



Analysis of Evapotranspiration and Modified Fournier Index in the municipality of Ahuacatlan, Nayarit, Mexico.

Análisis de la Evapotranspiración y el Índice Modificado de Fournier en el municipio de Ahuacatlán, Nayarit, México.

García-Ramírez, E.I.^{1,*}, Ruiz-Bernés, S.², Beas-Medina, M.G.³, López-Solís, J.³.

¹Instituto Tecnológico del Sur de Nayarit, Departamento de Ingenierías. Carretera Crucero Ahuacatlán-Jala Km. 4.5, C.P. 63880, Jala, Nayarit; México.

²Universidad Autónoma de Nayarit, Unidad Académica de Medicina. Ciudad de la Cultura S/N, C.P. 63000, Col. Centro, Tepic, Nayarit; México.

³Instituto Tecnológico de Tepic, Departamento de Ciencias de la Tierra, Av. Tecnológico 2595, Fracc. Lagos del Country, C.P. 63175, Tepic, Nayarit; México.

ABSTRACT

There is a global concern to know the trends on climate variables to prevent natural disasters and adapt measures in diverse productive activities. The objective of this work was to analyze the effect that potential evapotranspiration (ET_p) and modified Fournier index (MFI) have on soil erosion, in the municipality of Ahuacatlan Nayarit during the period 1980-2009. Climatological records of precipitation and maximum and minimum temperatures were taken from the official website of the National Meteorological Service; a data cleaning and data quality control was performed using RClimdex software; data processing and variable calculation was carried by the Moclic software. Regarding the ET_p variable, no significant changes were observed annually but a considered increasing trend in the months of July and August. A significant trend towards an increase was observed annually for the MFI. It was found that July, August, June and September were the months that most affect such trend. An increase in the ET_p and MFI variables was found during July, which can cause higher damage on the soil.

KEYWORDS

Potential evapotranspiration, modified Fournier index, water erosion, soil erosion.

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: January 27th 2015.

Accepted/Aceptado: March 27th 2015.

*Corresponding Author:

García Ramírez, E. I., Instituto Tecnológico del Sur de Nayarit, Departamento de Ingenierías. Carretera Crucero Ahuacatlán-Jala Km. 4.5, C.P. 63880, Jala, Nayarit, México. Phone: +52(324) 276 0972. E-mail: grei8@hotmail.com

RESUMEN

A nivel mundial existe preocupación por conocer las tendencias de variables climáticas, para prevenir desastres naturales y efectuar medidas de adaptación en diversas actividades productivas. El objetivo de este trabajo es analizar el efecto que sobre la erosión del suelo tienen las variables; evapotranspiración potencial (ET_p) y el índice modificado de Fournier (MFI), en el municipio de Ahuacatlán, Nayarit durante el periodo 1980-2009. Desde la página oficial del Servicio Meteorológico Nacional fueron tomados los registros climatológicos de precipitación y temperaturas máxima y mínima, se realizó una depuración y control de calidad de los datos mediante el software RClimdex, el procesamiento de datos y cálculo de variables se llevó a cabo mediante el software Moclic. Respecto a la variable ET_p, en forma anual no se observaron cambios significativos, pero sí una considerada tendencia al incremento en los meses de julio y agosto. Para el MFI, en forma anual se observó una tendencia significativa hacia el incremento, se encontró que los meses que más inciden en la mencionada tendencia son julio, agosto, junio y septiembre. En el mes de julio se presentó un incremento de las variables ET_p y MFI lo que puede ocasionar mayor daño del suelo.

PALABRAS CLAVE

Evapotranspiración potencial, índice modificado de Fournier, erosión hídrica, erosión del suelo.

Introduction

There is a local and global concern on the effect that temperature variability and pluvial precipitation can have on food production; events that can take place range from floods in some places and draught in others, as well as extreme temperatures that can affect animal and vegetal production (Altieri, *et al.*, 2013). Circumstances that carry climate change are rushing the taking of measures for sustainable development, otherwise there would be high costs on diverse social and environmental issues (Pichs, 2013). It is extremely important to know the trends on the climate variables to prevent natural disasters and take adaptation measures in different productive activities (Bautista, *et al.*, 2013). In 2011, Bury, *et al.*, cited by Vuille (2013) mention that in a town from Catac, located in the White Range of Los Andes, there was a damage in the agricultural production due to the decrease of water flow during the dry period; likewise, livestock activity was affected by the lack of grass, hence the population was worried for the climate changes present in the zone.

