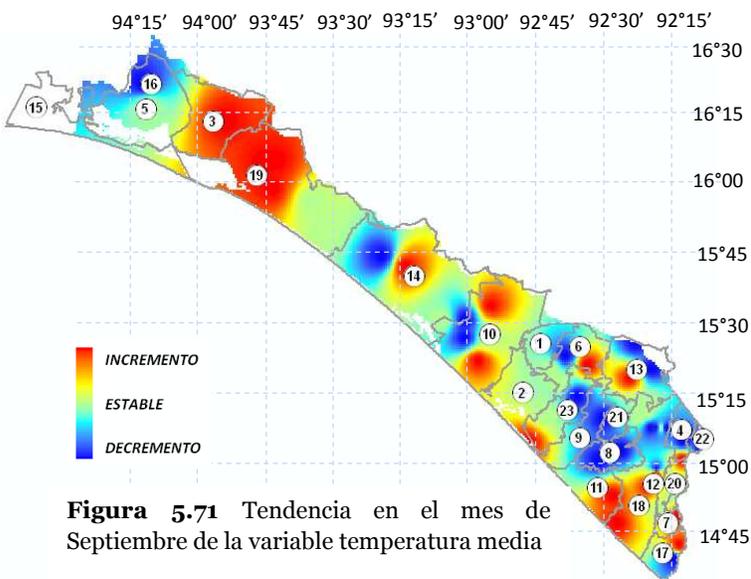


Figura 5.71 Tendencia en el mes de Septiembre de la variable temperatura media

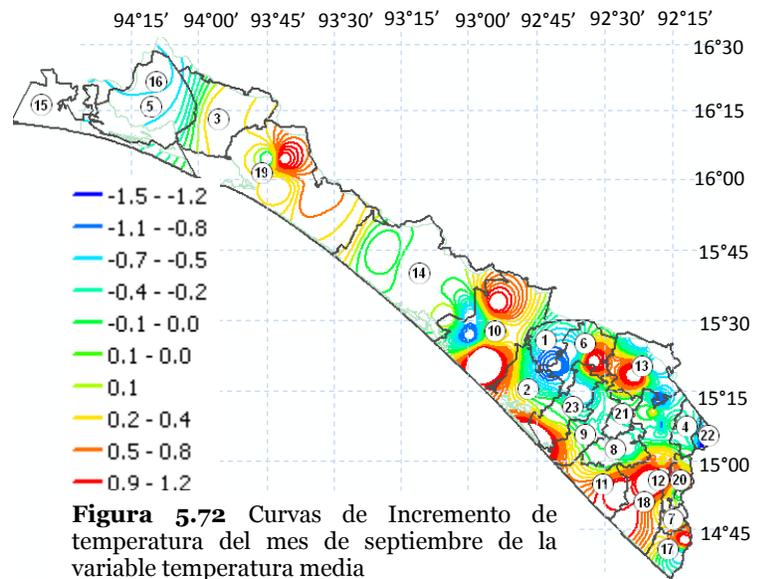


Figura 5.72 Curvas de Incremento de temperatura del mes de septiembre de la variable temperatura media

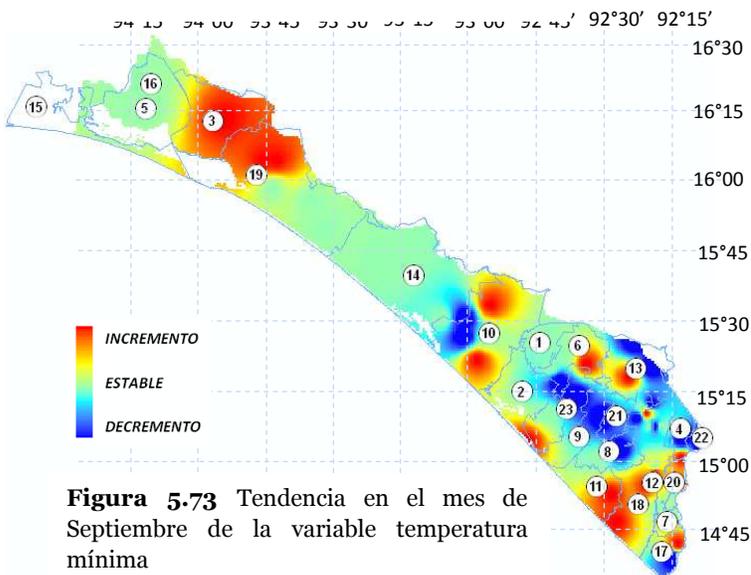


Figura 5.73 Tendencia en el mes de Septiembre de la variable temperatura mínima

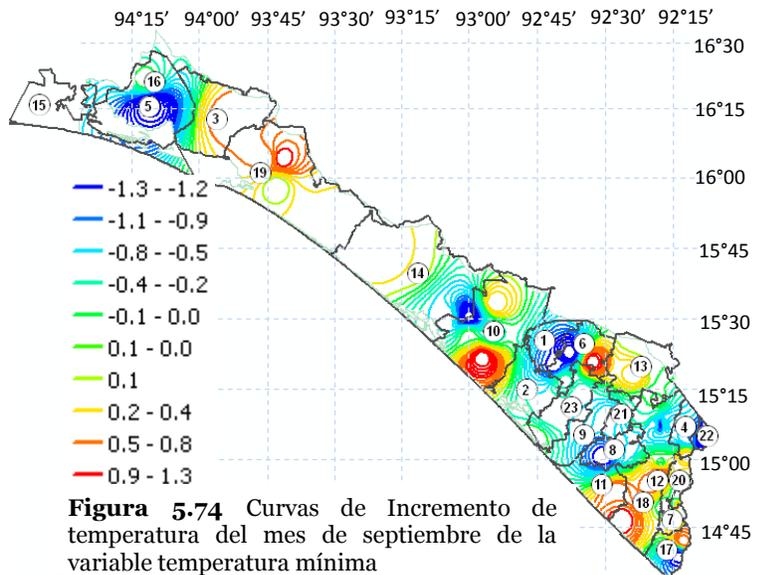


Figura 5.74 Curvas de Incremento de temperatura del mes de septiembre de la variable temperatura mínima

Mes de Octubre

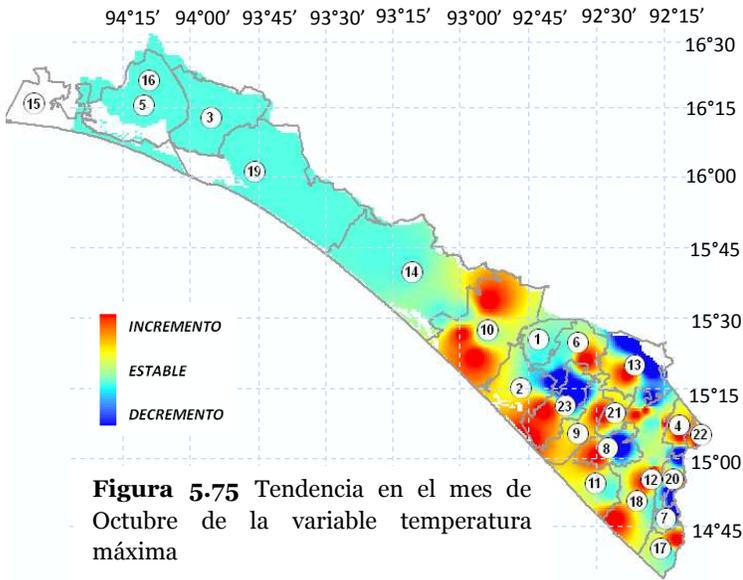


Figura 5.75 Tendencia en el mes de Octubre de la variable temperatura máxima

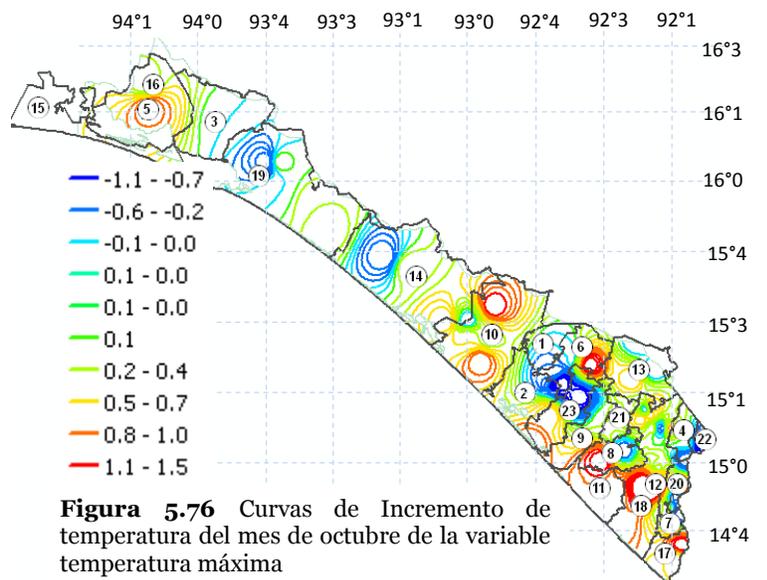


Figura 5.76 Curvas de Incremento de temperatura del mes de octubre de la variable temperatura máxima

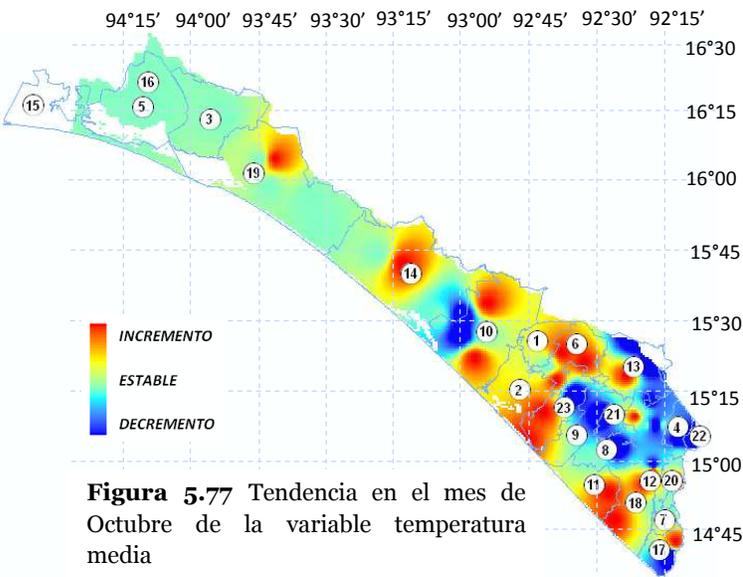


Figura 5.77 Tendencia en el mes de Octubre de la variable temperatura media

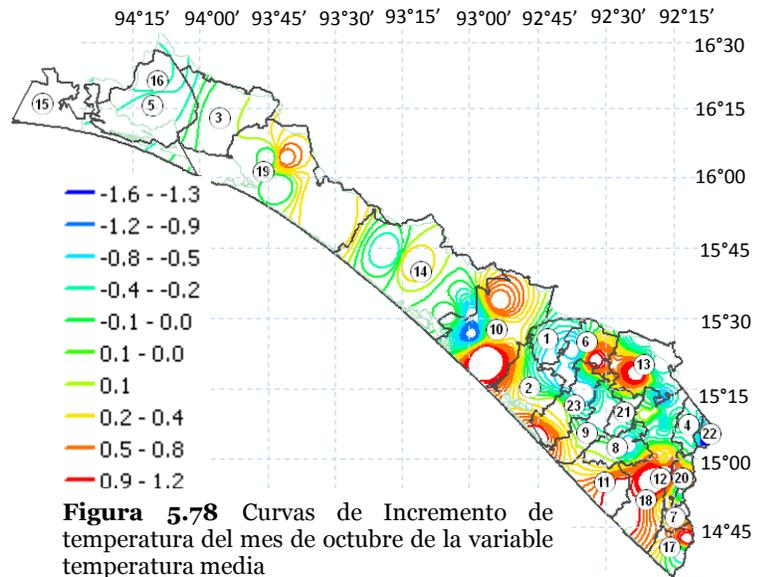


Figura 5.78 Curvas de Incremento de temperatura del mes de octubre de la variable temperatura media

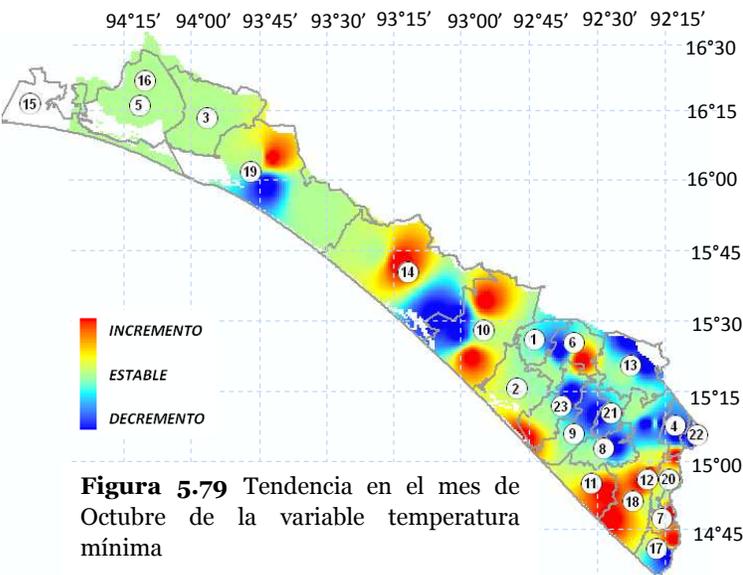


Figura 5.79 Tendencia en el mes de Octubre de la variable temperatura mínima

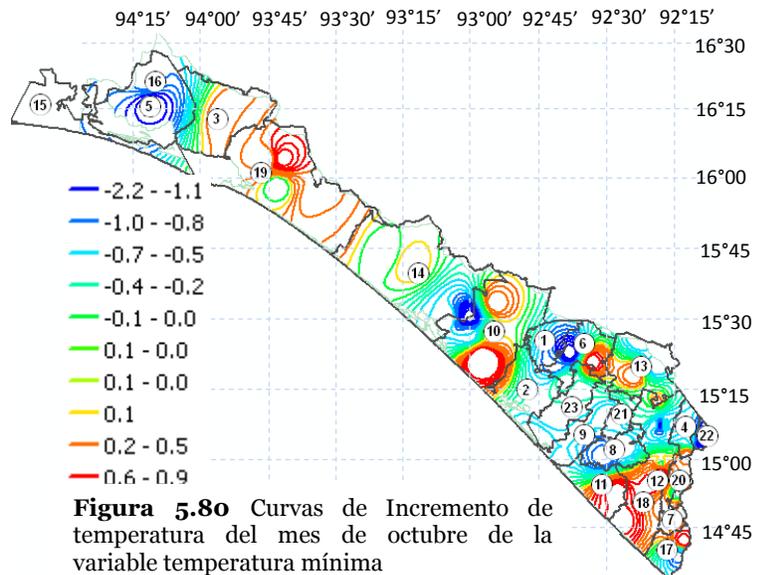


Figura 5.80 Curvas de Incremento de temperatura del mes de octubre de la variable temperatura mínima

