

Análisis de tendencia de las variables hidroclimáticas de la Costa de Chiapas*

Trend analysis of hydroclimatic variables of the Coast of Chiapas

Carlos Escalante-Sandoval¹ y Leonardo Amores-Rovelo^{1§}

¹Facultad de Ingeniería-UNAM. Edificio T, Bernardo Quintana Arrijoa, 1^{er}. piso. Tel. (55) 5622-3279. Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, México, D. F. C. P. 04510. (caes@unam.mx). [§]Autor para correspondencia: leonardo_amores@hotmail.com.mx.

Resumen

La región denominada Costa de Chiapas ha sido afectada por algunos periodos de estiaje y por inundaciones, los cuales han causado serios daños económicos y sociales. Se ha considerado al proceso de deforestación como la principal causa de este hecho. Sin embargo, se debe tomar en cuenta la variación espacial y temporal de las variables hidroclimatológicas. Con este propósito se ha recolectado la información de lluvia, temperatura máxima y mínima de 51 estaciones climatológicas para el periodo 1960- 2010, así como los escurrimientos de 12 estaciones hidrométricas del periodo 1964 a 2005. El análisis de tendencia de las series de tiempo anuales (año agrícola) y estacionales (primavera-verano y otoño-invierno) de precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, evapotranspiración y escurrimientos, se realizó con la prueba estadística no paramétrica de Mann-Kendall. Se detectó que la mayor parte de la Costa de Chiapas presenta tendencias en las series. Éstos resultados deberán tomarse en cuenta para adoptar medidas de protección contra la ocurrencia más persistente de las inundaciones pluviales y fluviales, así como las medidas de mitigación contra el incremento de las temperaturas máximas que afectan la salud de los seres vivos, y de la evapotranspiración que incrementa la demanda de agua en la agricultura.

Palabras claves: series de tiempo, test de Mann-Kendall, variabilidad climática.

Abstract

The region called Chiapas Coast has been affected by some periods of drought and floods, which have caused serious economic and social damage. It was considered to deforestation as the main cause of this. However, we consider the spatial and temporal variation of hydroclimatic variables. For this purpose it has been collected the information of rainfall, maximum and minimum temperature of 51 weather stations for the period 1960-2010 and 12 runoff gauging stations for the period 1964-2005. The trend analysis of annual time series (agricultural year) and seasonal (spring-summer and autumn-winter) of precipitation, maximum temperature, minimum temperature, evapotranspiration and runoff, performed with the nonparametric statistical test Mann-Kendall. It was found that most of the Chiapas Coast presents trends in the series. These results should be taken into account to take protective measures against the most persistent occurrence of pluvial and fluvial flooding and mitigation measures against the increase in maximum temperatures that affect the health of living beings, and evapotranspiration increases the demand for water in agriculture.

Key words: time series, Mann-Kendall, climate variability.

* Recibido: mayo de 2013
Aceptado: noviembre de 2013

Introducción

Aunque el planeta ha experimentado un incremento exponencial en las pérdidas humanas por desastres naturales (Neil *et al.*, 2003), persisten los debates sobre el aumento en la frecuencia e intensidad de los eventos meteorológicos extremos, más aun si se puede atribuir al cambio climático; el incremento en la ocurrencia de huracanes, frentes fríos, inundaciones y sequías (Houghton *et al.*, 1996).

Los impactos de la variabilidad del clima se han sentido significativamente en la agricultura, ganadería, el suministro de agua y la generación de energía, afectando social y económicamente a las comunidades alrededor del mundo.

En las fases de planeación y manejo de los recursos hídricos se considera que los procesos hidrológicos son invariantes en el tiempo y donde el pasado se asume como representativo del futuro. Sin embargo, tal consideración de estacionariedad puede ser no válida debido a la variabilidad natural y los cambios antropogénicos inducidos en el sistema climático (Milly *et al.*, 2008).

Las complejas interacciones en el sistema océano-atmósfera-suelo pueden ser evaluadas a través de las variables climáticas de precipitación, temperatura y escurrimiento (Lastra *et al.*, 2008; Macías, 2007; Giménez y Lanfranco, 2012). Por lo que la investigación de los patrones y posibles cambios en la tendencia de estas variables a escala espacio-temporal ayuda a generar medidas de planeación, mitigación y la evaluación de la resiliencia del ecosistema hacia tal variabilidad. Moron *et al.* (1992) recomienda que para el análisis de tendencias de series climáticas se requiere contar con al menos 30 años de registros continuos.

El presente estudio tiene como objetivo el analizar si existe o no un cambio en las tendencias de las variables hidroclimáticas de la región denominada "Costa de Chiapas", la cual se ve afectada por inundaciones, sequías y altas temperaturas. Los resultados permitirán contar con un instrumento de planeación para el manejo adecuado de los recursos hídricos de la región, que impactarán en el control de inundaciones, el rendimiento de los cultivos, la ganadería, la producción de energía y el manejo de los ecosistemas.

Introduction

Although the planet has experienced an exponential increase in the human losses from natural disasters (Neil *et al.*, 2003), there are still debates about the increased frequency and intensity of extreme weather events, more so if it can be attributed to climate change, the increase in the occurrence of hurricanes, cold fronts, floods and droughts (Houghton *et al.*, 1996).

The impacts of climate variability have felt significantly in agriculture, livestock, water supply and power generation, socially and economically affected communities around the world.

In the early stages of planning and management of water resources is considered hydrological processes are invariant in time and where the past is assumed to be representative of the future. However, such consideration of stationarity may be invalid due to natural variability and anthropogenic induced changes in the climate system (Milly *et al.*, 2008).

The complex interactions in the ocean-atmosphere-soil can be evaluated through the climatic variables of precipitation, temperature and runoff (Lastra *et al.*, 2008; Macías, 2007; Giménez and Lanfranco, 2012). So the investigation of the patterns and possible changes in the trend of these variables spatiotemporal scale helps generate measures of planning, mitigation and assessment of ecosystem resilience to such variability. Moron *et al.* (1992) recommends that for the analysis of trends in climate series is required to have at least 30 years of continuous records.

The present study aims to analyze whether or not a change in the trends of hydroclimatic variables in the region called "Coast of Chiapas", which is affected by floods, droughts and high temperatures. The results will have a planning tool for the proper management of water resources in the region, which will impact on flood control, the yield of crops, livestock, energy production and ecosystem management.

Study area

The state of Chiapas is located in the southeast of Mexico, 75 634.4 km². It is composed of 118 municipalities grouped into nine economic regions: Center, Altos, Border, Frailesca,

Zona de estudio

El estado de Chiapas se localiza en el sureste de la República Mexicana, cuenta con 75 634.4 km² de superficie. Está conformado por 118 municipios agrupados en nueve regiones económicas: Centro, Altos, Fronteriza, Frailesca, Norte, Selva, Sierra, Soconusco e Istmo-Costa. Limita al norte con el estado de Tabasco, al este con la República de Guatemala, al sur con el océano Pacífico y al oeste con los estados de Oaxaca y Veracruz.

La región denominada Costa de Chiapas se localiza en la vertiente del océano Pacífico en los estados de Chiapas y Oaxaca, y comprende desde el río Tapanatepec hasta el Suchiate. Abarca desde los 14° 30' a los 16° 33' de latitud norte y de los 92° 4' a los 94° 19' de longitud oeste. Tiene una superficie total de 13 591 km². 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. Por su economía la región se puede agrupar en dos zonas la VIII Soconusco y IX Istmo Costa.

Los ríos de la región son de longitud corta y área de cuenca pequeña, con un recorrido general de noroeste a sureste, atravesando la faja de la región en su longitud más angosta. Por la estructura peculiar de esta vertiente se originan corrientes con pendiente muy fuerte en la fase inicial de su recorrido y de pendiente muy suave en el tramo final. La lluvia media anual de la zona es de 2 650 mm, y se concentra en los meses de mayo a octubre, temporada en la que llueve 90% del total anual. La temperatura media anual oscila entre 22.5 °C a 28.5 °C. La lámina de evaporación media anual en la región es de 1 670 mm.

El proceso de deforestación y degradación de los bosques y selvas de Chiapas se ha agudizado en las últimas décadas, generado por la tala de maderas preciosas y la creciente demanda de suelos para la agricultura y ganadería. Estas modificaciones han generado un incremento sustantivo en el potencial de inundación y la pérdida de suelos por erosión hídrica, además de reducir la infiltración hacia el subsuelo.

Un primer paso para el manejo integral de las cuencas de la zona, lo representa el conocimiento profundo del comportamiento de las variables del ciclo hidrológico. Es importante determinar si las lluvias, temperaturas máximas y mínimas, además del escurrimiento superficial han sufrido o no cambio en el patrón de ocurrencia, no sólo en la periodicidad sino también en cuanto a su magnitud.