In the localities of Yumbel, San Rosendo and Florida from the Biobio Region in Chile, there have been observed strong soil erosion and water scarcity problems, caused by the bad agricultural practices and the overexploitation of natural resources (Infante, cited by Infante, 2013); some measures that have been taken to alleviate the damage are avoiding the burning of undergrowth and the programming of fallow lands in periods when rain intensity is lower, and the water draining furrows are made perpendicular to the land inclination. In Mexico, Ruiz *et al.*, (2010) made a study in five regions dedicated to grow corn, in order to estimate the agro-climate changes for the periods 1961-2003 and 2051-2060; among the analyzed variables there are average temperature, precipitation, potential evapotranspiration and humidity index; they estimated an increase in temperature from 1.8 °C and 2.0 °C, a decrease in pluvial precipitation amongst 3.8 and 4.5 %, and also an increase in potential evapotranspiration that ranges from 5.5 to 7.5 %; the latter will reflect on a decrease of the humidity index.

Zamudio *et al.*, (2011) performed a vulnerability study on hydric and wind erosion with information corresponding to the period 1990-2000 in Tepic and Santa María del Oro, Nayarit, where it is concluded that in the Center-South Region of Nayarit hydric erosion is stronger, so they recommend to carry studies on the vulnerability

Introducción

Existe preocupación a nivel mundial y local por el efecto que puede tener la variabilidad de temperaturas y la precipitación pluvial sobre la producción de alimentos; los eventos que pueden presentarse van desde inundaciones en algunos lugares y sequías en otros, así como temperaturas extremas que pueden afectar la producción animal y vegetal (Altieri, *et al.*, 2013). Las circunstancias que conllevan el cambio climático apresuran la adopción de medidas para el desarrollo sustentable, pues de no hacerlo tendrían altos costos y diversos problemas de carácter social y ambiental (Pichs, 2013). Es de suma importancia conocer las tendencias de las variables climáticas, ello ayuda a prevenir desastres naturales y a tomar medidas de adaptación en diversas actividades productivas (Bautista, *et al.*, 2013). En el año 2011 Bury, *et al.*, citados por Vuille (2013) mencionan que en el pueblo de Catac, ubicado en la Cordillera Blanca de los Andes se observó un daño en la producción agrícola debido a la disminución de flujo de agua durante el período seco, de igual forma se afectó la actividad ganadera por la escasez de pasto, por lo cual la población estaba preocupada por los cambios climáticos presentes en la zona.

En las localidades de Yumbel, San Rosendo y Florida de la Región del Biobío de Chile se han observado fuertes problemas de erosión del suelo y escasez de agua, ocasionados por las malas prácticas agrícolas y la sobreexplotación de los recursos naturales (Infante, citado por Infante, 2013); algunas de las medidas que se han implementado para resarcir el daño es evitar la quema de malezas y la programación de barbechos en periodos donde la intensidad de las lluvias es menor, los surcos drenadores de agua son hechos en forma perpendicular a la inclinación del terreno. En México, Ruiz *et al.*, (2010) llevaron a cabo un estudio en cinco regiones dedicadas al cultivo de maíz, con la finalidad de estimar cambios agroclimáticos para los periodos 1961-2003 y 2051-2060; entre las variables analizadas se encuentran la temperatura media, precipitación, evapotranspiración potencial y el índice de humedad, estimaron un incremento en la temperatura entre 1.8°C y 2.0°C; una disminución en precipitación pluvial entre 3.8 y 4.5 %; además un incremento en la evapotranspiración potencial que oscila entre 5.5 y 7.5 %, lo anterior se reflejará en una disminución del índice de humedad.

Zamudio *et al.*, (2011) realizaron un estudio de vulnerabilidad de erosión hídrica y eólica con información correspondiente al periodo 1990-2000 en Tepic y Santa María del Oro, Nayarit, en él se concluye que en la región centro sur de Nayarit es más fuerte la erosión hídrica y recomiendan llevar a cabo estudios sobre la vulnerabilidad a la erosión

to erosion, using environmental parameters since such phenomenon can affect agricultural economy.