Mes de Noviembre

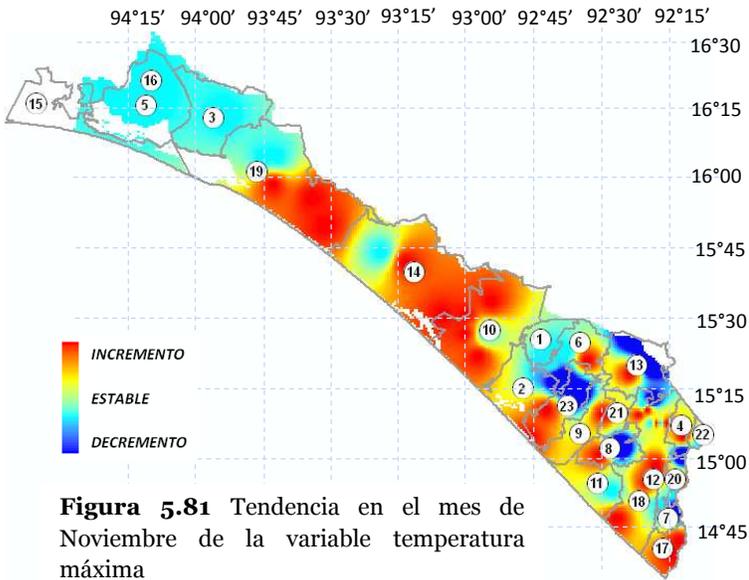


Figura 5.81 Tendencia en el mes de Noviembre de la variable temperatura máxima

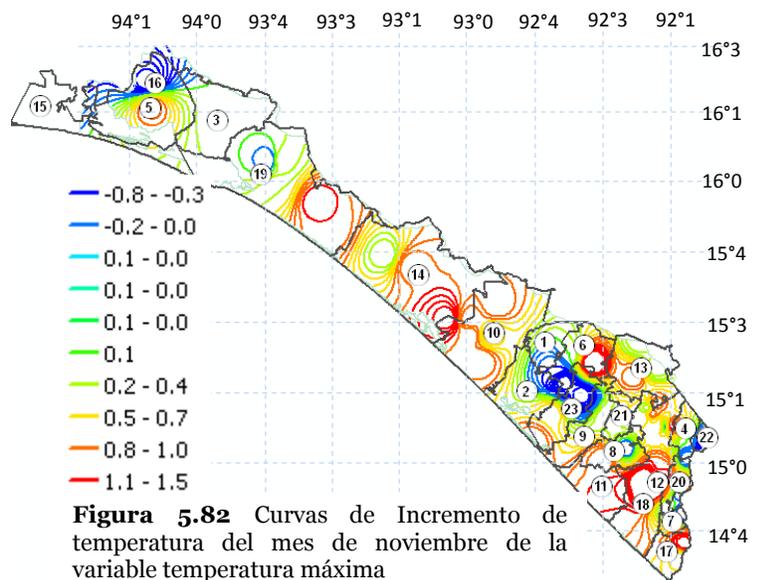


Figura 5.82 Curvas de Incremento de temperatura del mes de noviembre de la variable temperatura máxima

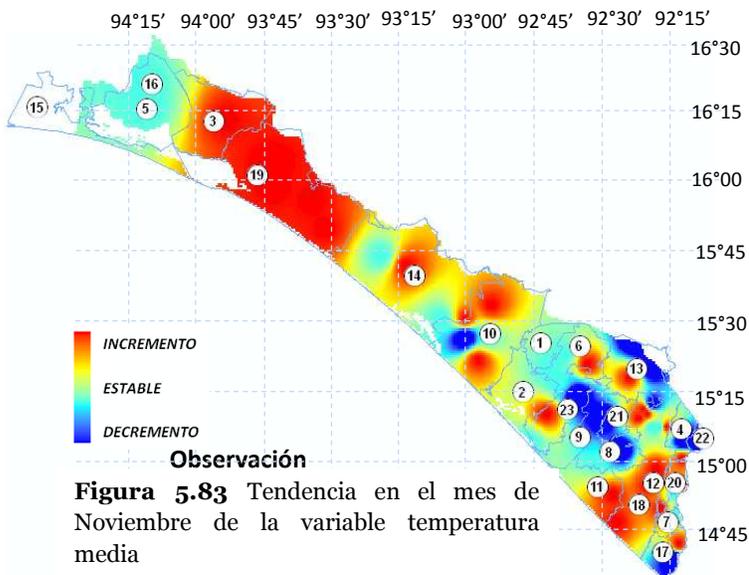


Figura 5.83 Tendencia en el mes de Noviembre de la variable temperatura media

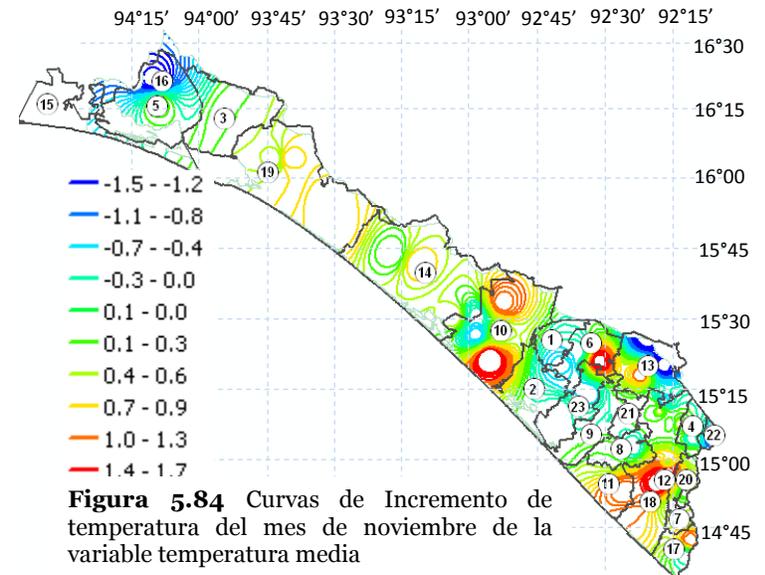


Figura 5.84 Curvas de Incremento de temperatura del mes de noviembre de la variable temperatura media

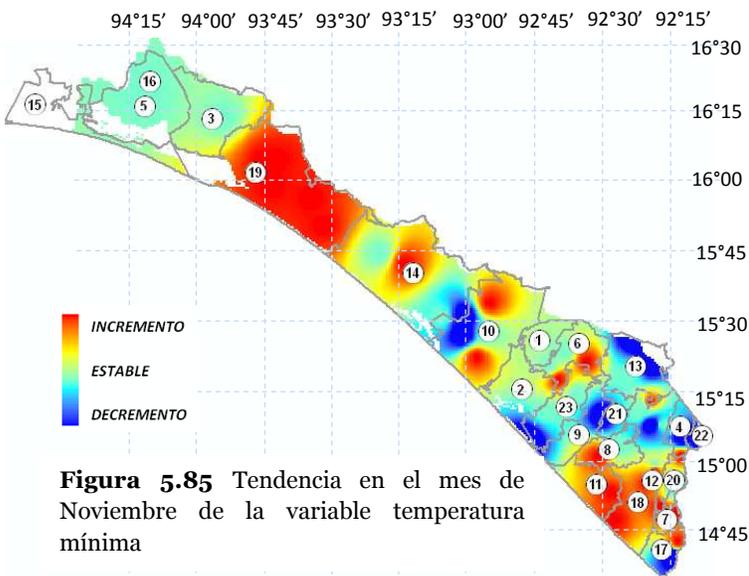


Figura 5.85 Tendencia en el mes de Noviembre de la variable temperatura mínima

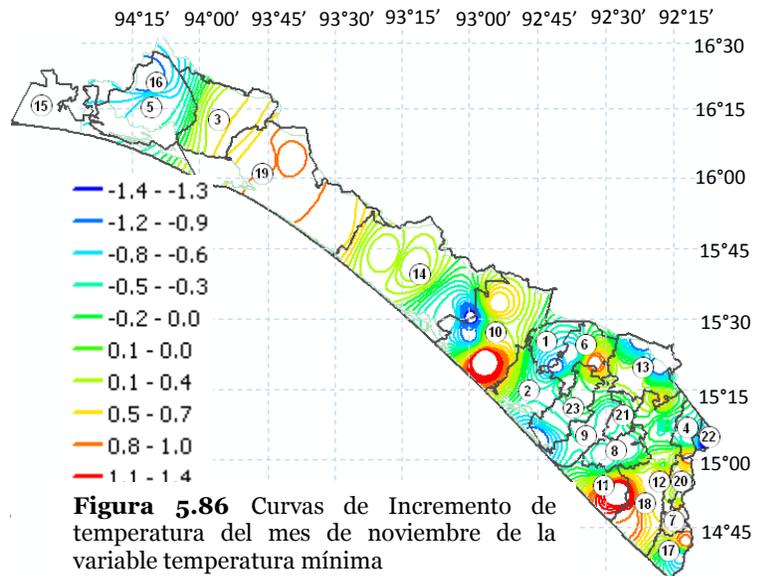


Figura 5.86 Curvas de Incremento de temperatura del mes de noviembre de la variable temperatura mínima

Mes de Diciembre

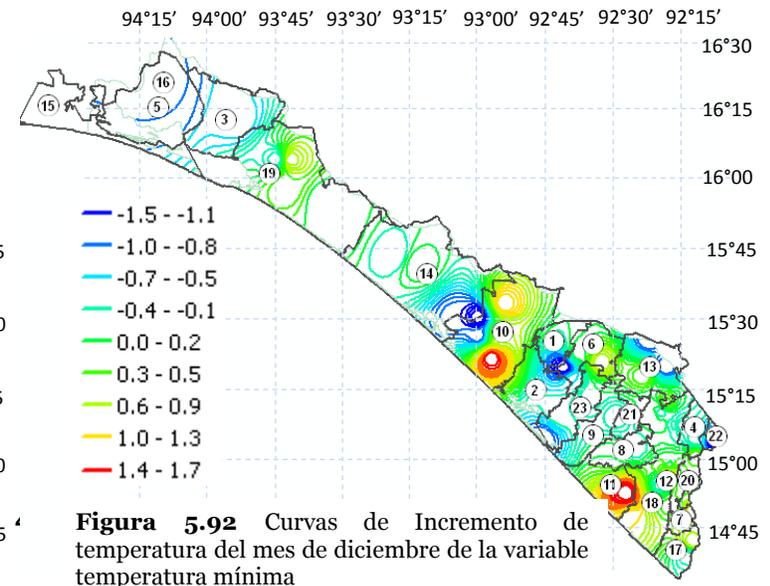
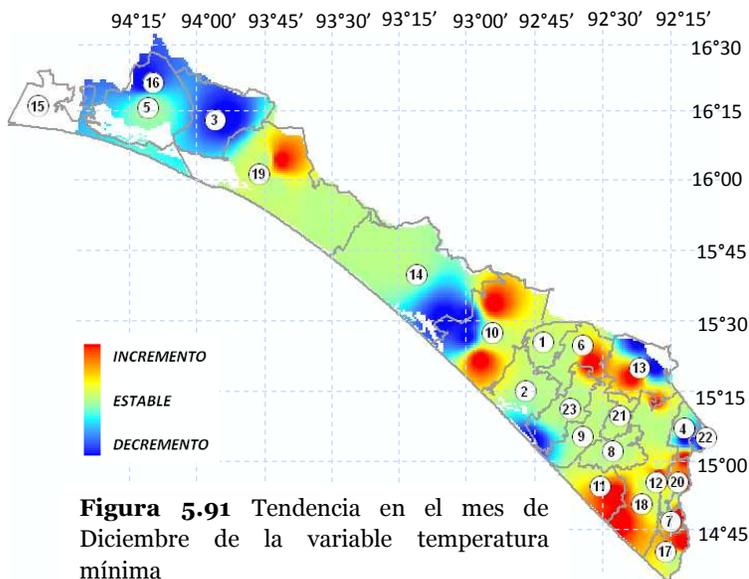
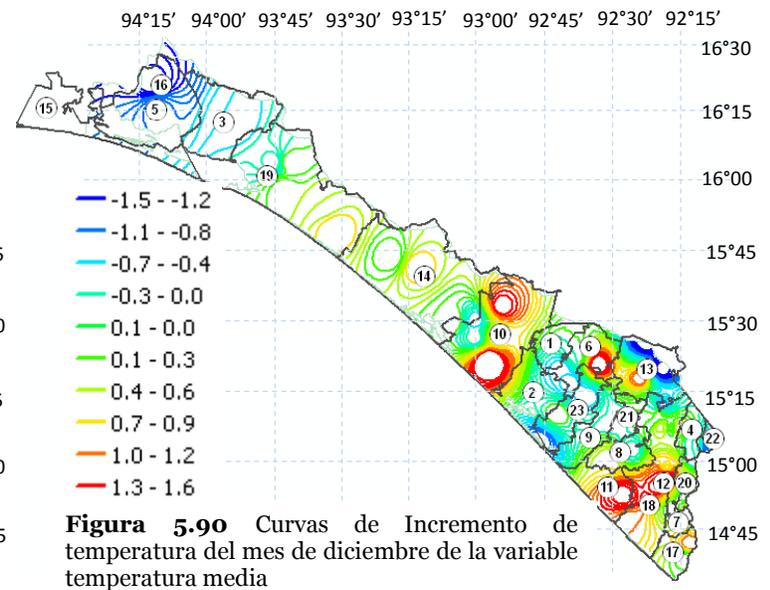
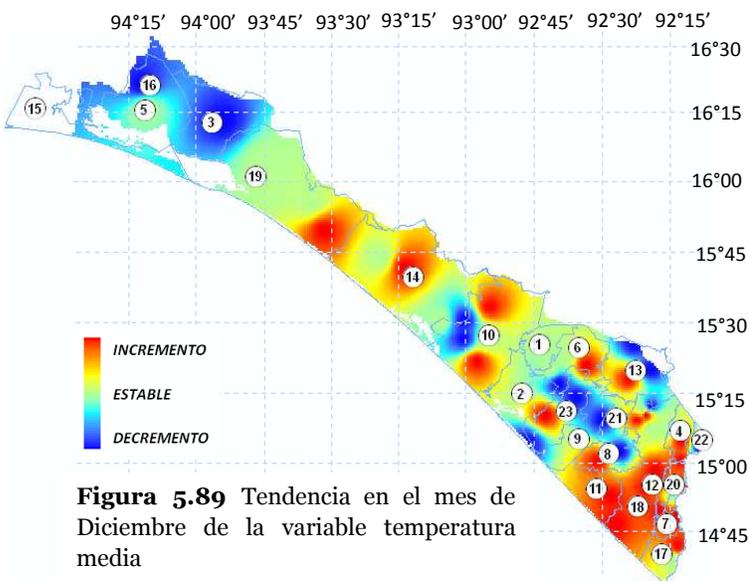
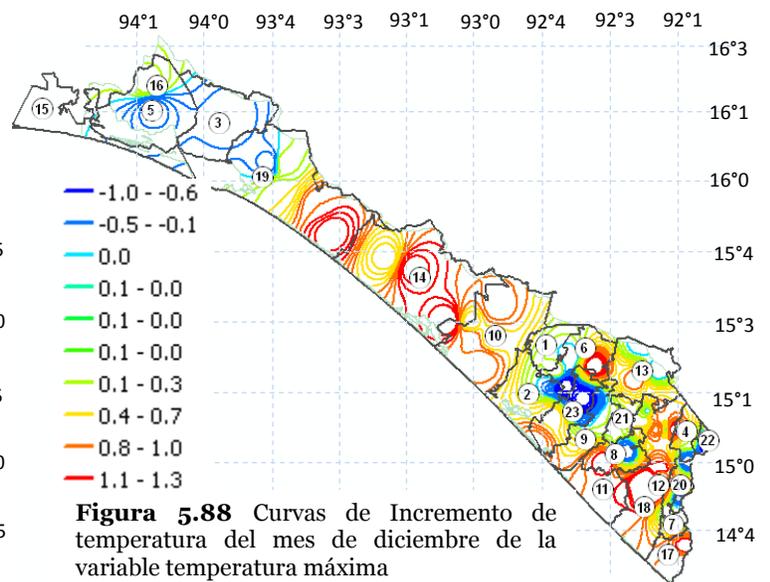
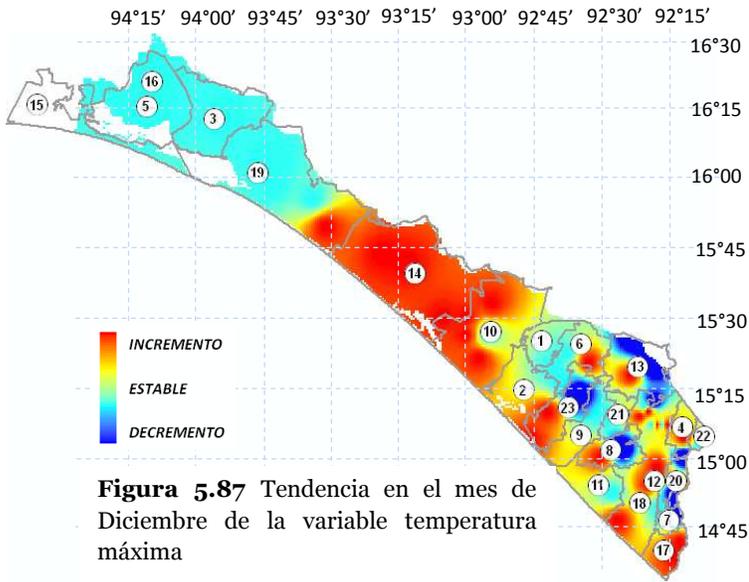


Tabla 5.4 Diferencia en grados centígrados del promedio mensual de temperatura máxima del periodo 1960-1983 al periodo 1984-2007