North, Selva, Sierra, Soconusco and Istmo-Costa. Bordered on the north by the state of Tabasco, on the east by the Republic of Guatemala, on the south by the Pacific Ocean and on the west by the States of Oaxaca and Veracruz.

The region called Costa de Chiapas is located on the Pacific Ocean side in the states of Chiapas and Oaxaca, and ranges from the river until Suchiate, Tapanatepec. It ranges from 14° 30' to 16° 33' north latitude and 92° 4' to 94° 19' west longitude. It has a total area of 13 591 km². The coastal climate is warm subtropical with summer rains, vegetation is lowland deciduous forest and thorny or in river valley. On the regional economy can be grouped into two zones VIII Soconusco and IX Istmo Costa.

The rivers of the region are of short length and small catchment area, with a general tour of northwest to southeast, crossing the strip of the region narrower in length. By the peculiar structure of this slope currents originate very steep slope in the initial phase of their journey and very gentle slope in the final stretch. The average annual rainfall in the area is 2 650 mm, and is concentrated in the months of May to October rainy season in which 90% of the total a year. The average annual temperature ranges from 22.5 °C to 28.5 °C. The average annual evaporation sheet in the region is 1 670 mm.

The deforestation and degradation of forests and jungles of Chiapas has worsened in recent decade's generated logging of precious woods and the growing demand for land for agriculture and livestock. These changes have led to a substantial increase in the potential of flooding and soil loss by water erosion and reduce infiltration into the ground.

A first step for integrated watershed management in the area, it is the deep knowledge of the behavior of the variables of the hydrological cycle. It is important to determine if the rains, maximum and minimum temperatures, and surface runoff have suffered or change in the pattern of occurrence, not only in frequency but also in terms of its magnitude.

Information available

For this study, information has daily precipitation, maximum and minimum temperature of 51 weather stations for the period 1960-2010 (Figure 1 and

Información disponible

Para este estudio se cuenta con la información de precipitación diaria, temperatura máxima y mínima de 51 estaciones climatológicas para el periodo 1960-2010 (Figura 1 y Cuadro 1). Respecto a la información hidrométrica, se tienen disponibles 12 estaciones de aforos para el periodo 1964-2005 (Figura 2 y Cuadro 2).

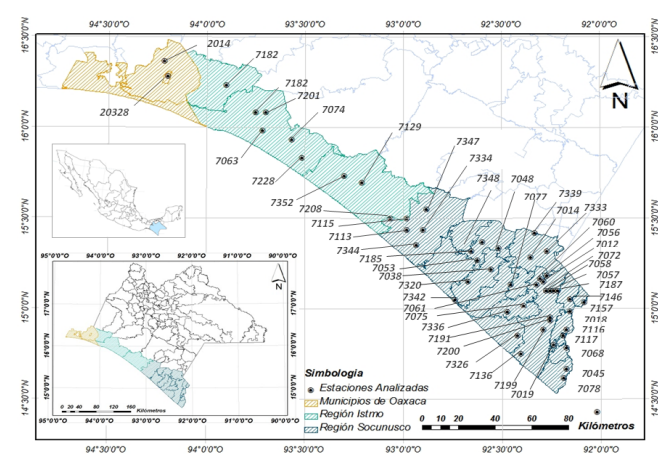


Figura 1. Localización de las estaciones climatológicas en la región Costa de Chiapas.
Figure 1. Location of the weather stations in the coastal region of Chiapas.

Cuadro 1. Estaciones climatológicas de la Costa de Chiapas empleadas en este estudio.
Table 1. Weather stations of the Chiapas Coast used in this study.

Estación	Nombre	Latitud grados	Longitud grados	Altura (msnm)	Estación	Nombre	Latitud grados	Longitud grados	Altura (msnm)
7012	Finca Argovia	15.15	92.30	620	7146	San Jerónimo Unión J.	15.05	92.17	612
7014	Belisario	15.28	92.37	660	7157	Santo Domingo (dge)	15.03	92.08	1300
7018	Dominguez	14.98	92.17	350	7168	Tonalá	16.08	93.75	55
7019	Cacahoatan	14.80	92.25	350	7182	Arriaga	16.23	93.90	64
7038	Suchiate	14.80	92.25	350	7185	Escuintla	15.32	92.67	110
7045	Despoblado	15.22	92.57	60	7187	La Patria	15.10	92.22	900
7048	El Dorado	14.67	92.18	9	7191	Malpaso	14.95	92.27	303
7048	Finca el Triunfo	15.33	92.52	971	7199	Tanque Regulador	14.88	92.30	572
7053	Escuintla	15.27	92.63	110	7200	Tapachula	14.93	92.27	179
7056	Finca Chiripa	15.18	92.28	750	7201	Tonalá	16.08	93.70	17
7057	Finca Chicharras	15.10	92.25	1264	7208	El Novillero	15.50	92.98	90
7058	El Perú	15.10	92.27	800	7228	Tres Picos	15.83	93.52	55
7060	Finca Génova	15.17	92.32	880	7320	Salvación	15.15	92.68	141
7061	Hamburgo	15.13	92.33	1225	7326	Mazatán	14.85	92.43	15
7068	Frontera Hidalgo	14.78	92.18	60	7333	Buenos Aires	15.32	92.28	260
7072	Las Maravillas	15.10	92.28	660	7334	Francisco Sarabia	15.43	92.98	570
7073	San Cristóbal	15.98	93.72	38	7336	Plan de Iguala,	14.98	92.48	38
7074	Horcones	15.93	93.57	140		Huehuetan			
7075	Huehuetan	15.02	92.40	44	7339	El Porvenir	15.42	92.33	800
7077	Huixtla	15.13	92.47	40	7342	Benito Juárez	15.05	92.75	540

Table 1). Regarding hydrometric information available 12 gauging stations for the period 1964-2005 (Figure 2 and Table 2).

The location of the municipalities (Table 3) belonging to the Soconusco and Istmo region are presented in Figure 3.

Trend analysis

In order to detect trend (increase or decrease) Mann-Kendall test has been applied (Mann 1945, Kendall, 1975) to series of cumulative (precipitation, evapotranspiration and runoff) and averages (maximum and minimum temperature) in the agricultural cycle (October-September), spring-summer (April to September) and autumn-winter (October to March). The interpolation of the maps was by the method of inverse distance weighted (IDW) (Díaz *et al.*, 2008). The trend in the variable rainfall series was obtained during the periods accumulated spring-summer and autumn-winter crop year. Maps were constructed trends shown in Figures 4 to 7. The percentage of area in each municipality trend was obtained from the contribution of the area of influence of each station (Table 1) using the Thiessen polygons.

Cuadro 1. Estaciones climatológicas de la Costa de Chiapas empleadas en este estudio (Continuación).
Table 1. Weather stations of the Chiapas Coast used in this study (Continuation).

Estación	Nombre	Latitud grados	Longitud grados	Altura (msnm)	Estación	Nombre	Latitud grados	Longitud grados	Altura (msnm)
7078	Ignacio López Rayón	14.62	92.20	7	7344	Ejido Ibarra Mapastepec	15.35	92.93	60
7113	Mapastepec	15.43	92.90	32	7347	Guadalupe Victoria	15.55	92.88	211
7115	Margaritas	15.50	93.07	80	7348	Independencia Chiapas	15.37	92.60	7
7116	Medio Monte	14.88	92.18	190	7352	San Diego	15.73	93.30	840
7117	Metapa	14.85	92.20	93	20148	San Pedro Tapanatepec	16.37	94.22	35
7129	Pijijiapan	15.37	92.25	1728	20328	Chahuities	16.28	94.20	35
7136	Pto.madero	14.75	92.42	4					

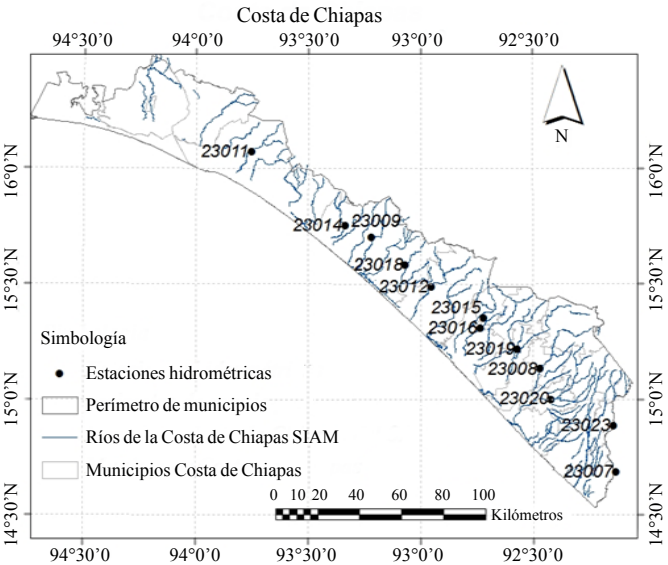


Figura 2. Ubicación de las estaciones hidrométricas en la región Costa de Chiapas.
Figure 2. Location of hydrometric stations in the coastal region of Chiapas.