The objective of this paper was to analyze the effect that variables as potential evapotranspiration (ETo) and the modified Fournier index (MFi) have on the soil in the municipality of Ahuacatlan, Nayarit, during the period 1980-2009. Both variables can affect soil quality. Evapotranspiration is defined as the transfer of steamed water from a surface (Maffei, 2012); the MFi has been used in several parts of the world, based on the fact that both the rainiest and the least rainy months can cause soil erosion (Echeverri, et al., 2010).

Materials and methods

The study was carried in the municipality of Ahuacatlan, Nayarit. It has an approximate surface of 500 km², with a population of 14,400 inhabitants. It is located between parallels 20° 55' and 21° 11' north latitude; meridians 104° 24' and 104° 44' west length; altitude between 400 m and 2,100 m. Weather is subhumid calid with rain during summer. Environmental temperature fluctuates between 16 °C and 24 °C and pluvial precipitation is found between 700 mm and 1 500 mm. Predominant soils are regosol (38.67 %), leptosol (29.83 %), cambisol (15.89 %), phaeozem (9.43 %), vertisol (2.77 %), luvisol (2.37 %) and fluvisol (0.34). 21.45 % of the surface is used for agriculture, 0.60 in urban zone, 48.52 % jungle, 14.88 % forest and 14.45 % grass (INEGI, 2009).

Climatological records of precipitation and maximum and minimum temperature were obtained from the official website of the Meteorological National Service, dependent of the Water National Commission. Data were applied with a depuration and quality control by software RClimdex (Zhang, et al., 2004). Variable processing and calculus was carried with software Moclic (Bautista, et al., 2013), where monthly values of ETo were obtained with the Hargreaves method and MFi, widely used to estimate erosivity of rains. In addition, a statistical analysis was made with no parametric MannKendall test, with a significance level of 5 %. Moclic software calculates variables value studied by means of the next equations:

$$ETo=C_i(t_{med}-17.78)(t_{max}-t_{min})^{0.5}Ra$$

tomando en cuenta parámetros ambientales debido a que dicho fenómeno puede afectar la economía agrícola.

El objetivo de esta investigación fue analizar el efecto que sobre la erosión del suelo tienen las variables; tales como evapotranspiración potencial (ETo) y el índice modificado de Fournier (MFi), en el municipio de Ahuacatlán, Nayarit, durante el periodo 1980-2009. Ambas variables pueden afectar la calidad del suelo; la evapotranspiración es definida como la transferencia de agua en forma de vapor desde una superficie (Maffei, 2012), a su vez el MFi ha sido utilizado en varias partes del mundo basándose en el hecho que tanto el mes más lluvioso como los de menos precipitación pluvial pueden ocasionar erosión del suelo (Echeverri, et al., 2010).

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el municipio de Ahuacatlán, Nayarit, el cual ocupa una superficie aproximada de 500 km², tiene una población de 14,400 habitantes, se ubica entre los paralelos 20° 55' y 21° 11' de latitud norte; los meridianos 104° 24' y 104° 44' de longitud oeste; altitud entre 400 m y 2,100 m. El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura ambiente fluctúa entre 16°C y 24°C y la precipitación pluvial se encuentra entre 700 mm y 1 500 mm. Los tipos de suelos predominantes son el regosol (38.67 %), leptosol (29.83 %), cambisol (15.89 %), phaeozem (9.43 %), vertisol (2.77 %), luvisol (2.37 %) y fluvisol (0.34). El 21.45 % de la superficie es utilizada para la agricultura, el 0.60 es zona urbana, el 48.52 % selva, el 14.88 % bosque y el 14.45 % pastizal (INEGI, 2009).