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Unión Juárez	-0.27	-0.37	-0.78	-0.49	-0.67	-0.62	-0.65	-0.94	-0.54	-0.86	-0.51	-0.43
Motuzintla	0.10	0.04	-0.26	-0.13	-0.02	0.36	-0.04	0.14	0.49	0.31	0.55	0.35
Acacoyagua	-0.24	-0.47	-0.80	-0.60	-0.49	-0.46	-0.89	-0.57	-0.38	-0.19	-0.08	0.03
Villa Comaltitlán	-0.14	-0.20	-0.61	0.01	0.41	0.48	0.12	0.23	0.12	0.15	0.18	0.10
Metapa	-0.19	-0.30	-0.30	0.14	-0.04	0.36	-0.02	-0.09	-0.06	-0.34	-0.02	-0.18
Huehuetan	0.03	-0.33	-0.74	-0.31	-0.09	0.37	0.10	0.13	0.37	0.45	0.47	0.40
Frontera Hidalgo	0.10	0.17	0.08	0.30	0.18	0.41	0.08	-0.01	0.01	-0.08	0.07	0.15
Acapetahua	0.30	0.18	-0.26	0.21	0.60	0.54	0.32	0.38	0.22	0.43	0.44	0.56
Suchiate	0.36	0.27	-0.35	-0.80	-0.38	0.92	0.18	-0.19	0.29	0.46	0.43	0.66
Arriaga	-0.04	0.24	-0.31	0.07	0.22	0.40	0.34	0.26	0.17	0.04	0.10	-0.29
Huixtla	0.20	0.11	-0.03	0.32	0.48	0.72	0.39	0.39	0.52	0.49	0.55	0.44
Escuintla	0.11	-0.02	-0.16	0.31	0.03	0.12	-0.17	0.02	0.18	0.20	0.30	0.26
Tuzantán	0.14	0.16	0.29	0.58	0.40	0.69	0.37	0.29	0.28	0.21	0.38	0.12
Tonalá	0.56	0.49	0.19	0.34	0.15	0.29	0.17	0.23	0.26	0.02	0.52	0.43
San Francisco del Mar	0.34	0.58	-1.06	-0.17	-0.16	0.24	0.35	0.56	0.66	0.49	-0.21	0.07
Tuxtla Chico	0.21	0.21	0.24	0.60	0.43	0.70	0.38	0.44	0.51	0.33	0.48	0.25
Cacahoatán	0.59	0.37	-0.07	0.30	0.31	0.57	0.34	0.19	0.47	0.33	0.58	0.78
Tapachula	0.80	0.78	0.43	0.65	0.62	0.82	0.46	0.58	0.63	0.53	0.85	0.80
Pijijiapan	0.70	0.62	0.08	0.17	-0.16	0.11	-0.14	-0.08	0.01	0.03	0.72	0.86
San Pedro	0.46	0.59	-0.50	-0.18	-0.17	0.24	0.46	0.60	0.80	0.74	0.43	-0.21
Mazatán	0.82	0.55	-0.03	0.09	0.61	0.87	0.49	0.89	1.16	1.06	1.13	1.14
Mapastepec	0.83	0.87	0.70	0.72	0.65	0.77	0.65	0.71	0.79	0.69	0.84	0.84
Chahuities	0.57	0.60	0.03	-0.18	-0.17	0.24	0.56	0.63	0.92	0.97	1.03	-0.48

5.4.1 Observación temperatura máxima

En el análisis del promedio mensual de temperatura máxima, se observó que existen varios municipios con importantes cambios en la tendencia mensual, la mayoría de ellos ha sufrido cambio en el periodo analizado del año 1960 al año 2007, con esto se identifica que existe cambio en el patrón de conducta de esta variable además los veranos y los inviernos se están volviendo más cálidos.

Si bien los ecosistemas pueden verse afectados por cambios de temperatura en el ciclo hidrológico y en la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos, como consecuencia del aumento de temperatura; en algunas zonas se tiene disminución de la humedad del suelo, incremento del estrés hídrico vegetal, incremento de carga de combustible.

En la Tabla siguiente se muestran aquellos municipios que han sufrido el mayor incremento y decremento para cada mes.

Tabla 5.5 Municipios con mayor incremento y decremento por mes en grados centígrados

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Municipio	Mapastepec	Mapastepec	Mapastepec	Mapastepec	Mapastepec	Chahuities
Incremento	0.83	0.87	0.7	0.72	0.65	0.92
Municipio	Unión Juárez	Acacoyagua	San Francisco del Mar	Suchiate	Unión Juárez	Unión Juárez
Decremento	-0.27	-0.47	-1.06	-0.8	-0.67	-0.62
Meses	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Municipio	Mapastepec	Mazatán	Mazatán	Mazatán	Mazatán	Mazatán
Incremento	0.65	0.89	1.16	1.06	1.13	1.14
Municipio	Acacoyagua	Unión Juárez	Unión Juárez	Unión Juárez	Unión Juárez	Chahuities
Decremento	-0.89	-0.94	-0.54	-0.86	-0.51	-0.48

Tabla 5.6 Diferencia en grados centígrados del promedio mensual de temperatura media del periodo 1960-1983 al periodo 1984-2007

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Unión Juárez	-0.55	-0.59	-0.82	-0.95	-1.21	-1.18	-1.15	-1.27	-1.25	-1.35	-0.95	-0.88
Motozintla	-0.18	0.14	-0.61	0.03	0.10	0.36	0.21	0.14	0.05	0.15	-0.36	-0.37
Acacoyagua	-0.57	-0.63	-1.10	-1.27	-1.17	-1.23	-1.13	-1.09	-0.93	-0.67	-0.47	-0.23
Villa Comaltitlán	-0.28	-0.33	-0.41	-0.05	0.34	0.53	0.22	0.27	0.15	0.05	0.01	-0.19
Metapa	0.16	0.08	-0.13	-0.03	-0.12	0.16	-0.10	-0.05	-0.03	-0.18	0.16	0.18
Huehuetan	0.23	-0.18	-0.70	-0.74	-0.81	-0.26	-0.37	-0.33	-0.26	-0.22	0.03	0.20
Frontera Hidalgo	0.60	0.65	0.51	0.68	0.51	0.53	0.33	0.39	0.27	0.26	0.49	0.52
Acapetahua	-0.53	-0.59	-0.78	-0.52	-0.19	-0.05	-0.31	-0.25	-0.29	-0.26	-0.29	-0.37
Suchiate	0.71	0.62	0.06	0.04	-0.25	0.25	-0.03	0.06	0.06	0.23	0.32	0.49
Arriaga	0.10	0.19	-0.07	0.24	0.42	0.51	0.34	0.43	0.24	0.08	0.20	-0.56
Huixtla	-0.14	-0.25	-0.19	-0.03	0.10	0.36	0.09	0.15	0.20	0.10	0.06	-0.10
Escuintla	0.52	0.48	0.24	-0.06	-0.12	-0.03	0.03	0.06	-0.01	0.02	0.44	0.56
Tuzantán	0.11	-0.05	-0.03	-0.02	-0.24	0.02	-0.11	-0.10	-0.12	-0.11	0.07	-0.02
Tonalá	0.66	0.48	0.41	0.41	0.20	0.27	0.10	0.23	0.21	0.11	0.62	0.28
San Francisco del Mar	-0.71	-0.46	-1.49	-0.14	0.02	-0.08	-0.65	-0.69	-0.61	-0.38	-0.86	-1.23
Tuxtla Chico	0.42	0.29	0.23	0.32	0.21	0.36	0.23	0.31	0.31	0.28	0.47	0.34
Cacahoatán	0.09	-0.10	-0.67	-0.35	-0.37	-0.11	-0.16	-0.22	-0.16	-0.11	0.12	0.18
Tapachula	0.66	0.57	0.35	0.47	0.44	0.57	0.43	0.43	0.41	0.42	0.65	0.62
Pijijiapan	0.55	0.50	0.21	0.02	-0.15	0.13	0.01	-0.11	0.07	0.04	0.52	0.46
San Pedro Tapanatepec	-0.16	-0.29	-0.97	0.44	0.48	0.09	-0.70	-0.72	-0.56	-0.26	-0.28	-0.96
Mazatán	1.59	1.11	0.36	0.03	0.12	0.43	0.38	0.54	0.65	0.63	0.92	1.19
Mapastepec	0.56	0.50	0.22	0.07	-0.16	-0.03	-0.14	-0.04	0.00	-0.12	0.39	0.51
Chahuities	0.35	-0.12	-0.48	0.99	0.92	0.25	-0.73	-0.73	-0.51	-0.16	0.28	-0.70

5.4.2 Observación temperatura media

En el análisis que corresponde a la temperatura media, se observó que existen varios municipios con importantes cambios en la tendencia mensual, la mayoría de ellos ha sufrido cambio en el periodo analizado que comprende del año 1960 al 2007; con esto se identifica que existe cambio en el patrón de conducta de esta variable.

La Tabla siguiente muestra aquellos municipios con mayor cambio en temperatura, también se ha detectado que los veranos y los inviernos se están volviendo un poco más cálidos.

Tabla 5.7 Municipios con mayor incremento y decremento por mes en grados centígrados

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Municipio	Mazatán	Mazatán	Chahuities	Chahuities	Chahuities	Tapachula
Incremento	1.59	1.11	0.51	0.99	0.92	0.57
Municipio	Suchiate	Suchiate	Suchiate	Suchiate	Suchiate	Suchiate
Decremento	-0.71	-0.63	-1.49	-1.27	-1.21	-1.23
Meses	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Municipio	Tapachula	Mazatán	Mazatán	Mazatán	Mazatán	Mazatán
Incremento	0.43	0.54	0.65	0.63	0.92	1.19
Municipio	Suchiate	Suchiate	Suchiate	Suchiate	Suchiate	Suchiate
Decremento	-1.15	-1.27	-1.25	-1.35	-0.95	-1.23

Tabla 5.8 Diferencia en grados centígrados del promedio mensual de temperatura mínima del periodo 1960-1983 al periodo 1984-2007

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Unión Juárez	-0.54	-0.58	-1.46	-1.20	-1.42	-0.81	-0.74	-0.78	-0.94	-0.50	-0.52	-0.51
Motozintla	-0.14	-0.15	-0.24	-0.31	-0.14	0.16	0.20	0.20	0.25	-0.15	-0.28	-0.16
Acacoyagua	-0.32	-0.37	-0.88	-1.39	-1.44	-1.81	-1.21	-1.61	-1.48	-1.15	-0.86	-0.49
Villa Comaltitlán	-0.08	-0.29	-0.49	-0.71	-0.46	-0.08	-0.12	-0.21	-0.30	-0.39	-0.28	-0.23
Metapa	0.50	0.46	0.05	-0.19	-0.19	-0.04	-0.19	-0.01	-0.00	-0.03	0.33	0.54
Huehuetan	0.43	-0.03	-0.66	-1.17	-1.53	-0.90	-0.83	-0.80	-0.89	-0.89	-0.42	0.01
Frontera Hidalgo	0.98	0.96	0.63	0.62	0.48	0.50	0.37	0.48	0.35	0.46	0.74	0.82
Acapetahua	-0.63	-0.77	-0.83	-0.98	-0.65	-0.30	-0.33	-0.43	-0.48	-0.60	-0.72	-0.78
Suchiate	0.80	0.58	-0.22	-0.10	-0.90	-0.77	-0.74	-0.38	-0.58	-0.29	-0.17	0.13
Arriaga	0.33	0.20	0.26	0.30	0.52	0.56	0.42	0.70	0.41	0.14	0.36	-0.69
Huixtla	-0.01	-0.33	-0.56	-1.01	-1.04	-0.65	-0.62	-0.59	-0.63	-0.66	-0.48	-0.28
Escuintla	0.27	0.22	-0.12	-0.50	-0.47	-0.67	-0.26	-0.50	-0.36	-0.32	-0.04	0.23
Tuzantán	0.00	-0.31	-0.43	-0.70	-0.96	-0.74	-0.69	-0.59	-0.60	-0.51	-0.29	-0.22
Tonalá	0.86	0.66	0.86	0.61	0.43	0.44	0.31	0.49	0.41	0.37	0.79	0.12
San Francisco del Mar	-0.55	-0.90	-0.95	-0.76	-0.46	-0.56	-0.75	-0.73	-0.65	-0.88	-0.77	-0.96
Tuxtla Chico	0.69	0.49	0.38	0.17	0.10	0.14	0.19	0.28	0.20	0.33	0.50	0.42
Cacahoatán	-0.40	-0.58	-1.26	-1.00	-1.03	-0.78	-0.66	-0.62	-0.77	-0.53	-0.34	-0.41
Tapachula	0.22	0.14	0.01	0.09	0.13	0.22	0.19	0.23	0.19	0.25	0.42	0.37
Pijijiapan	0.33	0.20	0.12	-0.31	-0.31	-0.09	-0.08	0.06	-0.02	-0.12	0.08	-0.17
San Pedro Tapanatepec	-0.20	-0.88	-0.97	-0.60	-0.51	-1.11	-1.41	-1.43	-1.32	-1.09	-0.62	-0.94
Mazatán	0.87	0.68	0.70	-0.14	-0.46	-0.08	0.19	0.15	-0.05	0.17	0.72	1.29
Mapastepec	0.26	0.20	0.05	-0.31	-0.22	-0.04	-0.03	0.06	0.02	-0.15	-0.06	0.21
Chahuities	0.14	-0.85	-0.99	-0.44	-0.55	-1.62	-1.02	-1.08	-1.94	-1.28	-0.47	-0.92

5.4.3 Observación temperatura mínima

En el estudio del promedio mensual de la variable la temperatura mínima, se tienen cambios significativos en su patrón de conducta; afectando con ello a la población y al sector agrícola principalmente, de los resultados obtenidos anteriormente se observó que los veranos y los inviernos se están volviendo más fríos.

Tabla 5.9 Municipios con mayor incremento y decremento por mes en grados centígrados

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Municipio	Chahuities	Chahuities	Chahuities	Chahuities	Chahuities	Chahuities
Incremento	0.98	0.96	0.86	0.62	0.52	1.2
Municipio	Acapetahua	San Francisco del Mar	Unión Juárez	Acacoyagua	Huehuetan	Chahuities
Decremento	-0.63	-0.9	-1.46	-1.39	-1.53	-1.62
Meses	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Municipio	Chahuities	Chahuities	Chahuities	Chahuities	Chahuities	Mazatán
Incremento	0.42	0.7	0.41	0.46	0.79	1.29
Municipio	San Pedro Tapanatepec	Acacoyagua	Chahuities	Chahuities	Acacoyagua	San Francisco del Mar
Decremento	-1.41	-1.61	-1.94	-1.28	-0.86	-0.96

5.5 Variable precipitación

Esta variable precipitación corresponde a la lluvia acumulada en 24 horas (Anexo E1) y generalmente es tomada a las 8 de la mañana, mediante la observación del pluviómetro. En este primer análisis de esta variable se han obtenido por décadas los promedios de los acumulados anuales, con ello se observó estabilidad ya que presentan la mayoría de las estaciones un coeficiente de variación (CV) muy pequeño, como se muestra en la Tabla 5.10.