Cuadro 2. Estaciones hidrométricas de la Costa de Chiapas empleadas en este estudio.
Table 2. Hydrometric stations Chiapas Coast used in this study.

Estación	Nombre	Latitud grados	Longitud grados
23007	Suchiate	14.683	92.133
23008	Huixtla	15.133	93.467
23009	Pijijiapan	15.700	93.216
23011	Tonalá	16.071	92.750
23012	Novillero	15.487	93.950
23014	San Diego	15.750	92.333
23015	Cacaluta	15.350	92.716
23016	Cintalapa	15.308	91.733
23018	Margaritas	16.321	92.979
23019	Despoblado	15.217	92.567
23020	Huehuetan	15.000	92.417
23020	Talismán	14.883	92.142

Cuadro 3 Municipios de la región Costa de Chiapas.
Table 3. Municipalities of Chiapas coast region.

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

La localización de los municipios (Cuadro 3) pertenecientes a la región Soconusco e Istmo se presentan en la Figura 3.

Análisis de tendencia

Para detectar tendencia (incremento o decremento) se ha aplicado la prueba de Mann-Kendall (Mann 1945; Kendall, 1975) a las series de acumulados (precipitación, evapotranspiración y escurrimiento) y promedios (temperatura máxima y mínima) en el año agrícola (octubre-septiembre), primavera-verano (abril- septiembre) y otoño-invierno (octubre-marzo). La interpolación de los mapas fue mediante el método de distancia inversa ponderada (IDW) (Díaz *et al.*, 2008). La tendencia en la variable precipitación de lluvia se obtuvo de series acumuladas en los periodos primavera-verano, otoño-invierno y año agrícola. Se construyeron mapas de tendencias mostrados en las Figuras 4 a 7. El porcentaje de área de tendencia en cada municipio se obtuvo de la aportación del área de influencia de cada estación (Cuadro 1) mediante los polígonos de Thiessen.

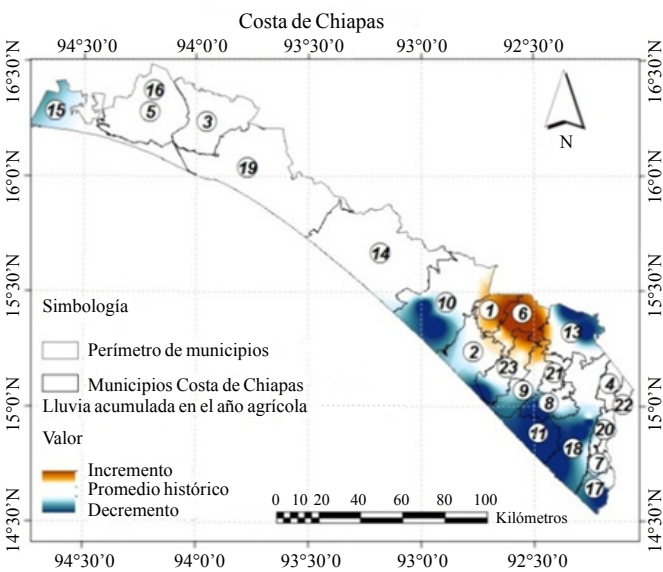


Figura 4. Tendencia en la lluvia acumulada en el año agrícola.
Figure 4. Trends in rainfall during the agricultural year.

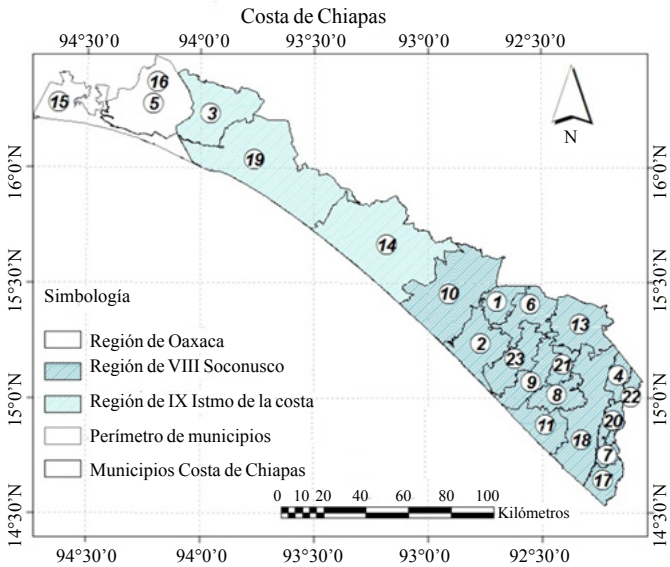


Figura 3. Ubicación de los municipios de la región Costa de Chiapas.
Figure 3. Location of the municipalities of the coastal region of Chiapas.

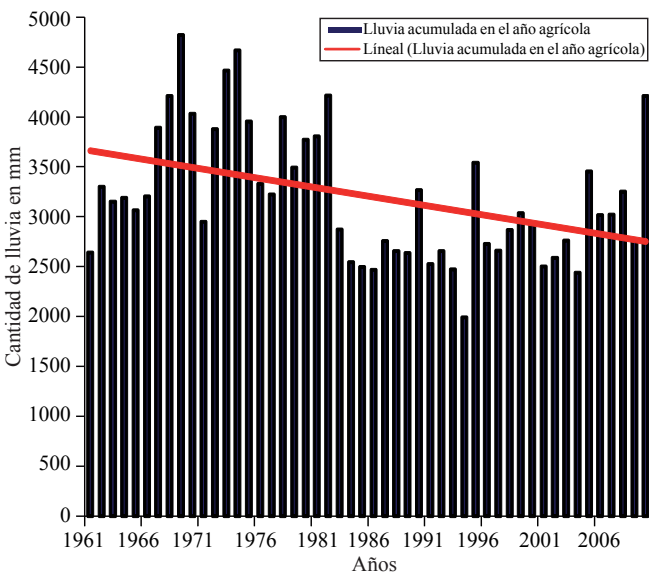


Figura 5. Tendencia en la lluvia acumulada en el año agrícola.
Figure 5. Trends in rainfall during the agricultural year.

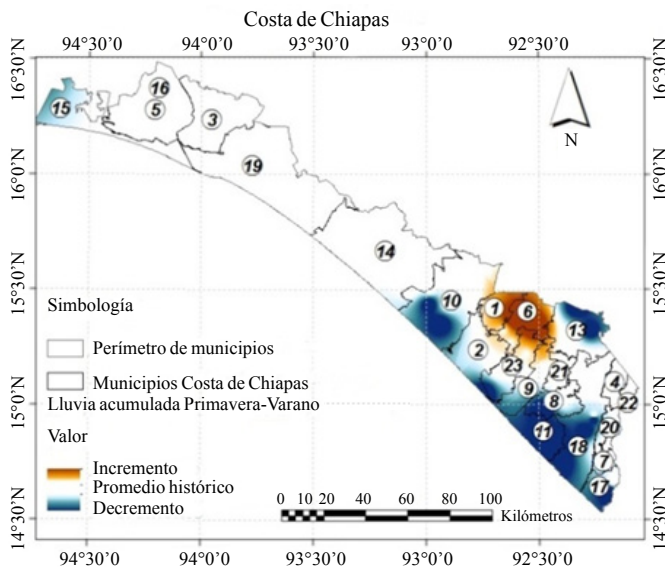


Figura 6. Tendencia en la lluvia acumulada en primavera-verano.
Figure 6. Trends in rainfall during spring and summer.

La tendencia en la temperatura máxima y mínima se obtuvo a partir de las series promedios en primavera-verano, otoño-invierno y año agrícola a las cuales se les aplicó la prueba de Mann-Kendall para detectar tendencia (Figuras 8 a 13).

La evapotranspiración fue calculada mediante el método de Turc a partir de la temperatura media en el periodo del año agrícola y se evaluó mediante la prueba de Mann-Kendall para detectar tendencia (Figuras 14 y 15).

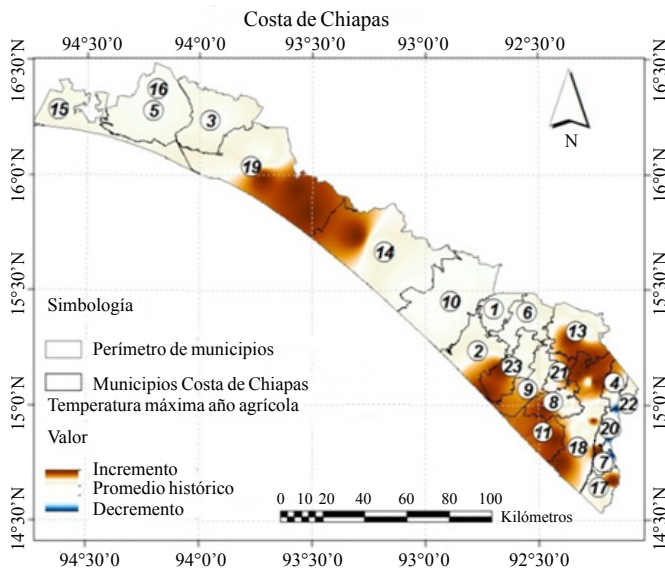


Figura 8. Tendencia en la temperatura máxima del promedio año agrícola.
Figure 8. Trend in the average maximum temperature of the agricultural year.