Los registros climatológicos de precipitación y temperaturas máxima y mínima fueron obtenidos de la página oficial del Servicio Meteorológico Nacional, dependiente de la Comisión Nacional del Agua, se aplicó una depuración y control de calidad de los datos mediante el software RClimdex (Zhang, et al., 2004). El procesamiento y cálculo de variables se llevó a cabo con el software Moclic (Bautista, et al., 2013), en el cual se obtuvieron los valores mensuales de ETo con el método de Hargreaves y el MFi, muy utilizado para estimar la erosividad de las lluvias, además se realizó un análisis estadístico mediante la prueba no paramétrica MannKendall con un nivel de significancia del 5 %. El software Moclic calcula los valores de las variables estudiadas mediante las siguientes ecuaciones:

$$ETo=C_i(t_{med}-17.78)(t_{max}-t_{min})^{0.5}Ra$$

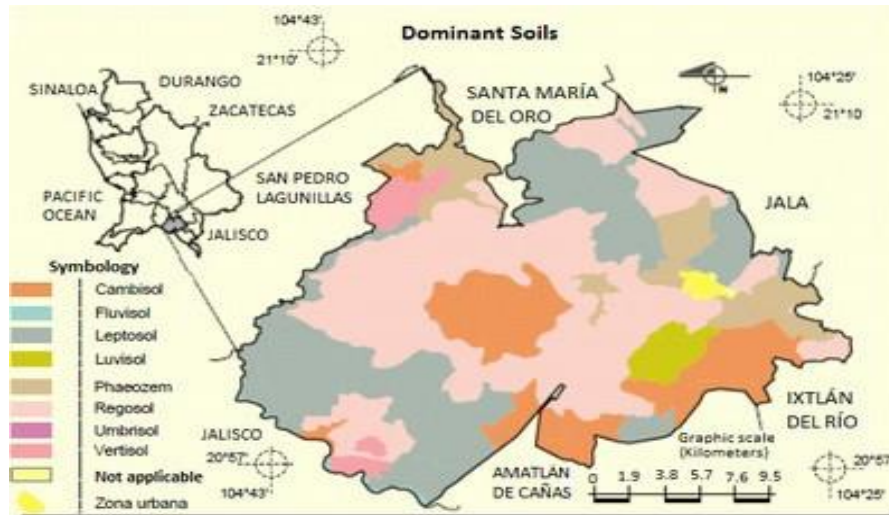


Figure 1. Localization of the study zone and soil type (INEGI, 2009).

Source: INEGI. Municipal Geoestadistical framework 2005. Version 3.1.

INEGI. Data set vector edafológico. Scale 1:250,000. Serie II (Continuo Nacional).

Figura 1. Localización de la zona de estudio y tipo de suelo (INEGI, 2009).

Fuente: INEGI. Marco Geoestadístico Municipal 2005, versión 3.1.

INEGI. Conjunto de datos vectorial edafológico. Escala 1:250,000. Serie II (Continuo Nacional).

$$\frac{C_i}{t_{med}} [(t_{max} - t_{min}) (R_g - \pi)]$$

$$\frac{C_i}{t_{med}} [(t_{max} - t_{min}) (R_g - \pi)]$$

Where:

$C_i = 0.0023$ constant

t_{med} = average temperature

t_{max} = maximum temperature

t_{min} = minimum temperatura

R_g = extraterrestrial radiation in function of latitude

π = pi

G_{sc} = solar constant ($0.082 \text{ MJm}^{-2}\text{min}^{-1}$)

d_r = relative distance inversed Earth-Sun

ω_s = angle at the time of sunset

ϕ = latitude (rad)

δ = solar declination

Donde:

$C_i = 0.0023$ constante

t_{med} = temperatura media

t_{max} = temperatura máxima

t_{min} = temperatura mínima

R_g = radiación extraterreste en función de la latitud

π = pi

G_{sc} = constante solar ($0.082 \text{ MJm}^{-2}\text{min}^{-1}$)

d_r = distancia relativa inversa Tierra-Sol

ω_s = ángulo a la hora de la puesta del sol

ϕ = latitud (rad)

δ = declinación solar

$$MF_i = \sum(p^2/P)$$

$$MF_i = \sum(p^2/P)$$

Where:

p = monthly precipitation (mm)

P = annual precipitation (mm)

Donde:

p = precipitación mensual (mm)

P = precipitación anual (mm)

To determine grade of rain erosivity, obtained values of the MF_i can be catalogued as follows: 0-60 very low, 60-90 low, 90-120 moderated, 120-160 alto, >160 very high (CEC, 1992 cited by Bautista, *et al.*, 2011).

Para determinar el grado de erosividad de las lluvias, los valores obtenidos del MF_i se pueden catalogar de la siguiente forma: 0-60 muy bajo, 60-90 bajo, 90-120 moderado, 120-160 alto, >160 muy alto (CEC, 1992 citado por Bautista, *et al.*, 2011).