5.5.1 Análisis por décadas

Tabla 5.10 Promedios de los acumulados anuales por décadas para cada estación

Estación	Nombre	Décadas					CV
		1960-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2007	
7012	FINCA ARGOVIA, TAPACHULA	4265.1	4144.7	4056.7	4278.6	4615.2	0.05
7014	BELIZARIO DOMINGUEZ	2445.5	1881.4	2047.8	2051.3	2486.2	0.12
7018	CACAHOATAN, CACAHOATAN	4421.8	4390.5	3809.4	4378.4	4710.4	0.08
7019	CAHUACAN, SUCHIATE	1606.4	1405.2	1367.7	1430.1	1511.8	0.07
7038	DESPOBLADO	2441.6	3333.3	3164.4	3169.1	3449.9	0.13
7045	EL DORADO, SUCHIATE	1485.3	1310.5	1351.3	1351.0	1282.2	0.06
7048	FINCA EL TRIUNFO	2482.2	3308.9	3104.6	3775.8	4091.8	0.19
7053	ESCUINTLA, ESCUINTLA	2927.0	3336.6	3303.5	3346.3	3766.5	0.09
7056	FINCA CHIRIPA, TAPACHULA	4016.2	3887.1	3974.2	4286.9	4533.4	0.06
7057	FINCA CHICHARRAS	4117.9	4033.6	4260.9	4376.5	4060.4	0.03
7058	EL PERU, TAPACHULA	4194.4	4454.4	4181.7	4358.3	4110.1	0.03
7060	FINCA GENOVA, TAPACHULA	4941.9	4188.0	4032.5	4275.4	4591.3	0.08
7061	FINCA HAMBURGO, TAPACHULA	3808.9	4159.3	3958.3	3989.7	4188.7	0.04
7068	FRONTERA HIDALGO	2216.4	1951.1	1771.5	1942.7	1922.1	0.08
7072	HACIENDA LAS MARAVILLAS	4474.0	4577.6	4197.9	4361.3	4101.8	0.04
7073	HACIENDA SAN CRISTOBAL	1306.5	1596.6	1732.1	1688.8	1917.6	0.14
7074	HORCONES, TONALA	2193.9	2099.6	2039.4	1852.8	2099.7	0.06
7075	HUEHUETAN, HUEHUETAN	2774.4	2257.6	2313.0	2319.8	2106.9	0.11
7077	HUIXTLA, HUIXTLA	3450.6	3345.7	3143.2	3013.4	3174.9	0.05
7078	IGNACIO LOPEZ RAYON	1476.0	1293.2	1144.9	1043.5	1041.1	0.15
7113	MALPASTEPEC, MALPASTEPEC	2650.5	2492.5	2725.1	2346.5	2721.4	0.06
7115	MARGARITAS, PIJJIAPAN	2497.8	2528.6	2620.5	2673.6	2187.4	0.08
7116	MEDIO MONTE, TUXTLA CHICO	3440.5	3187.2	2890.2	2943.7	3292.1	0.07
7117	METAPA, METAPA	2319.6	1934.9	2058.5	2204.7	2958.1	0.17
7129	PIJJIAPAN,	2383.1	2237.3	2012.3	2169.4	2201.1	0.06
7136	PTO.MADERO, TAPACHULA SMN	1767.7	1190.7	1316.5	1354.3	1656.3	0.17
7146	SAN JERONIMO, UNION J.	4894.2	4034.9	4589.3	3565.0	4808.1	0.13
7157	SANTO DOMINGO (DGE)	4899.7	4754.9	4467.4	4728.5	4622.7	0.03
7168	TONALA, TONALA (DGE)	1800.8	1569.3	1748.0	1687.0	1926.5	0.08
7182	ARRIAGA, ARRIAGA (DGE)	1623.3	1425.9	1746.3	1686.8	1660.9	0.07
7185	ESCUINTLA, MAPASTEPEC	3294.2	3285.6	3281.6	3318.7	3717.5	0.06
7187	FCA. LA PATRIA, TAPACHULA	4208.9	3951.4	4235.5	4369.5	4292.0	0.04
7191	MALPASO, TAPACHULA	3838.1	3660.4	3571.7	3958.4	4083.5	0.05
7199	TANQUE REGULADOR	3457.9	3740.4	3018.0	2769.3	2900.2	0.13
7200	TAPACHULA, TAPACHULA	2573.0	2123.8	2068.7	2000.7	2154.1	0.10
7201	TONALA, TONALA (SMN)	1837.4	1612.7	1744.6	1686.8	1919.5	0.07
7208	EL NOVILLERO, MAPASTEPEC	2403.6	2352.7	2190.4	2388.1	2393.4	0.04
7228	TRES PICOS, TONALA	2102.1	1930.4	2004.1	2041.1	2051.9	0.03
7320	SALVACION, V.COMALTITLAN	2616.7	2979.1	1608.2	1876.4	2022.4	0.25
7326	MAZATAN, MAZATAN	2490.1	2298.2	1702.5	1825.8	1982.7	0.16
7333	BUENOS AIRES, MOTOZINTLA	2513.6	2437.5	1270.3	1438.5	1419.9	0.33
7334	FRANCISCO SARABIA	2472.9	2346.4	1660.2	2077.2	1550.7	0.20
7336	PLAN DE IGUALA, HUEHUETAN	2693.0	2196.9	1429.4	1403.8	1284.2	0.34
7339	EL PORVENIR, EL PORVENIR	2827.3	3335.5	2032.5	2095.8	1960.2	0.25
7342	BENITO JUAREZ (DGE)	4255.7	4033.4	1892.8	1681.6	1556.9	0.50
7344	EJIDO IBARRA, MAPASTEPEC	3747.2	3946.9	2229.1	2153.8	1941.8	0.34
7347	GUADALUPE VICTORIA	3734.6	3501.3	2812.0	2869.5	3526.7	0.13
7348	INDEPENDENCIA, CHIAPAS	2109.9	1772.7	2703.5	3022.2	3619.8	0.28
7352	SAN DIEGO, PIJJIAPAN	1737.9	1574.3	2182.8	1936.6	1924.5	0.12
20148	SAN PEDRO TAPANATEPEC,	1612.5	1631.5	1780.1	1976.5	1965.8	0.10
20328	CHAHUITES, CHAHUITES	3555.1	3628.7	1770.2	1600.8	2622.2	0.36

Al obtener el coeficiente de variación en forma mensual se observa que el mes de enero, febrero, marzo, abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre, presentan un coeficiente de variación CV alto, mientras que junio, julio, agosto y septiembre presentan un coeficiente de variación CV poco menor, si bien todos los meses presentan coeficiente de variación significativos, con lo cual se observa que existe cambio en el patrón de conducta mensual.

Tabla 5.11 Coeficiente de variación mensual para diferentes estaciones

Estación	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
7012	0.48	0.48	0.23	0.22	0.14	0.09	0.09	0.05	0.10	0.15	0.15	0.28
7014	0.46	0.81	0.12	0.21	0.11	0.15	0.19	0.06	0.10	0.44	0.25	0.35
7018	0.51	0.49	0.42	0.21	0.16	0.14	0.08	0.07	0.08	0.17	0.14	0.21
7019	0.99	0.60	0.77	0.41	0.12	0.25	0.11	0.15	0.11	0.41	0.31	0.66
7038	0.58	1.02	0.48	0.16	0.22	0.10	0.16	0.15	0.18	0.24	0.12	0.39
7045	0.81	1.15	0.63	0.33	0.10	0.24	0.08	0.14	0.18	0.38	0.27	0.24
7048	0.51	0.77	0.50	0.46	0.28	0.11	0.14	0.17	0.19	0.37	0.31	0.66
7053	0.45	1.09	0.33	0.23	0.19	0.07	0.16	0.15	0.12	0.21	0.23	0.44
7056	0.53	0.45	0.27	0.26	0.24	0.10	0.09	0.04	0.09	0.18	0.18	0.26
7057	0.46	0.34	0.26	0.26	0.12	0.09	0.12	0.12	0.06	0.12	0.23	0.23
7058	0.54	0.35	0.25	0.27	0.18	0.08	0.12	0.13	0.06	0.10	0.20	0.24
7060	0.51	0.45	0.25	0.24	0.16	0.15	0.07	0.11	0.15	0.14	0.20	0.31
7061	0.18	0.46	0.36	0.30	0.14	0.08	0.10	0.10	0.04	0.18	0.23	0.44
7068	0.48	0.72	0.47	0.39	0.06	0.21	0.11	0.09	0.12	0.27	0.20	0.28
7072	0.47	0.34	0.23	0.26	0.10	0.09	0.11	0.15	0.08	0.10	0.21	0.24
7073	1.51	0.75	0.73	0.48	0.16	0.12	0.26	0.13	0.17	0.39	0.40	0.94
7074	1.40	0.83	0.84	0.30	0.17	0.08	0.14	0.09	0.20	0.31	0.20	1.08
7075	0.86	0.81	0.51	0.30	0.12	0.26	0.14	0.07	0.14	0.19	0.31	0.55
7077	0.66	0.62	0.60	0.36	0.10	0.16	0.14	0.16	0.06	0.13	0.31	0.21
7078	1.60	1.13	1.02	0.38	0.27	0.33	0.29	0.22	0.21	0.28	0.40	0.80
7113	0.44	0.85	0.19	0.18	0.10	0.11	0.14	0.16	0.07	0.27	0.41	0.80
7115	0.60	0.98	0.33	0.32	0.18	0.12	0.15	0.15	0.11	0.27	0.29	0.50
7116	0.99	0.43	0.36	0.29	0.24	0.19	0.06	0.06	0.09	0.19	0.21	0.22
7117	0.74	0.50	0.48	0.36	0.23	0.24	0.20	0.19	0.14	0.40	0.26	0.78
7129	0.90	0.86	0.63	0.47	0.06	0.12	0.10	0.11	0.09	0.34	0.36	0.52
7136	0.77	0.88	1.03	0.33	0.24	0.28	0.09	0.25	0.23	0.48	0.52	0.97
7146	0.31	0.44	0.36	0.20	0.24	0.25	0.22	0.14	0.14	0.23	0.12	0.32
7157	0.34	0.48	0.33	0.14	0.14	0.08	0.10	0.04	0.05	0.15	0.18	0.43
7168	1.49	0.68	0.75	0.43	0.08	0.10	0.16	0.06	0.14	0.42	0.39	0.89
7182	1.31	0.99	0.63	0.54	0.21	0.13	0.15	0.11	0.16	0.27	0.50	1.11
7185	0.40	1.05	0.29	0.20	0.16	0.10	0.16	0.10	0.06	0.20	0.20	0.40
7187	0.37	0.39	0.23	0.23	0.13	0.14	0.12	0.09	0.07	0.16	0.20	0.34
7191	0.58	0.78	0.39	0.29	0.13	0.14	0.13	0.07	0.07	0.24	0.17	0.17
7199	0.77	0.66	0.46	0.30	0.24	0.19	0.16	0.10	0.08	0.23	0.19	0.28
7200	0.80	0.69	0.52	0.35	0.20	0.25	0.15	0.09	0.11	0.26	0.28	0.37
7201	1.42	0.66	0.81	0.42	0.12	0.09	0.16	0.07	0.16	0.38	0.41	1.03
7208	0.88	1.33	0.64	0.24	0.10	0.07	0.05	0.05	0.11	0.25	0.33	1.29
7228	1.23	0.62	0.77	0.38	0.07	0.12	0.08	0.08	0.12	0.36	0.29	1.05
7320	0.97	1.15	0.86	0.47	0.32	0.27	0.25	0.36	0.24	0.41	0.37	0.66
7326	0.86	0.80	0.64	0.74	0.33	0.21	0.18	0.14	0.28	0.43	0.46	0.41
7333	0.65	0.71	0.38	0.66	0.44	0.33	0.34	0.37	0.29	0.42	0.60	0.77
7334	0.96	1.42	0.47	0.43	0.17	0.23	0.20	0.25	0.28	0.23	0.33	1.52
7336	0.89	0.62	0.97	0.85	0.37	0.39	0.45	0.40	0.28	0.37	0.45	0.63
7339	0.41	0.77	0.18	0.44	0.32	0.28	0.30	0.41	0.22	0.32	0.15	0.44
7342	1.25	0.88	0.84	0.72	0.59	0.49	0.36	0.42	0.44	0.63	0.67	0.99
7344	1.13	0.75	0.94	0.76	0.55	0.30	0.15	0.35	0.24	0.43	0.53	0.52
7347	0.68	0.56	0.65	0.36	0.31	0.15	0.14	0.11	0.12	0.33	0.24	0.26
7348	0.83	0.67	0.67	0.63	0.38	0.21	0.27	0.25	0.29	0.42	0.27	0.47
7352	1.25	0.73	0.64	0.43	0.20	0.09	0.21	0.19	0.09	0.33	0.50	0.79
20148	1.40	0.98	0.61	0.39	0.35	0.14	0.13	0.11	0.11	0.39	0.26	1.29
20328	0.63	0.77	0.67	0.52	0.39	0.38	0.31	0.39	0.30	0.47	0.61	0.57

Tabla 5.12 Lluvia promedio anual para diferentes periodos de tiempo de cada estación en estudio

Estación	7012	7014	7018	7019	7038	7045	7048	7053	7056	7057	7058	7060	7061	7068	7072	7073	7074
Décadas																	
1960-1969	4265	2445	4422	1606	2442	1485	2482	2927	4016	4118	4194	4942	3809	2216	4474	1307	2194
1970-1979	4145	1881	4390	1405	3333	1310	3309	3337	3887	4034	4454	4188	4159	1951	4578	1597	2100
1980-1989	4057	2048	3809	1368	3164	1351	3105	3303	3974	4261	4182	4033	3958	1772	4198	1732	2039
1990-1999	4279	2051	4378	1430	3169	1351	3776	3346	4287	4376	4358	4275	3990	1943	4361	1689	1853
2000-2007	4615	2486	4710	1512	3450	1282	4092	3766	4533	4060	4110	4591	4189	1922	4102	1918	2100
Estación	7075	7077	7078	7113	7115	7116	7117	7129	7136	7146	7157	7168	7182	7185	7187	7191	7199
Décadas																	
1960-1969	2774	3451	1476	2650	2498	3440	2320	2383	1768	4894	4900	1801	1623	3294	4209	3838	3458
1970-1979	2258	3346	1293	2492	2529	3187	1935	2237	1191	4035	4755	1569	1426	3286	3951	3660	3740
1980-1989	2313	3143	1145	2725	2621	2890	2059	2012	1317	4589	4467	1748	1746	3282	4236	3572	3018
1990-1999	2320	3013	1043	2347	2674	2944	2205	2169	1354	3565	4729	1687	1687	3319	4370	3958	2769
2000-2007	2107	3175	1041	2721	2187	3292	2958	2201	1656	4808	4623	1926	1661	3717	4292	4084	2900
Estación	7200	7201	7208	7228	7320	7326	7333	7334	7336	7339	7342	7344	7347	7348	7352	20148	20328
Décadas																	
1960-1969	2573	1837	2404	2102	2617	2490	2514	2473	2693	2827	4256	3747	3735	2110	1738	1613	3555
1970-1979	2124	1613	2353	1930	2979	2298	2438	2346	2197	3336	4033	3947	3501	1773	1574	1632	3629
1980-1989	2069	1745	2190	2004	1608	1702	1270	1660	1429	2032	1893	2229	2812	2703	2183	1780	1770
1990-1999	2001	1687	2388	2041	1876	1826	1438	2077	1404	2096	1682	2154	2870	3022	1937	1976	1601
2000-2007	2154	1920	2393	2052	2022	1983	1420	1551	1284	1960	1557	1942	3527	3620	1925	1966	2622
2000-2007	272.9	326.7	386.2	366.0	354.7	423.6	318.7	254.0	219.8	332.6	290.1	343.2	464.4	575.9	327.6	414.1	435.7

5.5.2 Curvas i-d-T

La intensidad de la lluvia se define como la cantidad de agua de lluvia que cae en un punto por unidad de tiempo, y ésta es inversamente proporcional a la duración de la tormenta. La duración de la tormenta es el tiempo que transcurre desde que inicia la precipitación de la tormenta hasta que ésta cesa. Willems (Pereyra, 2004) define las curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) como la relación que existe entre la intensidad de precipitación media y la frecuencia de ocurrencia (inverso del período de retorno); estas curvas son herramientas ampliamente utilizadas en ingeniería para fines de planeación, diseño y operación de los proyectos hidráulicos, así como para la protección de obras de ingeniería contra avenidas máximas (Koutsoyiannis et al) (Pereyra, 2004).

El análisis de frecuencia de la precipitación es usado ampliamente para diseño de obras de ingeniería que controlan los escurrimientos generados por las tormentas. Esto incluye sistemas de alcantarillado municipales, vertedores, puentes y sistemas de drenaje agrícola, también la relación intensidad-duración-frecuencia de precipitaciones extremas es ampliamente usada para estimar las avenidas de diseño en los sitios donde se construirán las obras hidráulicas.

Para la obtención de las curvas i-d-T se necesitaron los eventos máximos anuales del periodo 1960-2007 (Anexo E2), a estos datos se le aplico la prueba de independencia de Anderson (Anexo E3), y se aplicaron las diferentes distribuciones de probabilidad (Anexo E4) con estos eventos para diferentes periodos de retorno se utilizó según Campos Aranda (Procesos del ciclo hidrológico, Fig. 4.32 Grafica de la U.S. Weather Bureau) para obtener curvas i-d-T en ausencia de un pluviógrafo, se obtuvieron con el número medio anual de tormentas convectivas y la lluvia media anual de las máximas diarias (Anexo E5); con la lluvia de una hora y $T_r = 2$ años, graficando logarítmicamente de 1 a 24 horas se obtuvo las curvas para diferentes periodos de retorno, para obtener las duraciones menores a 1 hora se utilizaron los datos del manual Guía de prácticas hidrológicas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda los siguientes factores, para 5 minutos 0.29, para 10 de 0.45, para 20 de 0.57 y para 30 de 0.7 (Anexo E6).