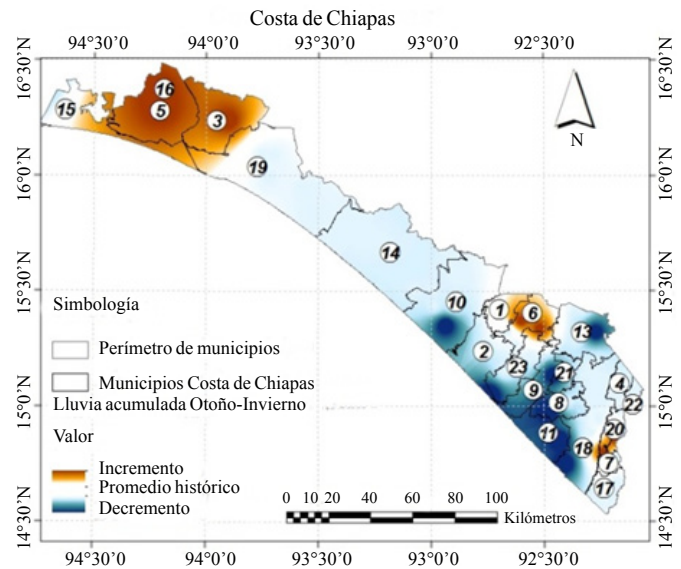


Figura 7. Tendencia en la lluvia acumulada en otoño-invierno.
Figure 7. Trends in rainfall during spring and summer.

The trend in maximum and minimum temperature were obtained from the series averages in spring-summer and autumn-winter crop year to which we applied the Mann-Kendall test to detect trend (Figures 8-13).

Evapotranspiration was calculated using the Turc method from the average temperature in the agricultural year period and evaluated by the Mann-Kendall test to detect trend (Figures 14 and 15).

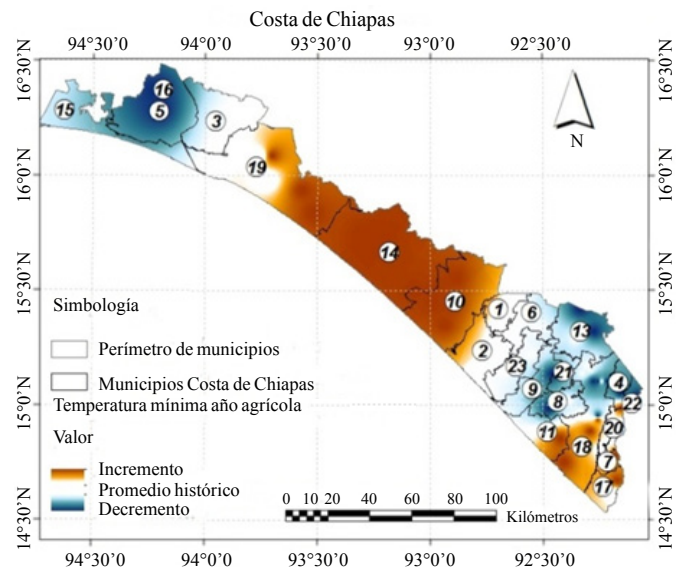


Figura 9. Tendencia en la temperatura mínima del promedio año agrícola.
Figure 9. Trend in average minimum temperature of the agricultural year.

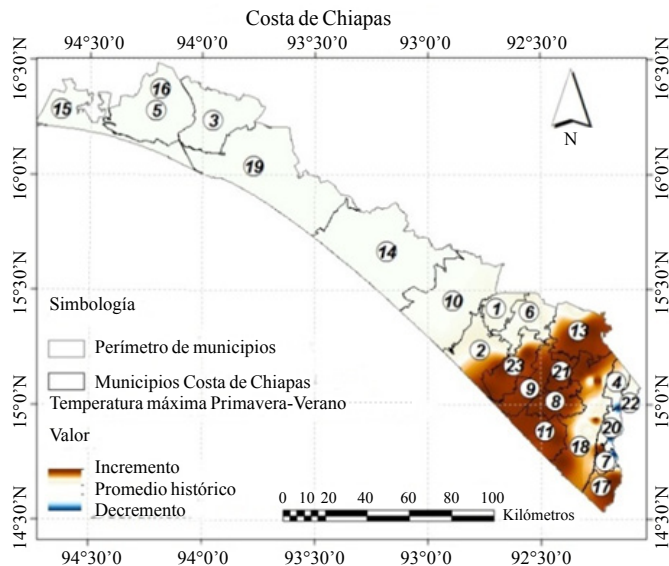


Figura 10. Tendencia en la temperatura máxima promedio en primavera-verano.

Figure 10. Trend in the average high temperature in spring and summer.

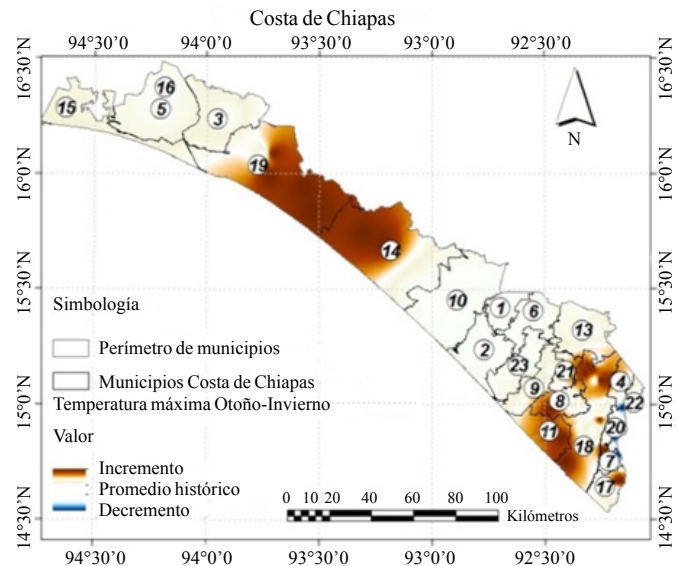


Figura 11. Tendencia en la temperatura máxima promedio en otoño-invierno.

Figure 11. Trend in the average high temperature in autumn-winter.

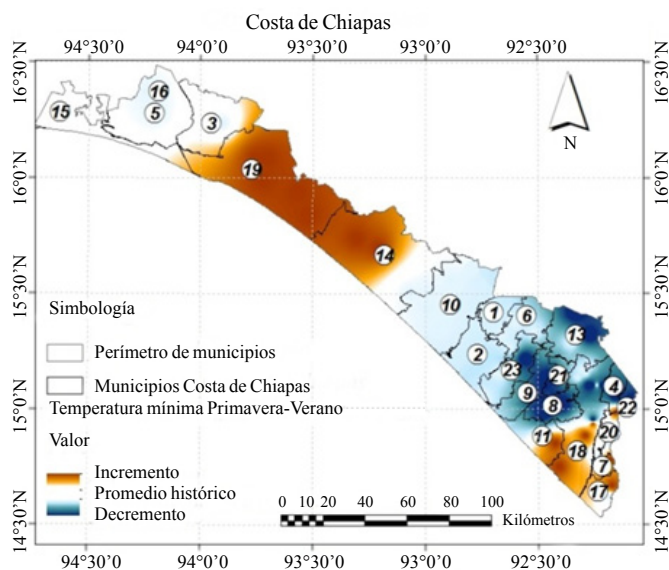


Figura 12. Tendencia en la temperatura mínima promedio en primavera-verano.

Figure 12. Trend in the average minimum temperature in spring and summer.

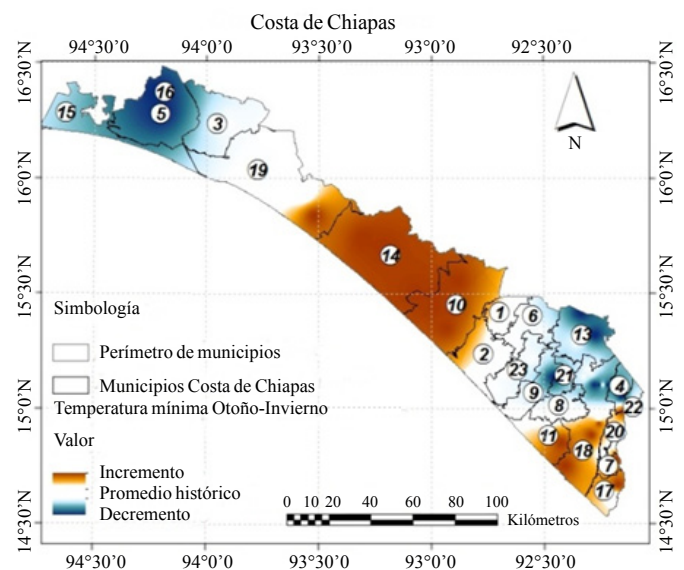


Figura 13. Tendencia en la temperatura mínima promedio en otoño-invierno.

Figure 13. Trend in the average minimum temperature in autumn-winter.

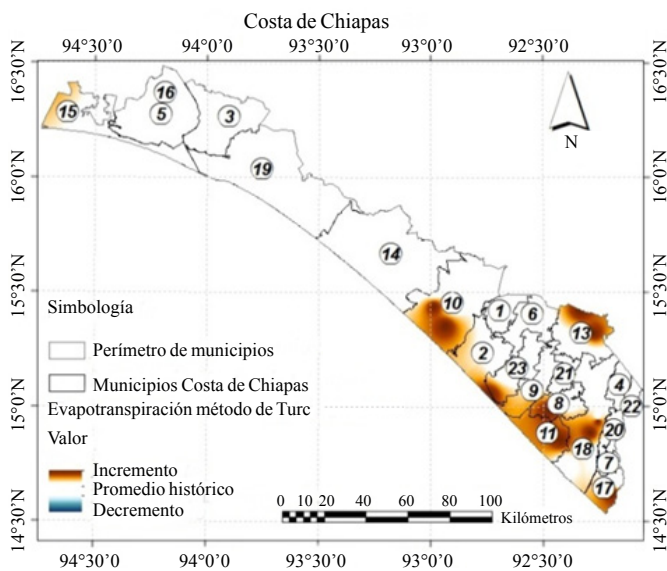


Figura 14. Tendencia del porcentaje de la evapotranspiración.
Figure 14. Trend in the percentage of evapotranspiration.

En una evaluación de la respuesta de la cuenca se ha analizado también las series de escurrimientos acumulados en el año agrícola (Figuras 16 y 17) mediante la prueba de Mann-Kendall.

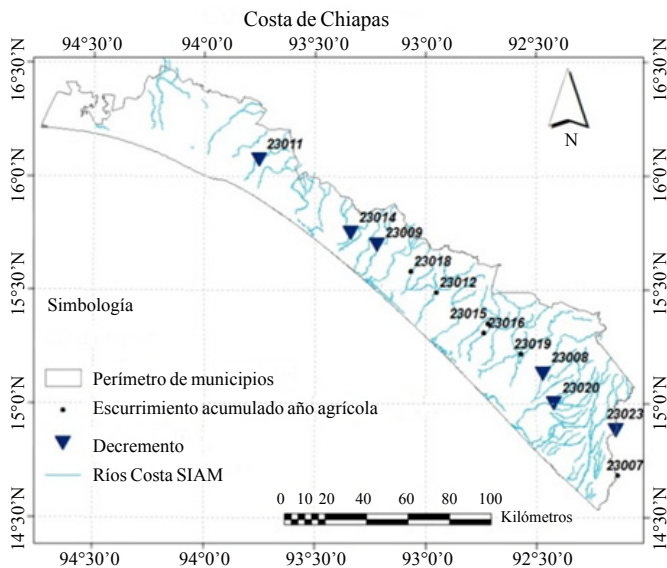


Figura 16. Tendencia del escurrimiento acumulado en el año.
Figure 16. Trend of runoff accumulated in the year.

En el análisis local se evaluó la evolución grafica de las temperaturas mínima y máxima (Figura 18 y 19) en el municipio de Tapachula. El promedio mensual del municipio se obtuvo mediante la aportación del área de influencia de cada estación de acuerdo a los polígonos de Thiessen.

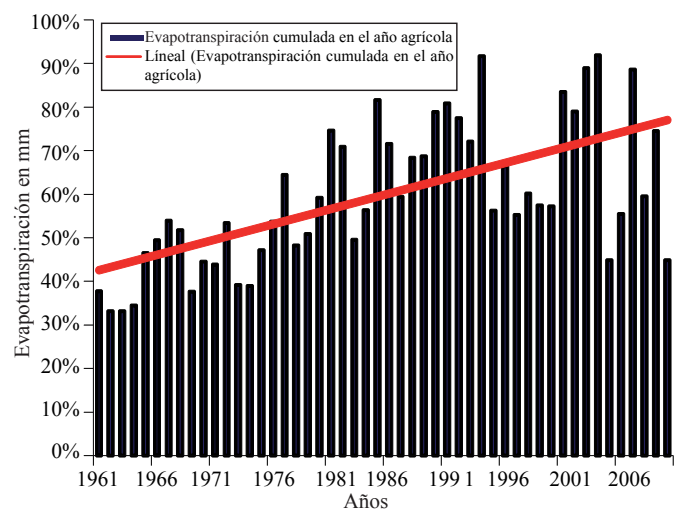


Figura 15. Tendencia del porcentaje de evapotranspiración de la estación 7336.

Figure 15. Trend in the percentage of evapotranspiration of 7336 season.

In an evaluation of the response of the basin has also analyzed the cumulative runoff series in the agricultural year (Figures 16 and 17) using the Mann-Kendall test.

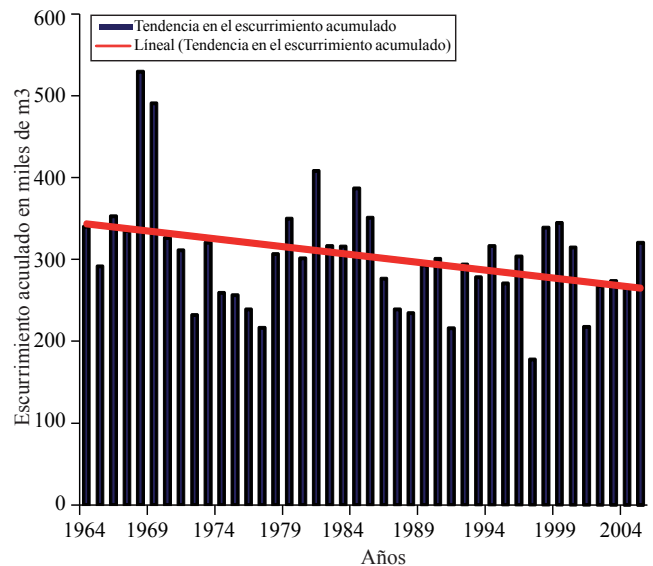


Figura 17. Tendencia en el escurrimiento acumulado en el año.
Figure 17. Trend in runoff accumulated in the year.

In the local analysis evaluated the evolution graph of the minimum and maximum temperatures (Figure 18 and 19) in the municipality of Tapachula. The monthly average municipality is obtained by providing the area of influence of each station according to Thiessen polygons.

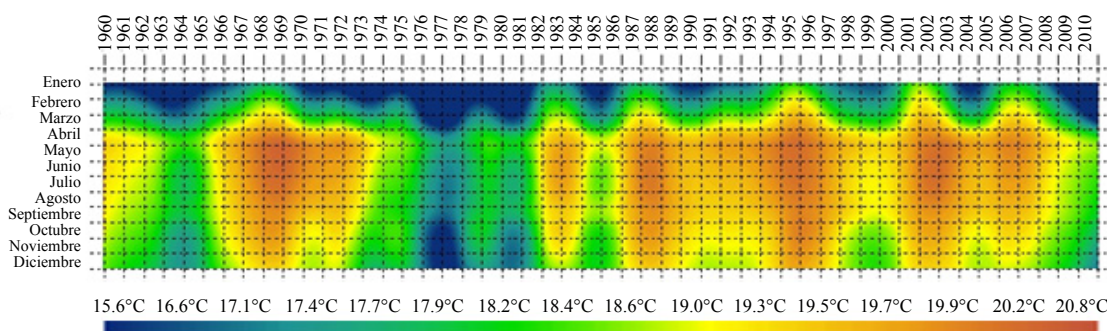


Figura 18. Tendencia mensual de la temperatura mínima en el municipio de Tapachula.

Figure 18. Trend monthly minimum temperature in the city of Tapachula.