En el análisis siguiente de las curvas i-d-T se utilizó la estación 7012 a la cual se le aplico análisis de frecuencias para máximos, con las diferentes distribuciones de la Tabla 5.13. Siendo la mejor aquella de menor error estándar, en este caso fue la distribución GVE por Máxima Verosimilitud.

Con ayuda de la grafica antes mencionada en ausencia de pluviógrafo, se obtuvo para un $Tr=2$ la lluvia correspondiente a una hora y a 24 horas, siguiendo esta misma relación de pendiente se obtuvieron para los demás periodos de retorno, finalmente con los factores que recomienda la OMM para intensidades menores a una hora se obtuvieron las curvas i-d-T de la figura 5.93.

Tabla 5.13 Análisis de frecuencia aplicado a la estación 7012 (Finca Argovia)

DISTRIBUCION	PARAMETROS	FORMA	UBICACIÓN	ESCALA	EEA	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
NORMAL	MOMENTOS		160.11	54.73	28.68	160	206	230	250	273	287	318	329	364	364
	MAX VER		160.11	54.73	28.68	160	206	230	250	273	287	318	329	364	364
	MOMENTOS L		160.11	89.14	46.78	160	235	274	307	343	368	417	436	492	492
DISTRIBUCION	PARAMETROS	FORMA	UBICACIÓN	ESCALA	EEA	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
LOGNORMAL	MOMENTOS		5.03	0.28	24.18	153	194	219	242	270	292	340	360	408	428
	MAX VER		5.03	0.28	24.18	153	194	219	242	270	292	340	360	408	428
DISTRIBUCION	PARAMETROS	FORMA	UBICACIÓN	ESCALA	EEA	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
GAMMA 2	MOMENTOS		18.71	8.56	23.80	154	203	233	259	292	314	364	385	430	450
	MAX VER		13.48	11.88	25.08	156	197	222	243	269	288	327	343	379	394
	MOMENTOS L		13.65	11.73	25.00	156	197	222	244	270	289	328	345	381	396
DISTRIBUCION	PARAMETROS	FORMA	UBICACIÓN	ESCALA	EEA	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
GAMMA 3	MOMENTOS	119.025	72.91	0.56	17.56	140	186	225	267	326	373	489	542	669	726
	M P P	106.377	56.18	0.96	17.65	143	193	230	268	320	360	455	497	597	642
DISTRIBUCION	PARAMETROS	FORMA	UBICACIÓN	ESCALA	EEA	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
GUMBEL	MOMENTOS		135.48	42.69	21.03	151	200	232	262	302	332	401	430	529	529
	MAX VER		139.22	32.58	24.71	151	188	213	236	266	289	342	364	439	439
	MOMENTOS L		138.38	37.64	22.05	152	195	223	250	285	312	372	398	485	485
	MAX ENTROPIA		140.00	34.85	23.26	153	192	218	244	276	300	357	381	461	461
DISTRIBUCION	PARAMETROS	FORMA	UBICACIÓN	ESCALA	EEA	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
GVE	MOMENTOS	-0.16	135.13	32.77	18.03	147	191	224	260	312	357	483	548	728	821
	MAX VER	-0.24	135.16	28.60	17.07	146	187	220	259	319	375	543	638	930	1094
	MOMENTOS L	-0.23	135.04	29.11	17.33	146	187	220	258	317	370	531	619	888	1038
DISTRIBUCION	PARAMETROS	FORMA	UBICACIÓN	ESCALA	EEA	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
LOGNORMAL 3	MOMENTOS	86.98	4.07	0.67	17.41	146	190	225	262	317	363	486	547	708	786
	MAX VER	20.90	4.86	0.28	28.45	149	183	204	223	247	265	305	322	362	379
DISTRIBUCION	PARAMETROS	FORMA	UBICACIÓN	ESCALA	EEA	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
LOGPEARSON 3	MOMENTOS MD	4.85	4.40	0.129	17.99	147	190	224	260	313	357	480	543	718	809
	MOMENTOS MI	2.83	4.56	0.166	17.18	145	188	223	261	319	370	517	596	828	953
	MAX VER	3.30	4.53	0.153	17.68	146	188	222	259	315	363	499	571	779	889

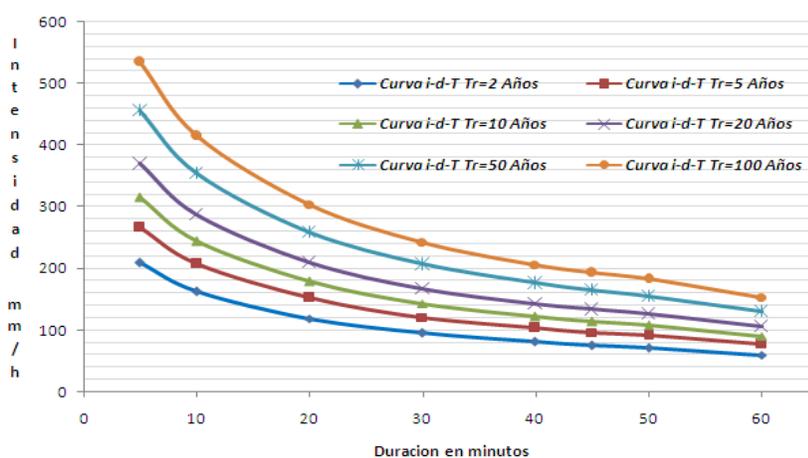


Figura 5.93 Curvas i-d-T para diferentes periodos de retorno

Curvas i-d-T de diferentes duraciones para $Tr = 5$ años

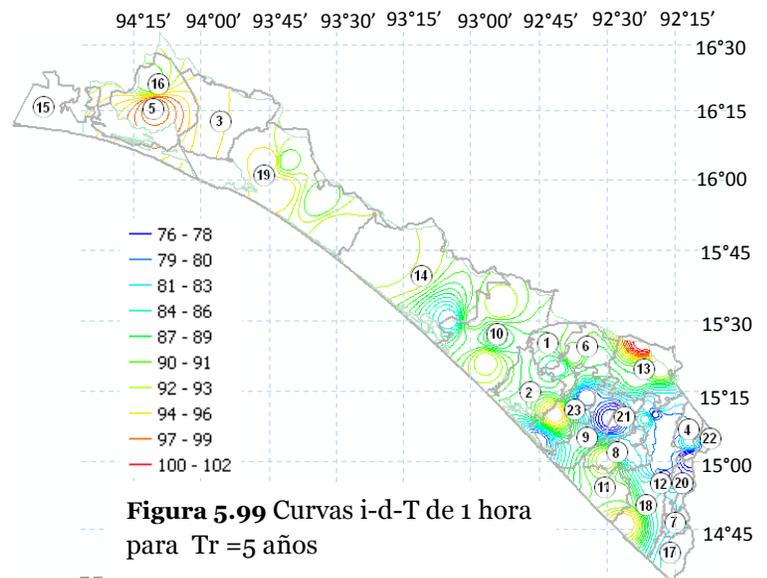
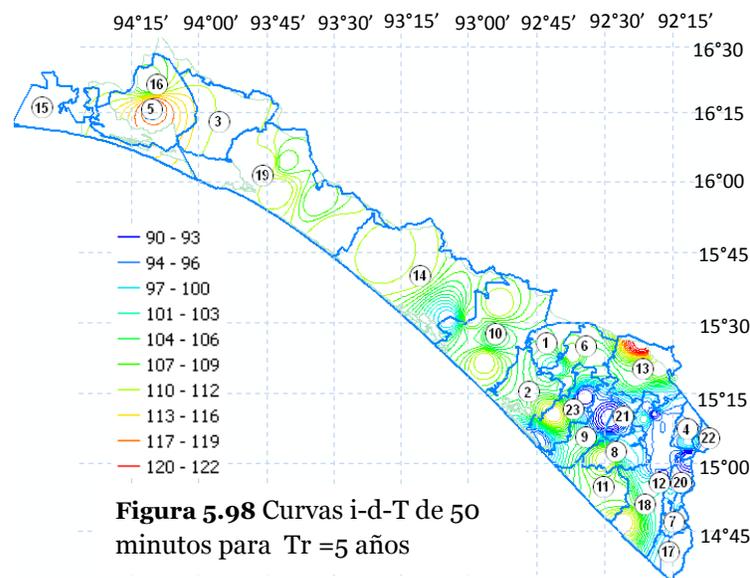
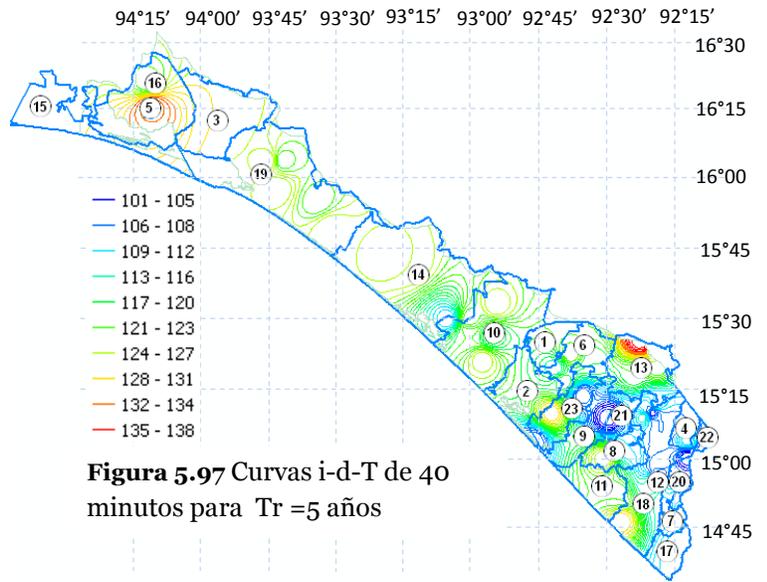
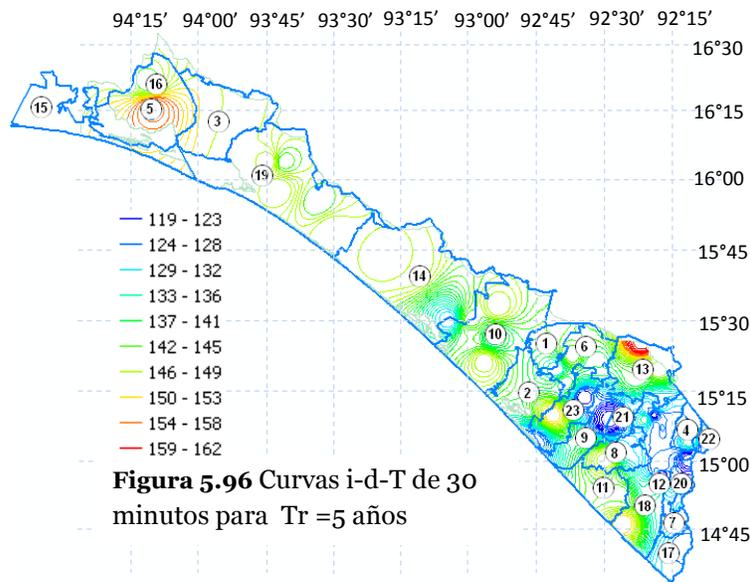
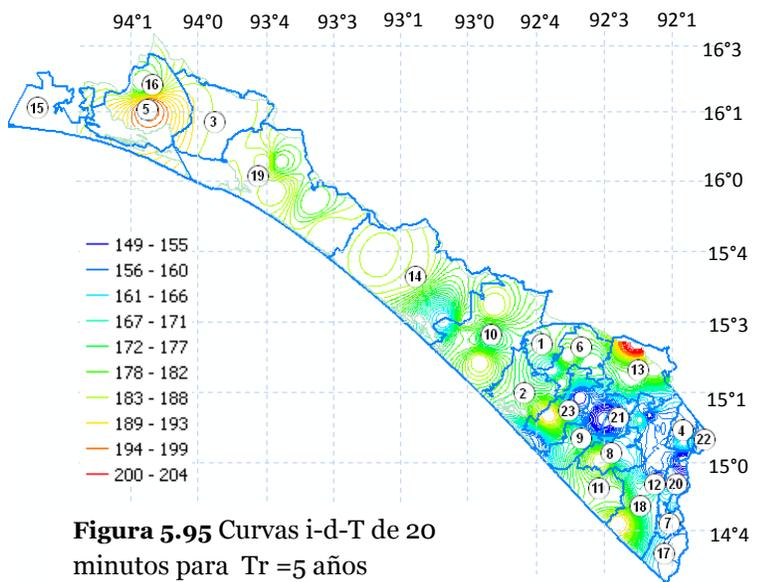
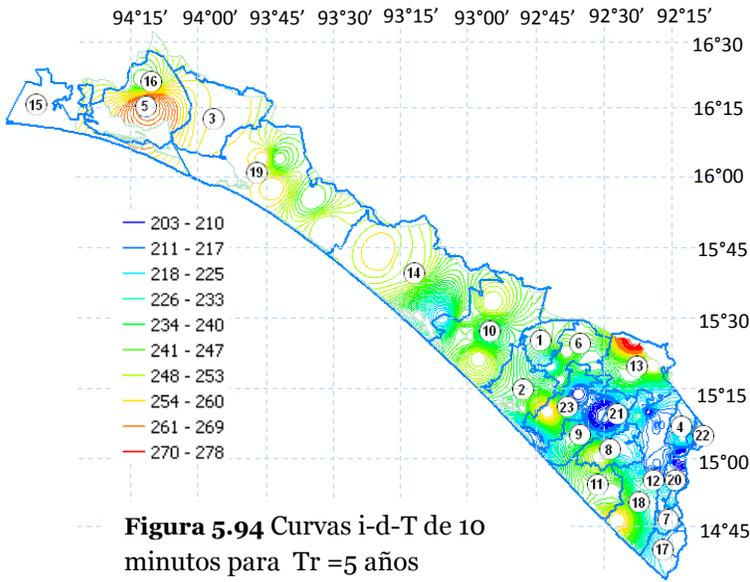


Tabla 5.14 Análisis de máximos anuales de días acumulados

Estación	De 2 días	De 3 días	De 4 días	De 5 días	De 6 días	De 7 días	De 8 días	De 9 días	De 10 días
7012	I	I	I	I	I	I	I	I	I
7014	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7018	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7019	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7038	I	I	I	E	E	I	I	I	I
7045	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7048	I	I	I	I	I	I	I	I	I
7053	I	E	E	E	E	E	E	E	E
7056	I	E	I	I	I	I	I	I	I
7057	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7058	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7060	I	I	I	I	I	E	I	I	I
7061	I	I	I	I	I	I	I	I	I
7068	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7072	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7073	I	E	E	E	E	E	E	E	E
7074	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7075	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7077	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7078	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7113	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7115	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7116	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7117	E	E	I	E	E	E	E	E	I
7129	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7136	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7146	E	E	I	I	E	E	E	E	E
7157	E	D	D	E	E	E	E	E	E
7168	I	E	E	E	E	E	E	E	E
7182	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7185	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7187	I	E	E	I	I	E	E	E	E
7191	I	I	I	I	I	I	I	E	I
7199	E	E	E	E	E	E	E	I	I
7200	I	E	E	E	E	E	E	E	E
7201	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7208	I	E	E	E	E	E	E	E	E
7228	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7320	I	I	I	I	I	I	I	I	I
7326	I	E	E	I	I	I	I	I	I
7333	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7334	I	E	E	I	I	E	E	E	E
7336	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7339	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7342	D	D	D	D	D	D	D	D	D
7344	E	E	E	E	E	E	E	D	E
7347	I	I	I	E	E	E	E	E	E
7348	I	I	I	I	I	I	I	I	I
7352	I	E	E	E	E	E	I	E	E
20148	E	E	E	E	E	E	E	E	E
20328	E	E	E	E	E	E	E	E	E

Tabla 5.15 Porcentaje de área de tendencia en municipios

Clave	Municipio	% Área
1	Acacoyagua	53%
2	Acapetahua	15%
3	Arriaga	0%
4	Cacahoatán	0%
5	Chahuites	0%
6	Escuintla	76%
7	Frontera Hidalgo	0%
8	Huehuetan	7%
9	Huixtla	5%
10	Mapastepec	55%
11	Mazatán	2%
12	Metapa	0%
13	Motozintla	7%
14	Pijijiapan	12%
15	San Francisco del Mar	0%
16	San Pedro	0%
17	Suchiate	0%
18	Tapachula	20%
19	Tonalá	0%
20	Tuxtla Chico	3%
21	Tuzantán	24%
22	Unión Juárez	0%
23	Villa Comaltitlán	57%