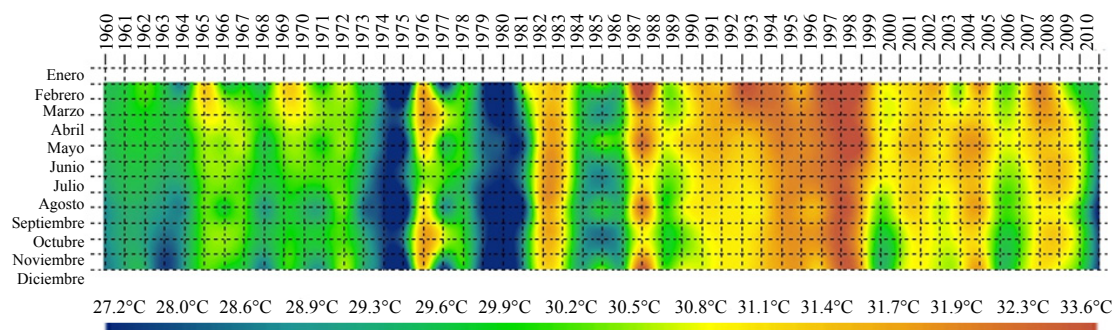


Figura 19. Tendencia mensual de la temperatura máxima en el municipio de Tapachula.

Figure 19. Trend monthly maximum temperature in the city of Tapachula.

Resultados

Tendencia en la lluvia

De la serie de acumulados de lluvia en el año agrícola se determinó que 12 de las 51 estaciones presentan decremento, la región que presenta una tendencia generalizada es el Soconusco (Figura 4) ya que 11 de 41 estaciones presentan decremento. Los municipios y sus respectivas tasas de decremento anual donde están ubicadas estas estaciones son Mapastepec (14 mm/año), Acapetahua (25 mm/año), Huehuetan (16 mm/año), Mazatán (20 mm/año), Tapachula (2mm/año) y Suchiate (2 mm/año).

También se encontró un incremento en 2 estaciones ubicadas en la región Soconusco en el municipio de Escuintla (33 mm/año). En la serie de acumulados primavera-verano y en otoño-invierno son 11 y 6 estaciones que superaron el nivel de confianza estadística de 95% con una tendencia negativa, también se encontraron 4 y 6 estaciones respectivamente con tendencia positiva. Es importante destacar que en promedio la región Soconusco tiene una tendencia negativa pues

Results

Trend in the rain

From the series of accumulated rainfall in the agricultural year was determined that 12 of the 51 stations have decreased, the region with the general trend is the Soconusco (Figure 4) and that 11 of 41 stations have decreased. The municipalities and their respective annual decrease rates where these stations are located Mapastepec (14 mm/year), Acapetahua (25 mm/year), Huehuetan (16 mm/year), Mazatán (20 mm/year), Tapachula (2mm/year) and Suchiate (2 mm/year).

We also found an increase in two stations located in the Soconusco region in the town of Escuintla (33 mm/year). The cumulative number of spring-summer and autumn-winter are 11 and 6 stations that exceeded the statistical confidence level of 95% with a negative trend also found 4 and 6 respectively with positive trend stations. Importantly Soconusco region on average has a negative trend as most of the municipalities that comprise showed decrease in the accumulated agricultural year, spring-summer and

gran parte de los municipios que la integran presentaron decremento en el acumulado en año agrícola, primavera-verano y otoño-invierno. En la Figura 5 se observa el decremento del acumulado en el año agrícola registrado en la estación 7199. Sin embargo, el factor que ha incrementado el potencial destructivo de este tipo de decremento en las lluvias es la degradación sistemática de las cuencas.

Tendencia en la temperatura mínima

Se observaron en promedio las mismas zonas con incremento y decremento en las series de promedio en año agrícola, primavera-verano y otoño-invierno (Figuras 9, 12 y 13). Principalmente en la región norte del Soconusco se presentó tendencia negativa en 24% de las estaciones de esa región. Los municipios con dichas estaciones con decremento son Motozintla ($0.1\text{ }^{\circ}\text{C/año}$), Tuzantán ($0.03\text{ }^{\circ}\text{C/año}$), Huehuetan ($0.01\text{ }^{\circ}\text{C/año}$), Cacahoatan ($0.03\text{ }^{\circ}\text{C/año}$) y Unión Juárez ($0.09\text{ }^{\circ}\text{C/año}$). Esta disminución podría indicarnos el aumento en la frecuencia e intensidad de olas de frío en la zona sierra, este es uno de los problemas que enfrenta la agricultura en zonas con temperaturas bajas afectando potencialmente su rendimiento.

Las zonas que presentaron tendencia positiva son principalmente los municipios al sur de la región sur del Soconusco y la región Istmo. La tasa de incremento para los municipios en la región Soconusco son; Mapastepec ($0.01\text{ }^{\circ}\text{C/año}$), Mazatán ($0.02\text{ }^{\circ}\text{C/año}$), Tapachula ($0.01\text{ }^{\circ}\text{C/año}$), Tuxtla Chico ($0.01\text{ }^{\circ}\text{C/año}$) y Frontera Hidalgo ($0.02\text{ }^{\circ}\text{C/año}$). De la región Istmo se tiene Tonalá ($0.01\text{ }^{\circ}\text{C/año}$) y Pijijiapan ($0.001\text{ }^{\circ}\text{C/año}$). Estos aumentos en las temperaturas de las noches, pueden incidir también negativamente, acelerando el metabolismo de las plantas, incrementando la tasa de respiración y finalmente ocasionando pérdidas en la calidad y productividad de diferentes cultivos (Alpi y Tognoni, 1991).

Tendencia en la temperatura máxima

Se observó una tendencia en general de incremento a lo largo de toda la Costa de Chiapas (Figuras 8, 10 y 11), en la región Soconusco y en la serie de temperatura promedio en año agrícola son 17 estaciones; esto es 41% de las estaciones en esta región; sin embargo, se obtuvo un mayor número de estaciones con tendencia positiva para la serie de promedios en primavera-verano con 21 estaciones, representando 51% de las estaciones en la región. Las estaciones que presentaron éste incremento en la región Soconusco son Villa Comaltitlán ($0.01\text{ }^{\circ}\text{C/año}$), Huehuetan ($0.02\text{ }^{\circ}\text{C/año}$), Mazatán ($0.01\text{ }^{\circ}\text{C/año}$),

autumn-winter. Figure 5 shows the cumulative decrease of the agricultural year 7199 recorded at the station. However, the factor that has increased the destructive potential of this type of decrease in rainfall is the systematic degradation of watersheds.

Minimum temperature trend

Average were observed in the same areas with increase and decrease in the series of average agricultural year, spring-summer and autumn-winter (Figures 9, 12 and 13). Mainly in the northern region of Soconusco negative trend appeared in 24% of the stations in the region. Municipalities with such stations are Motozintla decrease ($0.1\text{ }^{\circ}\text{C/year}$), Tuzantán ($0.03\text{ }^{\circ}\text{C/year}$), Huehuetan ($0.01\text{ }^{\circ}\text{C/year}$), Cacahoatan ($0.03\text{ }^{\circ}\text{C/year}$) and Unión Juárez ($0.09\text{ }^{\circ}\text{C/year}$). This decrease could indicate an increase in the frequency and intensity of cold waves in the mountains; this is one of the problems facing agriculture in low temperature areas potentially affecting performance.

The areas are mainly showed positive trend municipalities south of the southern region of Soconusco and Istmo region. The rate of increase for municipalities in the region Soconusco are; Mapastepec ($0.01\text{ }^{\circ}\text{C/year}$), Mazatán ($0.02\text{ }^{\circ}\text{C/year}$), Tapachula ($0.01\text{ }^{\circ}\text{C/year}$), Tuxtla Chico ($0.01\text{ }^{\circ}\text{C/year}$) and Frontera Hidalgo ($0.02\text{ }^{\circ}\text{C/year}$). Isthmus region has Tonalá ($0.01\text{ }^{\circ}\text{C/year}$) and Pijijiapan ($0.001\text{ }^{\circ}\text{C/year}$). These increases in night temperatures may also impact negatively accelerating plant metabolism, increasing the rate of respiration and eventually causing losses in the quality and productivity of different crops (Alpi and Tognoni, 1991).

Maximum temperature trend

There was a general tendency to increase throughout the Chiapas Coast (Figures 8, 10 and 11) in the Soconusco region and the average temperature range of agricultural year are 17 stations, i.e. 41% of the stations in this region; however, there was a higher number of stations with positive trend for the series of spring-summer averages with 21 stations, representing 51% of the stations in the region. The stations that showed this increase in Soconusco region are Villa Comaltitlán ($0.01\text{ }^{\circ}\text{C/year}$), Huehuetan ($0.02\text{ }^{\circ}\text{C/year}$), Mazatán ($0.01\text{ }^{\circ}\text{C/year}$), Tapachula ($0.03\text{ }^{\circ}\text{C/year}$) and Suchiate ($0.02\text{ }^{\circ}\text{C/year}$). Isthmus region has Pijijiapan ($0.01\text{ }^{\circ}\text{C/year}$) and Tonalá ($0.01\text{ }^{\circ}\text{C/year}$). The municipality with a higher rate of increase is Tapachula belonging to the

año), Tapachula ($0.03\text{ }^{\circ}\text{C/año}$) y Suchiate ($0.02\text{ }^{\circ}\text{C/año}$). De la región Istmo se tiene Pijijiapan ($0.01\text{ }^{\circ}\text{C/año}$) y Tonalá ($0.01\text{ }^{\circ}\text{C/año}$). El municipio con una mayor tasa de incremento es Tapachula perteneciente a la región Soconusco. Es preciso poner atención a las zonas susceptibles de incremento pues en forma generalizada podría tener múltiples impactos sobre los sistemas productivos y ambientales de la región más aun en la agricultura ya que temperaturas ambientales superiores a las óptimas pueden disminuir la tasa fotosintética, incrementar la tasa respiratoria, acelerar el desarrollo y crecimiento de los cultivos y acortar la duración del ciclo fenológico (Lawlor, 2005). También puede tener impacto en el incremento en el consumo de agua por plantas y animales, la alteración de ciclos biológicos de diferentes organismos y cambios en la distribución ecológica.