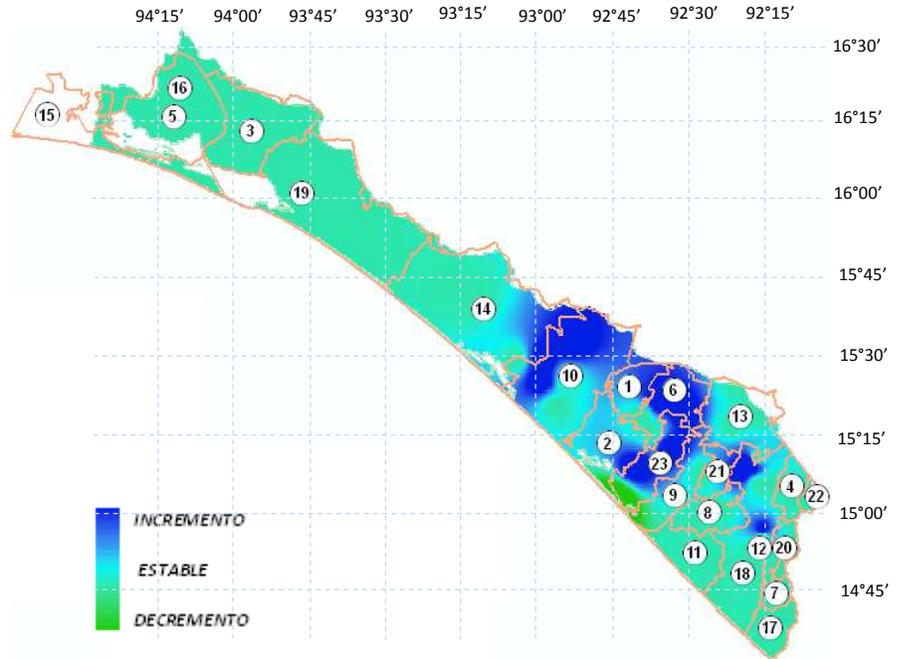


Figura 5.100 Zonas que presentan incremento en los acumulados de 2 días hasta 10 días

5.5.4 Observación de la tendencia de días acumulados

Al utilizar los polígonos de Thiessen se obtuvieron las áreas de influencia de cada estación, con ello se obtuvo el porcentaje de aportación a cada municipio como se muestra en la Tabla de arriba junto al mapa. Se observa que Escuintla es el municipio con mayor área afectada siendo el 76% de su área, siguiéndole los municipios de villa Comaltitlán con 57%, Mapastepec con 55% y Acacoyagua con 53%, y finalmente con menor afectación del 5% al 24% de sus áreas están Tuzantán, Acapetahua, Tapachula, Pijijiapan, Huixtla y Huehuetan.

En las demás estaciones se observó cambio en su tendencia principalmente a incrementar, pero estadísticamente no es significativo, como demostraron las pruebas de homogeneidad de Cramer, *t* de Student y Mann-Kendall (Anexo E7), no obstante las estaciones que no pasaron estas pruebas demostraron que si existe cambio en la tendencia del máximo acumulado de 2 días hasta 10 días consecutivos y esta tendencia es a crecer en algunas zonas de la Costa de Chiapas, con ello se tiene zonas potencialmente erosivas e incremento de inundaciones.

Tabla 5.16 Tendencia en el número de días de diferentes intervalos (CONAGUA)

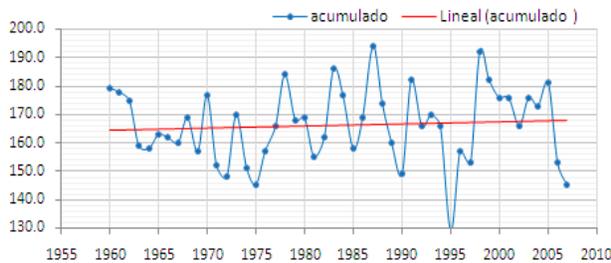
Estación	0-0.1mm	0.1mm-5mm	5mm-20mm	20mm-70mm	70mm-150mm	>150mm
7012	E	E	E	E	I	I
7014	E	E	E	E	E	E
7018	E	E	D	E	D	E
7019	E	E	E	E	E	E
7038	D	D	D	I	I	E
7045	E	E	D	E	E	E
7048	D	D	D	I	I	I
7053	D	D	D	I	I	I
7056	I	I	I	E	E	E
7057	D	D	D	I	I	E
7058	I	I	D	E	E	E
7060	I	I	E	D	E	I
7061	E	E	D	E	I	I
7068	E	E	E	E	E	E
7072	I	I	E	E	D	D
7073	I	I	I	I	E	E
7074	D	D	D	E	E	E
7075	D	D	E	D	D	I
7077	D	D	D	E	E	E
7078	D	D	D	D	E	D
7113	E	E	E	E	E	E
7115	D	D	D	E	E	E
7116	D	D	D	E	I	D
7117	D	D	D	I	I	E
7129	E	E	E	E	I	E
7136	I	I	I	E	D	D
7146	D	D	E	E	D	I
7157	E	E	E	D	I	D
7168	I	I	E	E	E	E
7182	I	I	E	E	I	E
7185	I	I	I	E	E	E
7187	E	E	D	E	I	E
7191	D	D	E	E	I	I
7199	I	I	E	D	D	E
7200	E	E	D	D	E	E
7201	I	I	E	E	E	E
7208	E	E	D	E	I	E
7228	E	E	E	E	E	E
7320	D	D	D	D	E	I
7326	D	D	D	D	I	I
7333	D	D	D	D	D	E
7334	D	D	D	E	I	E
7336	D	D	D	D	D	E
7339	D	D	I	D	D	E
7342	D	D	D	D	D	D
7344	D	D	D	D	D	E
7347	D	D	D	D	D	I
7348	D	D	E	I	I	I
7352	E	E	E	I	I	E
20148	E	E	E	I	I	E
20328	D	D	D	D	E	E

5.5.5 Tendencia en el número de días con lluvia

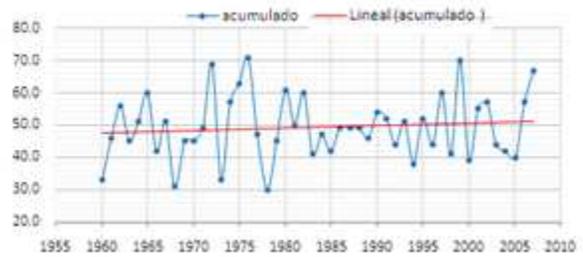
Para determinar la tendencia se obtuvo el número de días de diferentes magnitud de lluvia, que CONAGUA ha clasificado en diferentes intervalos de magnitudes; las de tipo ligeras aquellas entre 0- 5 mm, moderadas de 5-20mm, fuertes de 20-70 mm, intensas de 70-150 mm y las mayores de 150mm como torrenciales.

Obtenida la serie del número de días anual, comprendida en la clasificación antes mencionada se le aplicó las pruebas de homogeneidad de Cramer, *t* de Student y Mann Kendall (Anexo E8), de las que resultaron no homogéneas se obtuvo la tendencia mediante la pendiente, la cual presentó diferente comportamiento en cada estación estudiada.

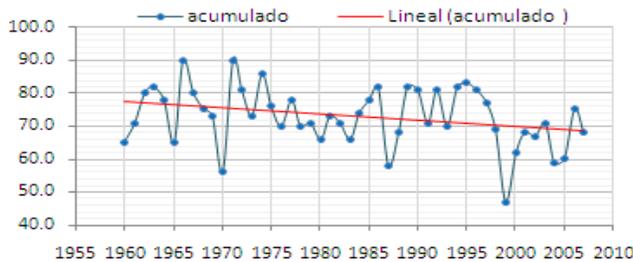
Las gráficas siguientes muestran las tendencias para cada intervalo de lluvia en la estación 7012.



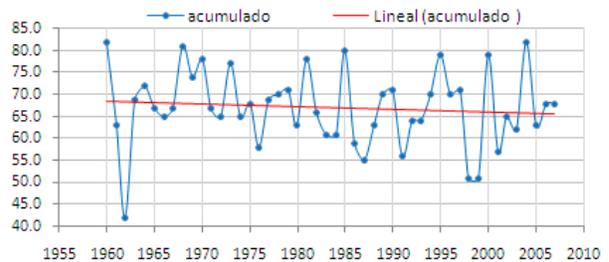
Gráfica 5.4 Lluvia Nula



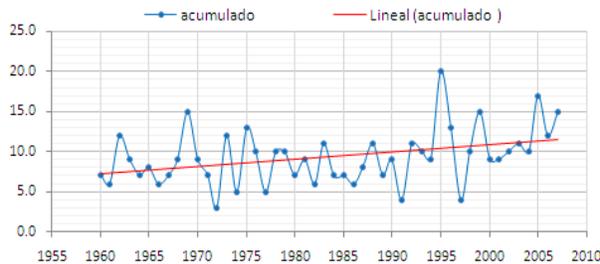
Gráfica 5.5 Lluvia Ligera



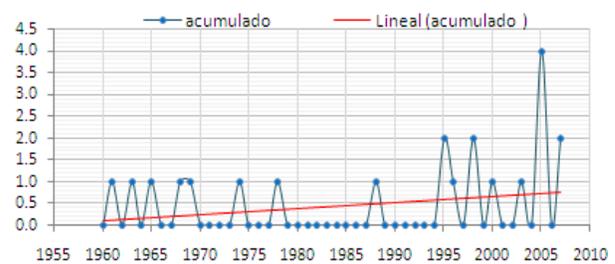
Gráfica 5.6 Lluvia Moderada



Gráfica 5.7 Lluvia Fuerte



Gráfica 5.8 Lluvia Intensa

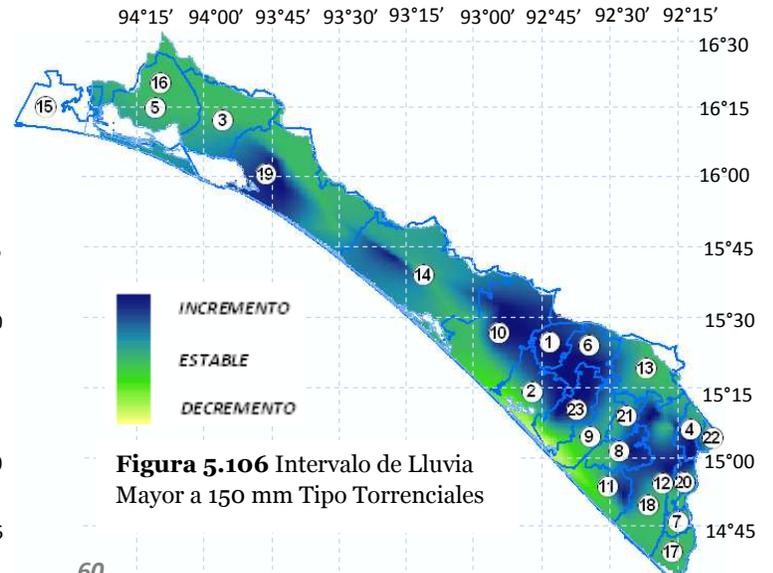
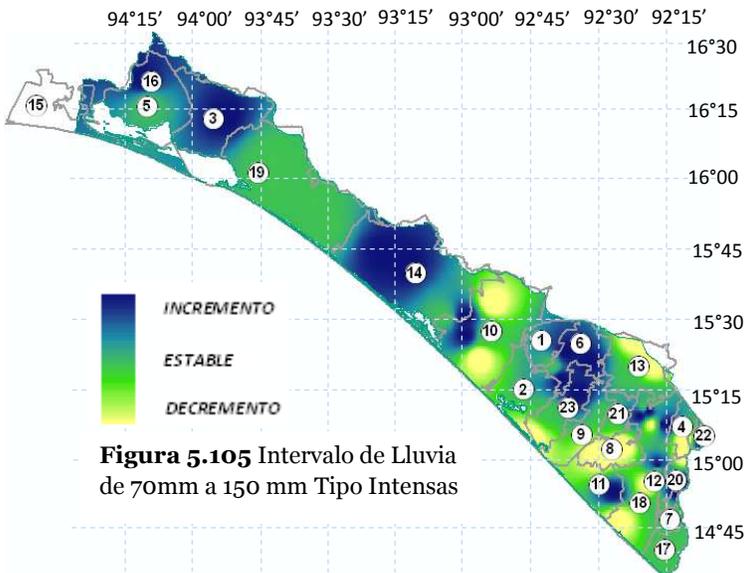
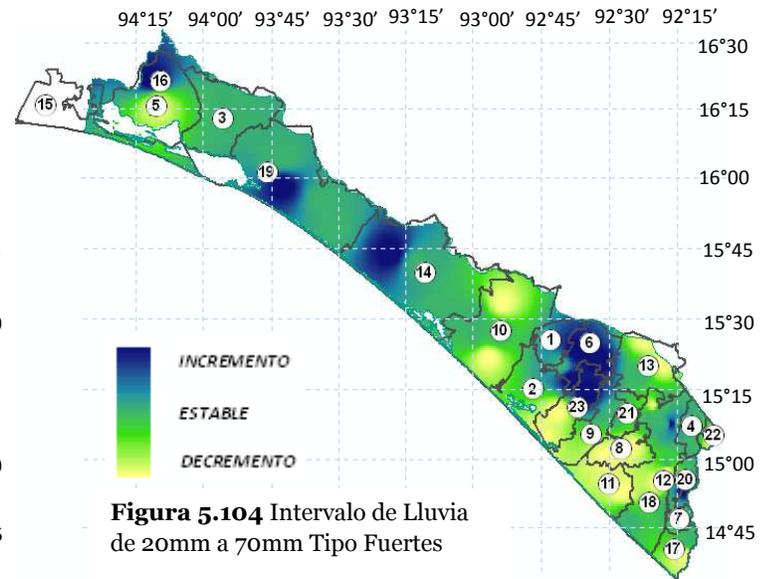
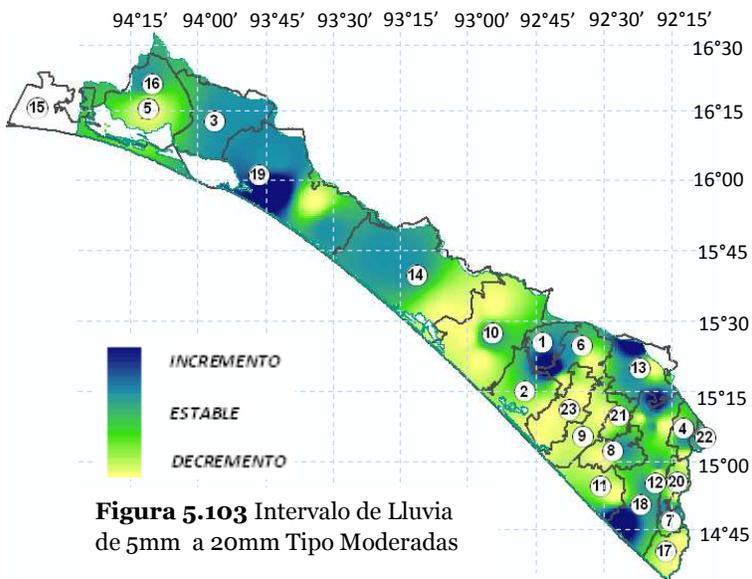
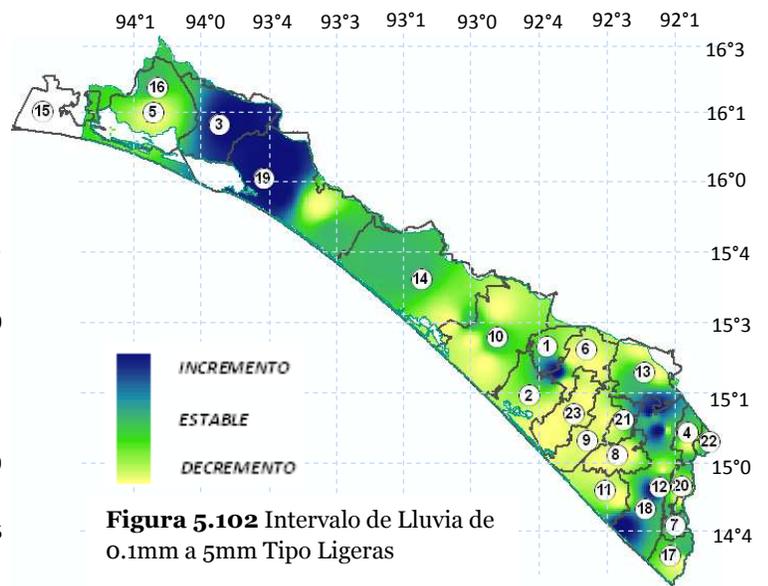
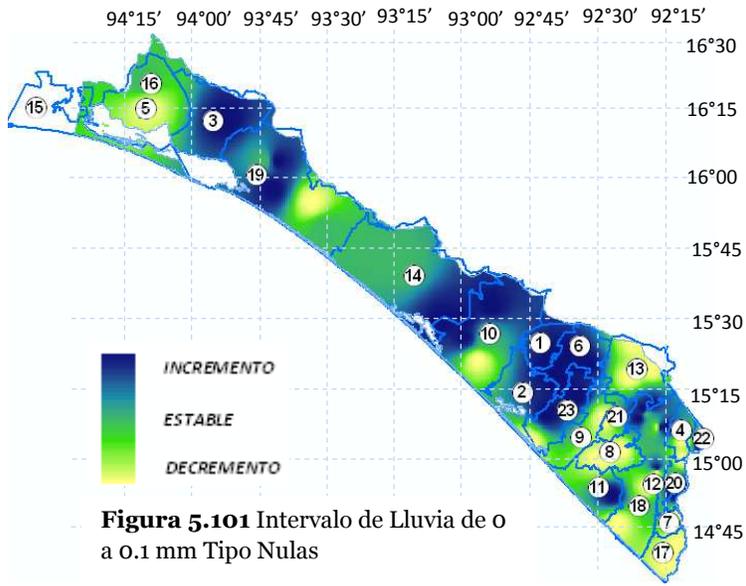


Gráfica 5.9 Lluvia Torrencial

La grafica de días sin lluvia tiene una ligera pendiente positiva, que se comprobó estadísticamente, esto significa que han aumentado los días sin lluvia para esa estación, de la lluvia ligera también se tiene incremento, en cambio la lluvia de tipo moderada presento decremento al igual que la de tipo fuerte. En la lluvia intensa se tiene tendencia positiva al igual que en las lluvias tipo torrenciales

Si los días sin lluvia han aumentado; esto podría provocar escases de lluvia afectando principalmente al sector agrícola, por otro lado con el aumento de las lluvias torrenciales se tiene aumento de inundaciones, deslaves, erosión, problemas de salud y económicos.

Mapas de tendencia de acuerdo a los tipos de lluvia



5.5.6 Observación

Lluvia Nula

En la mayor parte sureste de la Costa de Chiapas se tiene un aumento de días sin lluvia excepto en la parte noroeste que involucran los municipios de Pijijiapan donde la mayor parte de este municipio se mantiene estable, en el municipio de Tonalá se observa un decremento de días sin lluvia en la parte norte, Chahuites y San Pedro Tapanatepéc presenta incremento y estabilidad los demás municipios de la costa presentan incremento en días sin lluvia.

Lluvia Ligera

El municipio de Arriaga y Tonalá presenta aumento en este tipo de lluvias en cambio los municipios Escuintla, Huehuetan, Huixtla y Villa Comaltitlán presentan decremento en este tipo de lluvias los demás municipios presentan estabilidad en este tipo de lluvia.

Lluvia Moderada

La mayor parte del municipio de Mapastepec presenta decremento en esta variable y los municipios de Huehuetan, Huixtla, Mazatán y Villa Comaltitlán mientras que los demás municipios de la costa presentan estabilidad en este tipo de lluvias.

Lluvia Fuerte

Parte de los municipios de Escuintla, Huixtla y Pijijiapan presentaron incremento en esta clasificación de lluvia en cambio Huehuetan, Mazatán y Villa Comaltitlán presentan decremento, los demás municipios de la Costa de Chiapas presentan estabilidad.

Lluvia Intensa

Los municipios de Acacoyagua, Arriaga, Escuintla Pijijiapan y parte de Villa Comaltitlán presentan incremento mientras que el municipio de Huehuetan presenta decremento también una parte de los municipios de Cacahoatán, Mapastepec, Motozintla y Tapachula presentaron decremento en esta clasificación de lluvia.

Lluvia Torrencial

Los municipios que mayor área con tendencia a incrementar en el número de días con este tipo de lluvia son Arriaga, Escuintla, Metapa Suchiate y Tuzantán en general la parte sureste de la Costa de Chiapas presenta una tendencia a incrementar, mientras que las demás zonas presentan una tendencia estable.

Tabla 5.17 Porcentaje de área afectada en incremento (positivo) y decremento (negativo) para cada municipio

Tipo de Lluvia	Nulas	Ligeras	Moderadas	Fuertes	Intensas	Torrenciales
Acacoyagua	9%	-9%	43%	57%	53%	26%
Acapetahua	49%	-49%	-49%	-55%	-29%	7%
Arriaga	-91%	85%	-5%	0%	95%	53%
Cacahoatán	58%	-47%	-52%	41%	-17%	33%
Chahuites	100%	-100%	-100%	-100%	0%	0%
Escuintla	75%	-75%	-38%	86%	86%	55%
Frontera Hidalgo	28%	0%	-17%	-45%	0%	0%
Huehuetan	98%	-93%	-49%	-95%	-85%	22%
Huixtla	99%	-99%	-99%	-35%	-24%	0%
Mapastepec	82%	-77%	-81%	-41%	-41%	0%
Mazatán	88%	-88%	-88%	-94%	7%	-7%
Metapa	74%	-59%	-59%	45%	59%	87%
Motozintla	43%	-43%	-2%	-78%	-43%	31%
Pijijiapan	32%	-26%	-32%	51%	63%	0%
San Francisco del Mar	-29%	-32%	-35%	26%	65%	0%
San Pedro Tapanatepéc	38%	-68%	-69%	-39%	31%	3%
Suchiate	24%	-61%	-99%	-62%	0%	47%
Tapachula	7%	29%	1%	-19%	-16%	29%
Tonalá	-46%	46%	0%	68%	12%	6%
Tuxtla Chico	83%	-48%	-78%	-29%	27%	0%
Tuzantán	74%	-60%	-78%	-37%	7%	51%
Unión Juárez	26%	-26%	0%	-74%	48%	38%
Villa Comaltitlán	100%	-100%	-99%	-8%	28%	0%

5.6 Variable evaporación

La evaporación es una de las variables hidrológicas importantes al momento de establecer el balance hídrico de una determinada cuenca hidrográfica o parte de esta. En este caso, se debe distinguir entre la evaporación desde superficies libres y la evaporación desde el suelo.

La evaporación es un proceso físico que consiste en el pasaje lento y gradual de un estado líquido hacia un estado más o menos gaseoso, en función de un aumento natural o artificial de la temperatura, lo que produce influencia en el movimiento de las moléculas, agitándolas. Con la intensificación del desplazamiento, las partículas escapan hacia la atmósfera transformándose, consecuentemente, en vapor.

En este fenómeno de evaporación los átomos o moléculas en el estado líquido (o sólido, se la sustancia sublima) ganan energía suficiente para pasar al estado de vapor. La medición de esta variable se realiza por medio de unos equipos constituidos a base de unos tanques o bandejas de evaporación, que tratan de reflejar en la medida de lo posible las características de inercia térmica, humedad, viento, etc., de la zona que se quiere medir.

Existen varios tipos, todos ellos con una superficie del orden de 1 a 2, y que se sitúan llenos de agua en la zona a medir. Todos ellos deben disponer de un pluviómetro, ya que la evaporación neta debe excluir el aporte de agua por precipitación.

La evaporación se mide como volumen de déficit en el tanque, por lo que deben disponer de una medida precisa para el nivel del agua dentro del tanque.

Tabla 5.18 Lluvia promedio anual para diferentes periodos de tiempo de cada estación en estudio

Estación Década	7012	7014	7018	7019	7038	7045	7048	7053	7056	7057	7058	7060	7061	7068	7072	7073	7074
1960-1969	1088	1437	1252	1801	1535	1577	1463	1556	1077	1011	1016	1085	1086	1629	1022	1523	1760
1970-1979	1097	1381	1193	1841	1481	1626	1400	1643	1088	1034	1039	1094	1096	1623	1044	1937	1715
1980-1989	1057	1501	1318	1633	1493	1595	1287	1633	1043	959	992	1053	1055	1654	993	1918	1635
1990-1999	1077	1399	1328	1583	1544	1640	1279	1527	1067	1006	1011	1074	1082	1618	1017	1863	1737
2000-2007	1098	1469	1449	1576	1414	1738	1340	1410	1086	1016	1021	1094	1096	1582	1028	2052	2160
Estación Década	7075	7077	7078	7113	7115	7116	7117	7129	7136	7146	7157	7168	7182	7185	7187	7191	7199
1960-1969	1396	1437	1392	1589	1693	1575	1589	1668	1741	1289	1273	1895	2309	1621	1011	1286	1251
1970-1979	1312	1381	1410	1659	1870	1589	1634	1679	1784	1263	1233	1965	2081	1618	1034	1193	1157
1980-1989	1697	1532	1580	1629	1799	1461	1574	1874	1720	1286	1299	2116	1956	1612	969	1291	1040
1990-1999	1664	1579	1652	1558	1723	1572	1577	1333	1737	1357	1344	2031	1894	1529	1007	1252	1081
2000-2007	1354	1469	1817	1487	1489	1623	1467	1580	1673	1518	1488	2235	2370	1411	1016	1265	1388
Estación Década	7200	7201	7208	7228	7320	7326	7333	7334	7336	7339	7342	7344	7347	7348	7352	20148	20328
1960-1969	1232	1826	1609	1774	1546	1635	1437	1601	1462	1552	1535	1336	1367	1626	1837	2198	1391
1970-1979	1394	1964	1776	1774	1566	1541	1381	1729	1427	1618	1158	1284	1311	1613	1859	2257	1438
1980-1989	858	1735	1721	1804	1514	1410	1254	1679	1425	1346	1678	1322	1464	1612	1969	2396	2350
1990-1999	985	1999	1604	1847	1559	1507	1303	1565	1349	1371	1796	1236	1556	1617	1657	1978	1374
2000-2007	1501	2201	1662	2053	1411	1470	1472	1572	1345	1410	1773	1414	1570	1480	1602	2126	1991
2000-2007	1232	1826	1609	1774	1546	1635	1437	1601	1462	1552	1535	1336	1367	1626	1837	2198	1391

5.6.1 Análisis de máximos anuales de días acumulados

Para el análisis de los máximos anuales de días consecutivos de la variable evaporación, se utilizó la base de datos (Anexo F1), obteniendo los máximos acumulados anuales de 2 hasta 10 días consecutivos (Anexo F2); a estas series de datos se le aplicaron las pruebas de homogeneidad de *t* de Student, Cramer y Mann-Kendall (Anexo F3), de las estaciones que no pasaron estas pruebas se obtuvo numéricamente la pendiente de su tendencia, observando con ello su tendencia como se muestra en la tabla 5.19, para determinar aquellos municipios más afectados, se hizo uso de los polígonos de Thiessen obteniendo para cada una de las estaciones analizadas su porcentaje de influencia con respecto al área de los municipios analizados, verificando aquellos municipios que presentan tendencia, como se muestra en la Figura 5.107.

En la grafica siguiente se muestra la tendencia de la estación 7012 y 7018 del máximo acumulado de dos días consecutivos, cabe mencionar que los acumulados de 2 hasta 10 días presentan el mismo comportamiento pero con mayor magnitud según el número de días acumulado, lo cual se observa en las graficas de acumulados de días consecutivos (Anexo F3, Gráficas).

Estación 7012

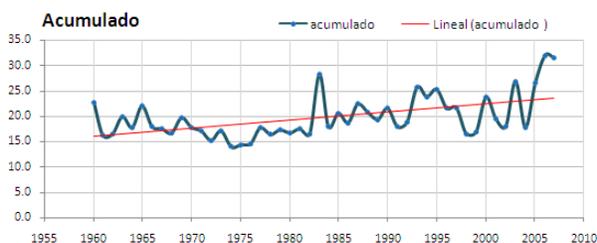


Grafico 5.10 Tendencia de la estación 7012 del máximo acumulado anual de dos días

Estación 7018

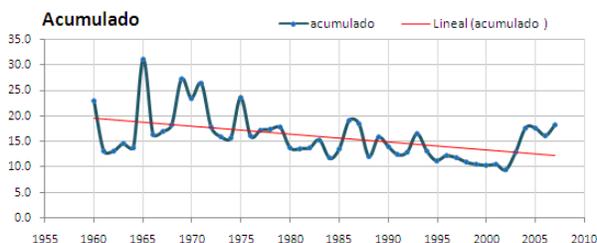


Grafico 5.11 Tendencia de la estación 7018 del máximo acumulado anual de dos días

Se observa en las gráficas que mientras la estación 7012 sigue una tendencia a crecer, la estación 7018 presenta una tendencia a decrecer, esto puede darse a varias condiciones climáticas de la zona, ya que la variable evaporación está relacionada directamente con la variable temperatura, puesto que la zona noroeste de la Costa de Chiapas es la que mas incremento presentó en esta variable esto mismo ha sucedido con la variable temperatura máxima, media y mínima.

Tabla 5.19 Tendencia de los máximos de días acumulados

Estación	De 2 días	De 3 días	De 4 días	De 5 días	De 6 días	De 7 días	De 8 días	De 9 días	De 10 días
7012	D	D	D	D	D	D	D	D	D
7014	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7018	I	I	I	I	I	E	I	I	I
7019	D	D	D	D	D	E	D	D	D
7038	E	E	E	E	E	D	E	E	E
7045	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7048	E	E	E	E	E	D	D	D	D
7053	D	D	D	D	D	E	D	D	D
7056	D	D	D	D	D	D	D	D	D
7057	D	D	D	D	D	E	D	D	D
7058	D	D	D	D	D	E	D	D	D
7060	D	D	D	D	D	E	D	D	D
7061	D	D	D	D	D	D	D	D	D
7068	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7072	D	D	D	D	D	E	D	D	D
7073	I	I	I	I	I	E	I	I	E
7074	I	I	I	I	I	E	I	I	E
7075	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7077	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7078	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7113	D	D	D	D	D	E	D	D	E
7115	D	D	D	D	D	E	D	D	E
7116	D	D	E	E	E	E	E	E	E
7117	D	D	D	D	D	E	D	D	D
7129	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7136	E	E	D	D	D	E	D	D	E
7146	I	I	I	I	I	E	I	E	E
7157	I	I	I	I	I	E	I	I	E
7168	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7182	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7185	E	D	E	D	D	E	D	D	E
7187	D	D	D	D	D	E	D	D	E
7191	E	E	D	E	E	D	E	E	D
7199	E	E	D	D	D	E	D	D	D
7200	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7201	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7208	D	D	E	E	E	E	D	D	E
7228	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7320	E	E	E	E	D	D	D	D	D
7326	E	D	D	D	D	D	D	D	D
7333	E	E	E	E	D	E	D	D	E
7334	D	E	E	E	E	E	E	E	E
7336	D	D	D	D	D	E	D	D	E
7339	I	I	I	I	I	E	I	I	E
7342	I	I	I	I	I	I	I	I	I
7344	I	E	E	E	E	E	E	E	E
7347	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7348	E	E	E	E	E	D	E	E	D
7352	E	E	E	E	E	E	E	E	E
20148	I	I	I	I	I	E	I	I	E
20328	I	I	I	I	I	E	I	I	E

Tabla 5.20 Porcentaje de área de tendencia en municipios

Clave	Municipios	% Área
1	Acacoyagua	-4%
2	Acapetahua	26%
3	Arriaga	10%
4	Cacahoatán	17%
5	Chahuites	100%
6	Escuintla	-10%
7	Frontera Hidalgo	-39%
8	Huehuetan	-50%
9	Huixtla	-1%
10	Mapastepec	-19%
11	Mazatán	-36%
12	Metapa	-85%
13	Motozintla	10%
14	Pijijiapan	-25%
15	San Francisco del Mar	97%
16	San Pedro Tapanatepéc	99%
17	Suchiate	-1%
18	Tapachula	-40%
19	Tonalá	34%
20	Tuxtla Chico	-44%
21	Tuzantán	-25%
22	Unión Juárez	100%
23	Villa Comaltitlán	12%

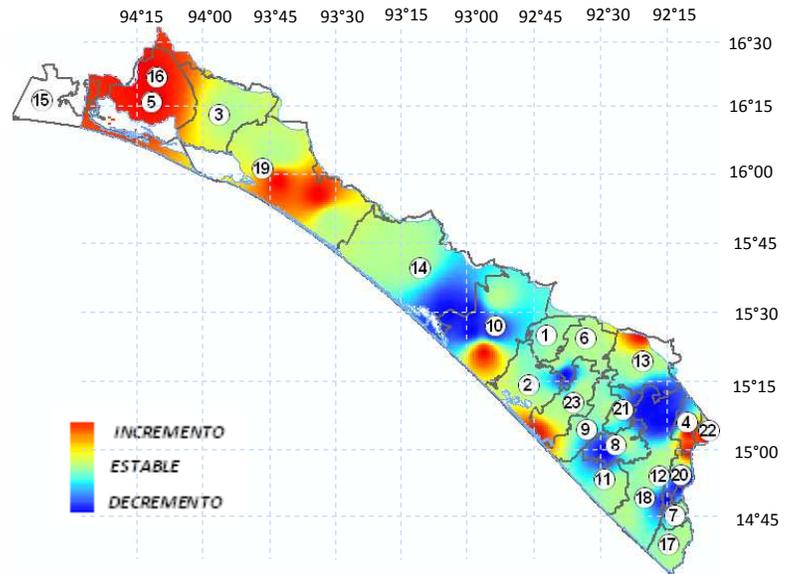


Figura 5.107 Zonas con incremento y decremento de evaporación para el máximo acumulado de dos días.