Tendencia en la evapotranspiración

La evapotranspiración presentó tendencias positivas en la región Soconusco en general (Figura 14). Los resultados de la prueba de Mann-Kendall a las series de porcentajes de evapotranspiración indican que en la región Soconusco presentó incremento en 10 de 41 estaciones esto es 24%, por otra parte en la región Istmo presentó tendencia sólo 1 de las 10 estaciones por lo que se asume que en general no existe tendencia en el Istmo. La tasa anual de porcentaje de evapotranspiración de las estaciones del sur del Soconusco son: 7078 (0.16%), 7199 (0.15%), 7200 (0.11%), 7326 (0.30%), 7336 (0.70%), 7342 (0.90%), 7334 (0.40%). En el norte del Soconusco fueron 7333 (0.50%) y 7339 (0.30%). En la comparación de los periodos de 1960-1985 y 1986-2010 se obtuvieron cambios importantes en el incremento del porcentaje de evapotranspiración: 7078 (70% a 76%), 7199 (30% a 36%), 7199 (47% a 50%), 7326 (50% a 56%), 7336 (50% a 69%), 7342 (33% a 60%), 7334 (49% a 61%), 7333 (40% a 55%) y 7339 (25% a 35%). En general el soconusco ha presentado incremento de la evapotranspiración lo cual causará déficit en la humedad del suelo y más aún sumado a la disminución de la precipitación, hará que sea necesario el suministro de una mayor cantidad de agua a los cultivos agrícolas por lo que se requerirá una buena administración del recurso por parte de la CONAGUA.

Tendencia en los escurrimientos

Los resultados de la prueba de Mann-Kendall en las series de escurrimientos acumulados en el año agrícola indican una fuerte correlación con las zonas susceptibles a tendencias identificadas en las variables climáticas. Ya

Soconusco region. We must pay attention to the areas likely to increase across the board because it could have multiple impacts on productivity and environmental systems in the region even more in agriculture as ambient temperatures above the optimum can reduce the photosynthetic rate, respiratory rate increase accelerate the development and growth of crops and shorten the duration of phenological cycle (Lawlor, 2005). There can also have an impact on the increase in water consumption by plants and animals, disruption of biological cycles of different organisms and ecological changes in the distribution.

Trend evapotranspiration

Evapotranspiration presented positive trends in the Soconusco region in general (Figure 14). The results of the Mann-Kendall series evapotranspiration rates indicate that in the Soconusco region showed increased in 10 of 41 seasons are 24%, on the other hand in the Isthmus region presented tendency only 1 of the 10 stations by what is generally assumed that there is no trend in the Isthmus. The annual percentage rate of evapotranspiration from Soconusco southern stations are: 7 078 (0.16%), 7 199 (0.15%), 7 200 (0.11%), 7 326 (0.30%), 7 336 (0.70%), 7 342 (0.90%), 7 334 (0.40%). In the north of Soconusco were 7 333 (0.50%) and 7 339 (0.30%). In comparing the periods 1986-2010 1960-1985 and significant changes were obtained in the percentage increase evapotranspiration: 7 078 (70% to 76%), 7 199 (30% to 36%), 7 199 (47% to 50%), 7 326 (50% to 56%), 7 336 (50% to 69%), 7 342 (33% to 60%), 7 334 (49% to 61%), 7 333 (40% to 55%) and 7 339 (25% to 35%). Soconusco generally has presented increased evapotranspiration which cause deficit in soil moisture and further coupled with decreasing precipitation will make it necessary the provision of a greater amount of water to agricultural crops is therefore require good management of the resource by the CONAGUA.

Trend runoff

The results of the Mann-Kendall accumulated runoff series in the crop year indicate a strong correlation with prone areas identified trends in climate variable. Since it was found that of the 12 gauging stations (Figure 16) 6 showed negative trend, 50% of the stations of the coastal region of Chiapas. The rate of decrease in the trend stations is as follows; station 23 011 (740 m³/year), 23 014 (1 341 m³/year), 23 009 (961 m³/year), 23 008 (996 m³/year), 23 020 (1 922 m³/year) and 23 022 (962 m³/year). This negative bias is directly related

que se observó que de las 12 estaciones hidrométricas (Figura 16) 6 presentaron tendencia negativa; 50% de las estaciones de la región Costa de Chiapas. La tasa de decremento en las estaciones con tendencia es la siguiente; estación 23011 (740 m³/año), 23014 (1 341 m³/año), 23009 (961 m³/año), 23008 (996 m³/año), 23020 (1 922 m³/año) y 23022 (962 m³/año). Ésta tendencia negativa en está relacionada directamente con la disminución de la lluvia y el aumento de la evapotranspiración. El impacto negativo de la disminución en el volumen escurrido incidirá directamente en la agricultura y en la ganadería, actividades económicas de las cuales dependen los habitantes de región.

Análisis local

En una escala local se tiene mayor variabilidad climática, como ejemplo el municipio de Tapachula, ya que en la Figura 18 se puede observar la evolución de la temperatura mínima con rangos que oscilan desde los 15.6 °C hasta los 20.8 °C, y aún más notable en la temperatura máxima. En la Figura 19 se observa la tendencia estacional con rangos que oscilan entre los 27.2 °C hasta los 33.6 °C.

El incremento de la temperatura mínima y máxima puede incidir directamente en la agricultura (Sánchez *et al*, 2012), éstas consecuencias se están haciendo notar pues el rendimiento de los cultivos se ve afectado, pues en el municipio de Tapachula se observa una tendencia negativa en el rendimiento por año de los cultivos por temporal de café cereza, caña de azúcar, mango y de plátano (Figuras 20 a 23), con ello se deberá optar por semillas mejoradas ante eficiencias hídricas (Castañeda y Muños, 1987; Arredondo y Aragón, 1997; Pérez *et al.*, 1999; Reyes *et al.*, 2000).

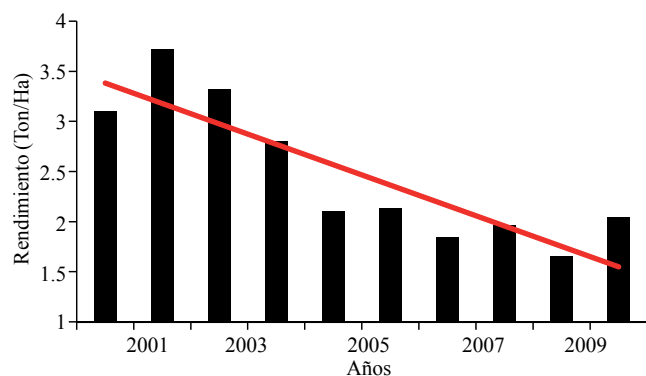


Figura 20. Rendimiento por año del cultivo café cereza para el municipio de Tapachula.

Figure 20. Crop year performance coffee cherries to the municipality of Tapachula.

to the decreased rainfall and increasing evapotranspiration. The negative impact of the reduction in runoff volume will directly affect agriculture and livestock, economic activities rely upon people of region.

Local analysis

On a local scale has increased climate variability, for example the municipality of Tapachula, as in Figure 18 shows the evolution of the minimum temperature ranges ranging from 15.6 °C to 20.8 °C, and even more remarkable high temperature. Figure 19 shows the seasonal trend with ranks ranging from 27.2 °C to 33.6 °C.

The increase in minimum and maximum temperature can directly affect agriculture (Sánchez *et al*, 2012), these consequences are being felt as the crop yield is affected, as in the municipality of Tapachula there is a negative trend in the yield per year for temporary crop cherry coffee, sugar cane, mango and banana (Figures 20-23), thereby improved seeds should choose to water efficiencies (Castañeda and Muñoz, 1987; Arredondo and Aragón, 1997; Pérez *et al.* 1999; Reyes *et al.*, 2000).