5.6.2 Observación

Los municipios que mayor incremento en evaporación han tenido son Chahuites, San Francisco del mar, San Pedro Tapanatepéc y unión Juárez, los que presentaron decremento en la mayoría de su área son Huehuetan y Metapa. Como se observa en el mapa de incremento y decremento la zona noroeste de la Costa de Chiapas es la más afectada en el incremento del máximo acumulado anual para 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,9 y 10 días, este incremento se ha notado en las variables temperatura máxima, media y mínima con esto se confirma la dependencia que tiene la evaporación con la temperatura puesto que tienen zonas de incremento en común.

5.7 Análisis de morbilidad

Morbilidad (del inglés morbidity) es la cantidad de personas o individuos considerados enfermos o víctimas de enfermedad en un espacio y tiempo determinados. La morbilidad es, entonces, un dato estadístico de altísima importancia para poder comprender la evolución y avance o retroceso de alguna enfermedad, así también como las razones de su surgimiento y las posibles soluciones.

En el sentido de la epidemiología se puede ampliar al estudio y cuantificación de la presencia y efectos de alguna enfermedad en una población, como las producidas por los cambios en el clima (Jaime Cerda L., 2008) y (Emily K. Shuman, M.D., 2010)

Para este estudio se procedió a recopilar datos de las veinte principales causas de enfermedad en el estado de Chiapas según la Dirección General de Epidemiología/SSA Proyección INEGI-CONAPO teniendo un periodo de información del año 1984 al año 2007 (Anexo G1), de estos datos se procedió a agruparlos en las enfermedades generales de ellas, enfermedades respiratorias, enfermedades intestinales, dermatológicas y las de tipo parasitarias y virus, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5.21 Cantidad anual de personas víctimas correspondientes a cada grupo

Año	Enfermedades respiratorias	Enfermedades intestinales	Dermatológicas
1984	16614	21417	190
1985	18186	21051	119
1986	11752	19740	396
1987	21309	30124	2881
1988	49566	58036	9052
1989	50978	90134	12580
1990	0	0	0
1991	0	0	0
1992	0	0	0
1993	543805	205819	35770
1994	146956	109908	19341
1995	411591	266678	21560
1996	465783	295460	21411
1997	537675	349629	24851
1998	636708	391499	26583
1999	649759	379394	31413
2000	590520	298528	31867
2001	621551	320063	29831
2002	640952	309693	38118
2003	625113	302769	46915
2004	671702	299597	50443
2005	656581	279533	46068
2006	612745	202608	41821
2007	576405	194743	38196

Tomando en cuenta el número de enfermos correspondientes en cada grupo respecto de la población total del estado de Chiapas, se obtuvo la tasa de cada grupo de enfermedad en porcentaje

Tabla 5.22 Tasa correspondiente a la población total, según cada grupo de enfermedades

Población total (en millones de habitantes)	Enfermedades respiratorias	Enfermedades intestinales	Dermatológicas
2.1	0.79%	1.02%	0.01%
2.1	0.87%	1.00%	0.01%
2.1	0.56%	0.94%	0.02%
2.1	1.01%	1.43%	0.14%
2.1	2.36%	2.76%	0.43%
2.1	2.43%	4.29%	0.60%
3.2	0.00%	0.00%	0.00%
3.2	0.00%	0.00%	0.00%
3.2	0.00%	0.00%	0.00%
3.2	16.97%	6.42%	1.12%
3.2	4.59%	3.43%	0.60%
3.6	11.41%	7.39%	0.60%
3.6	12.91%	8.19%	0.59%
3.6	14.91%	9.69%	0.69%
3.6	17.65%	10.85%	0.74%
3.6	18.01%	10.52%	0.87%
3.9	15.14%	7.65%	0.82%
3.9	15.94%	8.21%	0.76%
3.9	16.43%	7.94%	0.98%
3.9	16.03%	7.76%	1.20%
3.9	17.22%	7.68%	1.29%
4.3	15.27%	6.50%	1.07%
4.3	14.25%	4.71%	0.97%
4.3	13.40%	4.53%	0.89%

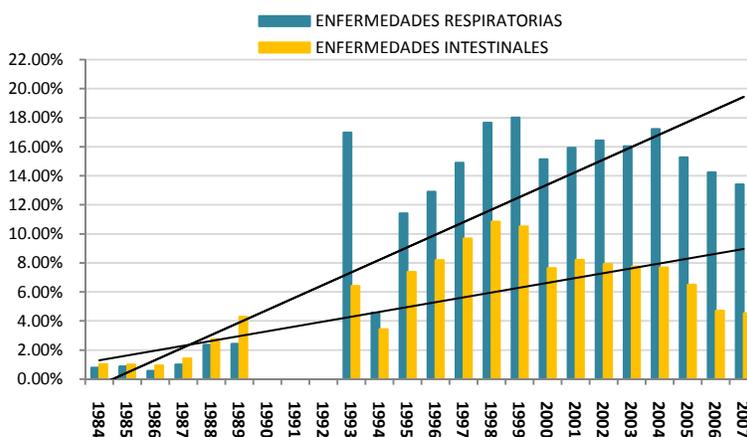


Gráfico 5.12 Tendencia de las enfermedades respiratorias e intestinales en el periodo 1984-2007

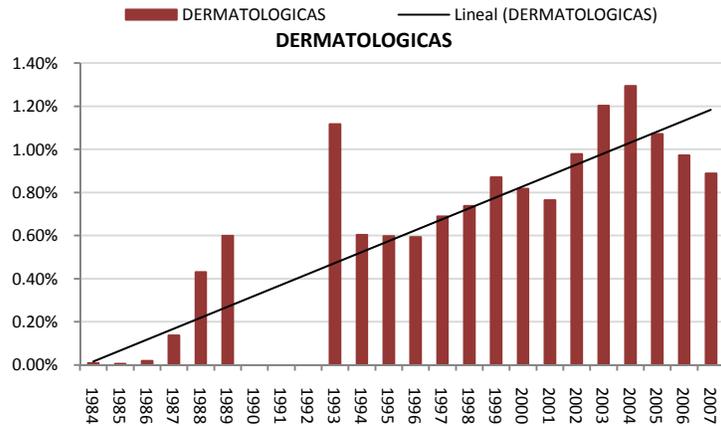


Grafico 5.13 Tendencia de las enfermedades en el periodo 1984-2007

Observación

De los resultados obtenidos se observa un incremento en todos los grupos de enfermedades, esto se comprueba estadísticamente con las pruebas de homogeneidad de Cramer, t de Student y Mann-Kendall (Anexo G2) , en las graficas 5.12 y 5.13 se aprecia cada grupo de enfermedades en porcentaje del total de la población del estado de Chiapas puesto que es significativa su tendencia a crecer y esta misma conducta se tiene en las variables climatológicas, de acuerdo a varios investigadores el incremento de este tipo de enfermedades son debidas al cambio en el patrón del clima(Emily K. Shuman, M.D.,2010) .

Conclusiones

Los resultados del análisis mediante las pruebas de homogeneidad de Cramer, *t* de Student y Mann-Kendall de las variables climatológicas, demostraron que la Costa de Chiapas ha sufrido variación en el patrón de comportamiento climático.

La temperatura mínima presenta menores áreas de tendencias positivas; mismas que aumentan en la temperatura máxima, con lo cual se comprueba liberación de calor por las noches que son reflejadas en la tendencia de incremento de la temperatura mínima. En promedio, la costa de Chiapas del registro de 1960 a 1983 comparado con el registro de 1984 al 2007 reveló que en la temperatura mínima el verano tiene un decremento de 0.44°C y el invierno de 0.19° ; en cambio en la temperatura máxima el verano tiene un incremento de 0.20°C y en invierno de 0.32°C , esto muestra que los veranos y los inviernos son más cálidos en la temperatura máxima y más fríos para la temperatura mínima.

En el análisis de olas de calor de las temperaturas, se tiene que la ola de calor más frecuente es la de duración de dos días, con una frecuencia del 41% en la temperatura media; los municipios más afectados son Arriaga, Tonalá, Frontera Hidalgo y Villa Comaltitlán y los menos afectados son la parte este de Motozintla, la parte norte de Tapachula, Cacahoatán y Unión Juárez.

Para la temperatura máxima los movimientos más significativos se presentaron en el municipio de Mazatán, ya que para el mes de septiembre se incrementó de 1.16°C , en tanto que en el municipio de Mapastepec se redujo 0.87°C en el mes de marzo. En la temperatura media el municipio de Mazatán se incrementó de 1.59°C en el mes de enero y se redujo 1.49°C para el mes de marzo en el municipio de Suchiate. Finalmente, para el caso de la temperatura mínima el mayor incremento se obtuvo en el municipio de Mazatán para el mes de diciembre con 1.29°C ; y disminuyó para el mes de junio 1.62°C en Chahuites, municipio de Oaxaca.

La parte sur de la Costa de Chiapas ha sufrido incremento del máximo acumulado anual de 2 a 10 días consecutivos de lluvia. La presencia de los eventos extremos ocurridos en los últimos años ha tenido relevancia en la construcción de las curvas de intensidad de lluvia-duración-periodo de retorno, ya que al calcular estas curvas considerando los registros de 1960 a 1993 y compararlos con aquellos obtenidos con el registro de 1960 a 2007, los eventos aumentaron gradualmente teniendo en promedio un 22% para un periodo de retorno de 100 años, lo que indica la necesidad de actualizar continuamente el cálculo de ellas, puesto que repercutirán en el diseño de obras hidráulicas. Se recomienda revisar los sistemas de alcantarillados municipales, vertedores, puentes, sistemas de drenaje agrícola y otras obras hidráulicas que requirieron de dichas curvas para su diseño en un periodo anterior al año 1993.

Por otro lado, del análisis de tendencias del número de días con lluvia de diferente magnitud (de acuerdo a la clasificación de CONAGUA) se observa que en general han aumentado aquellos con lluvia cero e incrementado con lluvias torrenciales, lo que provoca un aumento potencial de inundaciones, deslaves, erosión y otros daños severos.

En la variable evaporación se obtuvo un notable incremento en el máximo anual acumulado de 2 a 10 días consecutivos en la parte noroeste de la Costa de Chiapas.

Finalmente, del análisis de la tasa de morbilidad se observó un incremento en enfermedades respiratorias, intestinales y dermatológicas. Esto es debido al incremento en la tendencia de la temperatura como afirman varios investigadores y según la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Esto trae consigo posibles consecuencias de enfermedades cardíacas y respiratorias debido a las olas de calor; transmisión de enfermedades infecciosas por aumento de temperatura ya que la tasa de reproducción y supervivencia de Protozoos, virus y de insectos se ve afectada por las fluctuaciones de temperatura. En la parte social se tendría una mala nutrición por cosechas insuficientes afectando la economía de aquellos municipios más perturbados por esta variación en la temperatura, estos son sólo algunos ejemplos de cómo variaciones en el clima afectan al hombre.

De las anomalías del clima según la Organización Meteorológica Mundial (OMM) se tiene la incidencia de malaria en Sudamérica, el dengue en Tailandia, el síndrome pulmonar por Hantavirus en el suroeste de Estados Unidos, las diarreas infantiles en Perú o el cólera en Bangladesh.

Con este análisis se concluye que ya se observan cambios en el patrón climatológico de la Costa de Chiapas, que pueden afectar seriamente en el corto plazo las actividades económicas y sociales de sus habitantes, por lo que es necesario que las autoridades competentes tomen las medidas pertinentes para lograr el desarrollo sustentable de las cuencas.

Referencias

- Carlos A. Escalante Sandoval (2006) **Análisis del patrón de lluvias en la Costa de Chiapas** Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ramesh S. V. Teegavarapu (2009). **Estimation of missing precipitation records integrating surface interpolation techniques and spatio-temporal association rules** Department of Civil Engineering, Florida Atlantic University, 777 Glades Road, Boca Raton, FL 33431-0991, USA
- E. Correat*; C. De Rosa²*; G. Lesino^{2**}. (2006). **Consecuencias de la urbanización sobre el clima. Distribución de los perfiles de humedad dentro del área metropolitana de Mendoza.** * Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. LAHV-INCIHUSA CRICYT-CONICET, **INENCO - Instituto de Investigaciones en Energías No Convencionales – U.N.Sa.– CONICET. Universidad Nacional de Salta. Avda. Bolivia
- Domitilo Pereyra-Díaz, José Antonio A. Pérez-Sesma y Leonorilda Gómez-Romero (2004). **Ecuaciones que estiman las curvas intensidad-duración-período de retorno de la lluvia.** Carrera de Ciencias Atmosféricas de la Facultad de Instrumentación Electrónica, Universidad Veracruzana Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria, Xalapa, Veracruz, 91000, México E-mail:dpereyra@uv.mx
- T. Vincenty (1975) **Direct and inverse solutions of geodesics on the ellipsoid with application of nested equations.** DMAAC Geodetic Survey Squadron F. E. Warren AFB, Wyoming 82001.
- Emily K. Shuman, M.D. **Global Climate Change and Infectious Diseases.** The New England Journal of Medicine Massachusetts Medical Society. All rights reserved.
- Jaime Cerda L., Gonzalo Valdivia C., M. Teresa Valenzuela B. y Jairo Venegas L. **Cambio climático y enfermedades infecciosas. Un nuevo escenario epidemiológico.** Pontificia Universidad Católica de Chile Facultad de Medicina Departamento de Salud Pública (GVC) Programa de Especialidad en Salud Pública (JCL) Universidad de los Andes Facultad de Medicina Departamento de Salud Pública y Epidemiología (MTVB) Universidad de Chile Facultad de Medicina Escuela de Salud Pública Programa de Doctorado en Salud Pública (JVL).
- Peter J. Robinson: **on the definition of a heat wave.** department of geography, university of north carolina at chapel hill, chapel hill, north carolina (manuscript received 6 january 2000, in final form 16 august 2000).
- Silvia P. Pérez*, Eduardo M. Sierra*, Marcelo J. Massobrio * y Fernando R. Momo** **Análisis fractal de la precipitación anual en el este de la Provincia de La Pampa** Argentina * Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires Avda. San Martín 4453 (C1417DSE) Buenos Aires, Argentina ** Instituto de Ciencias de la Universidad de General Sarmiento. Juan M. Gutiérrez 1150 Los Polvorines. Buenos Aires, Argentina Publicado: 22-Oct-2009)

Bibliografía

Escalante Sandoval, Carlos A. Reyes Chávez Lilia. *Técnicas estadísticas en hidrología*. México, UNAM, Facultad de Ingeniería, 2005.

D.F. Campos Aranda. *Procesos del ciclo hidrológico* México, UASP, Facultad de ingeniería, 1998

William Mendenhall / Robert J. Beaver et al. *Introducción a la probabilidad y estadística* México, International Thompson, 2002.

Chow Ven Te. *Hidrología aplicada* Austin, Texas, University of Illinois, Urbana Champaign, 1994.

Organización Meteorológica Mundial *guía de prácticas hidrológicas*

Aparicio Mijares Francisco Javier *fundamentos de hidrología superficial* México, 1992

Editorial tláloc amh no. 37

monmonier mark schnell george a. *Map appreciation* New Jersey, Prentice Hall, 1988

Spiegel Murray r. *probabilidad y estadística* Antiguo director del departamento de matemáticas Renssealaer Polichnic Institute

thomas r.-d reiss m. *statistical analysis of extreme values* Germany Universität Siegen Walter-Flex-Str. 3 57068 Siegen

Wiki pedía (enciclopedia libre)

Esri. arcgis 9.2, 2007. www.esri.com