Conclusions

The results of the application of the test of Mann-Kendall trend to the variables of rainfall, maximum temperature, minimum temperature, evapotranspiration and runoff in the region called Chiapas Coast indicate the existence of zones with time trend in the series of cumulative averages

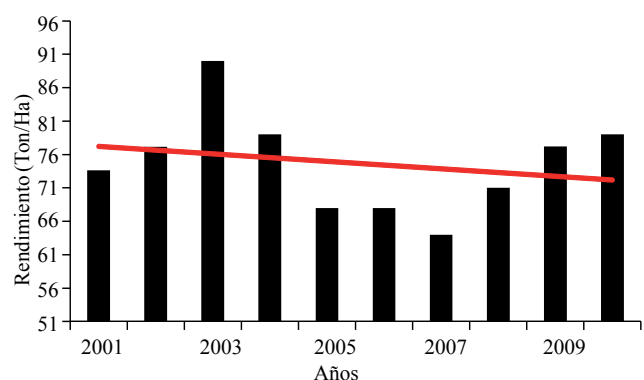


Figura 21. Rendimiento por año del cultivo caña de azúcar para el municipio de Tapachula.

Figure 21. Year performance of sugarcane crop for the municipality of Tapachula.

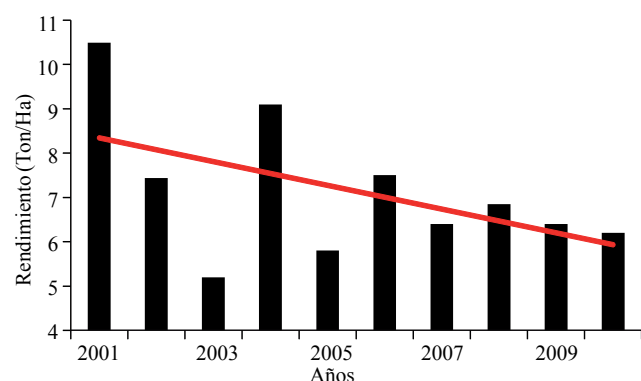


Figura 22. Rendimiento por año del cultivo mango para el municipio de Tapachula.

Figure 22. Crop year performance mango to the municipality of Tapachula.

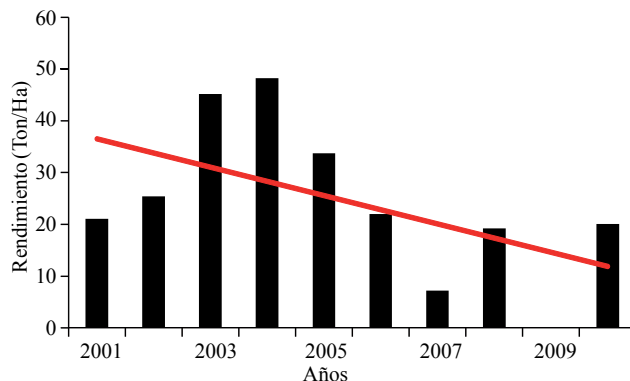


Figura 23. Rendimiento por año del cultivo plátano para el municipio de Tapachula.

Figure 23. Year performance of banana cultivation for the municipality of Tapachula.

Conclusiones

Los resultados de la aplicación de la prueba de tendencia de Mann-Kendall a las variables de precipitación de lluvia, temperatura máxima, temperatura mínima, evapotranspiración y escurrimiento en la región denominada Costa de Chiapas indican la existencia de zonas con tendencia temporal en las series de acumulados y promedios en los periodos de año agrícola, primavera-verano y otoño-Invierno. De las series de precipitación de lluvia se tiene una tendencia negativa en la región Soconusco específicamente en la parte sur. De la temperatura mínima se observó una tendencia negativa en la región norte del Soconusco y tendencia positiva en el sur de la región Soconusco e Istmo. En el caso de la temperatura máxima se observó una tendencia generalizada de incremento a lo largo de toda la Costa de Chiapas. La tendencia en la evapotranspiración fue específicamente de incremento en la región Soconusco. La tendencia en la serie de escurrimientos indica una fuerte correlación con las zonas susceptibles a tendencias de las variables climatológicas.

La importancia de detectar zonas con tendencias son útiles para el diseño de medidas de adaptación y mitigación ante cambios en el patrón climatológico los cuales se observan ya en la Costa de Chiapas, mismos 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.

agricultural year periods, spring-summer and autumn-winter. From the series of rainfall has a negative trend in the Soconusco region specifically in the southern part. Minimum temperature showed a negative trend in the northern region of Soconusco and positive trend in the south of the region Soconusco and Istmo. In the case of the maximum temperature observed a general trend of increase along the Costa de Chiapas. The trend was evapotranspiration specifically Soconusco increased. The trend in the number of runoff indicates a strong correlation with trends in areas susceptible to climatic variables.

The importance of detect-leaning areas are useful for the design of adaptation and mitigation measures to changes in the weather pattern which is observed as in the Chiapas Coast, which can seriously affect them in the short -term economic and social activities its inhabitants, so it is necessary that competent authorities take appropriate measures to achieve sustainable development of watersheds.

End of the English version



Literatura citada

- Giménez, A. y Lanfranco, B. 2012. Adaptación al cambio climático y la variabilidad: algunas opciones de respuesta para la producción agrícola en Uruguay. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3(3):611-620.
- Alpi, A. y Tognoni, F. 1991. Cultivo en invernadero. 3ª (Ed.). Edizioni Agricole. Bologna, Italia. 353 p.
- Arredondo, V. C. y Aragón, C. F. 1997. Practicas agronómicas para aminorar efectos por sequía en maíz de temporal en los valles centrales de Oaxaca. *Agríc. Téc. Méx.* 23(2):97-113.

- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2013. Boletín meteorológico, sección d. pronóstico de lluvias máximas en milímetros acumulados en 24 horas o intensidad de la lluvia en una hora. URL: <http://smn.cna.gob.mx/>.
- Díaz, P.; Sánchez, I.; Quiroz, R.; Garatuza, P.; Watts, T. y Cruz, I. 2008. Interpolación espacial de la precipitación pluvial en la zona de barlovento y sotavento del Golfo de México. *Agric. Téc. Méx.* 34(3):279-287.
- Houghton, J. T.; Meira, F. L. G.; Callander, B. A.; Harris, N.; Kattenberg, A. and Maskell, K. 1996. *Climate Change 1995: the science of climate change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 572 p.
- Hulme, M. 1992. Rainfall changes in Africa: 1931-1960 to 1961-1990. *Int. J. Climatol.* 12:685-699.
- Sánchez, C. I.; Inzunza, I. M. A.; Catalán, V. E. A.; González, B. J. L.; González, C. G. y Velásquez, V. M. 2012. Variabilidad climática y productividad agrícola en zonas con errático régimen pluvial. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3(4):805-811.
- Kendall, M. G. 1975. *Rank correlation methods*, Charles GriltSn, London. 199 p.
- Lawlor, D. W. 2005. Plant responses to climate change: impacts and adaptation. *In: Omasa, I. Nouchi, and De Kok, L. J. (Eds.). Plant responses to air pollution and global change*. K. Springer-Verlag, Tokio. 81-88 pp.
- López, C. C. y Muñoz, O. A. 1987. Mejoramiento de la resistencia a sequía en Chiautla, Pue. III. Selección en un maíz blanco y en un colorado. *In: Memoria del seminario Cómo aumentar la producción agropecuaria y forestal en la región Mixteca Oaxaqueña*. Tiltipéc, Oaxaca, México. 487-503 pp.
- Macias, J. 2007. Los desastres, su impacto social y la importancia de su prevención. *In: Seminarios de protección civil y desastres inducidos por fenómenos naturales*. Memorias. Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A. C. México. 112-114 pp.
- Mann, H. B. 1945. Non-parametric tests against trend. *Econometrica.* 13:245-259.
- Milly, P. C. D.; Betancourt, J.; Falkenmark, M.; Hirsch, R. M.; Kundzewicz, Z. W.; Lettenmaier, D. P. and Stouffer, R. J. 2008. Stationarity is dead: whither water management. *Science.* 319:573-574.
- Pérez, H. P.; Acosta, D. E.; Padilla, R. S. y Costa, G. J. A. 1999. Efecto de la sequía en la calidad de la semilla de frijol común. *Agric. Téc. Méx.* 25(2):107-114.
- Reyes, R. R. E.; Rodríguez, O. J. L. y López, C. C. 2000. Resistencia a sequía de líneas si derivadas de la variedad de maíz criollo de ibarrilla. *Agric. Téc. Méx.* 26(2):159-172.
- Red de estaciones climatológicas convencionales administradas en el sistema clima computarizado (CLICOM 2010)- Servicio Meteorológico Nacional (SMN).
- Santiago, L. J. A.; López, C. M. y López, M. S. 2008. Tendencias del cambio climático global y los eventos extremos asociados. *Ra Ximhai.* 4(3):625-633.
- Adger, W. N.; Huq, S.; Brown, K.; Conway, D. and Hulme, M. 2003: adaptation to climate change in the developing world. *Progress in Development Studies.* 3(3):179-195.