Results and Discussion

In the statistical Mann-Kendall Test for ETo, a Zstd annual value of 0.214 was obtained, which indicates there are no detectable changes by this test, Shadmani *et al.*, (2012) reported an annual Zstd value of -0.24 for the city of Bandarabbas, Iran (latitude 27° 13') for a period 1965-2005. A monthly Mann-Kendall test was also made and in december there was a tendency towards decrease, with a Zstd of -2.33, and for july, a value of 3.36, which indicates that it presents a tendency to increase (Figure 3), which can be due to the maximum temperature of this month having a tendency towards increase, Zstd of 2.67.

ETo annual values range from 2084 to 2313 mm/year, which are close to those reported by Shadmani *et al.*, (2012) for the city of Birjand, Iran (latitude 32° 52') which are found amongst 1800 and 2050 mm/year. December presented the lower value with 131.42 mm; the highest value was observed in may with 250.16 mm (Figure 3).

In the statistical test Mann-Kendall, a value of annual Zstd for MFi of 2.427 was obtained, which indicates a tendency towards increase. Annual average of MFi was 212 mm, the lowest value, 150 mm, was observed in 1989 and the

Resultados y Discusión

En la prueba estadística Mann-Kendall se obtuvo para la ETo un valor de Zstd anual de 0.214, lo que nos indica que no hay cambios detectables mediante esta prueba, Shadmani *et al.*, (2012) reportó un valor de Zstd anual de -0.24 para la ciudad de Bandarabbas, Iran (latitud 27° 13') para un periodo de 1965-2005. También se realizó una prueba estadística Mann-Kendal mensual y se encontró que el mes de diciembre presentó una tendencia hacia el decremento, con una Zstd de -2.33, a su vez para el mes de julio se obtuvo un valor de 3.36, lo que nos indica que presenta una tendencia a incrementar (Figura 3), lo cual puede ser debido a que la temperatura máxima en este mes tiene una tendencia hacia el incremento, Zstd de 2.67.

Los valores de ETo anual se encuentran entre 2084 y 2313 mm/año (Figura 2), los cuales se aproximan a los reportados por Shadmani *et al.*, (2012) para la ciudad de Birjand, Iran (latitud 32° 52') que se encuentran entre 1800 y 2050 mm/año. El mes de diciembre es el que presentó el valor más pequeño con 131.42 mm; el valor más alto se observó en mayo con 250.16 mm (Figura 3).

En la prueba estadística MannKendall se obtuvo un valor de Zstd anual para MFi de 2.427, lo cual indica una tendencia hacia el incremento. El promedio anual del MFi fue de 212 mm, el valor más pequeño, 150 mm, se observó en el año 1989 y el más alto, 319 mm, se observó en el año

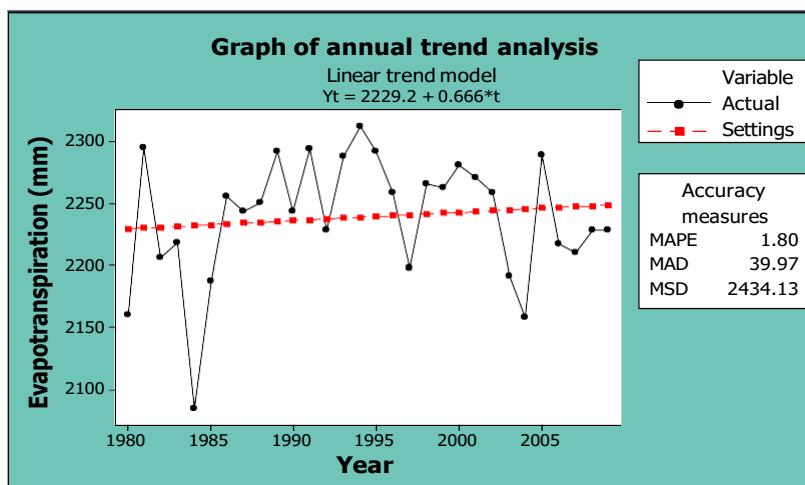


Figure 2. Annual tendency of potential evapotranspiration.

Figura 2. Tendencia anual de la evapotranspiración potencial.

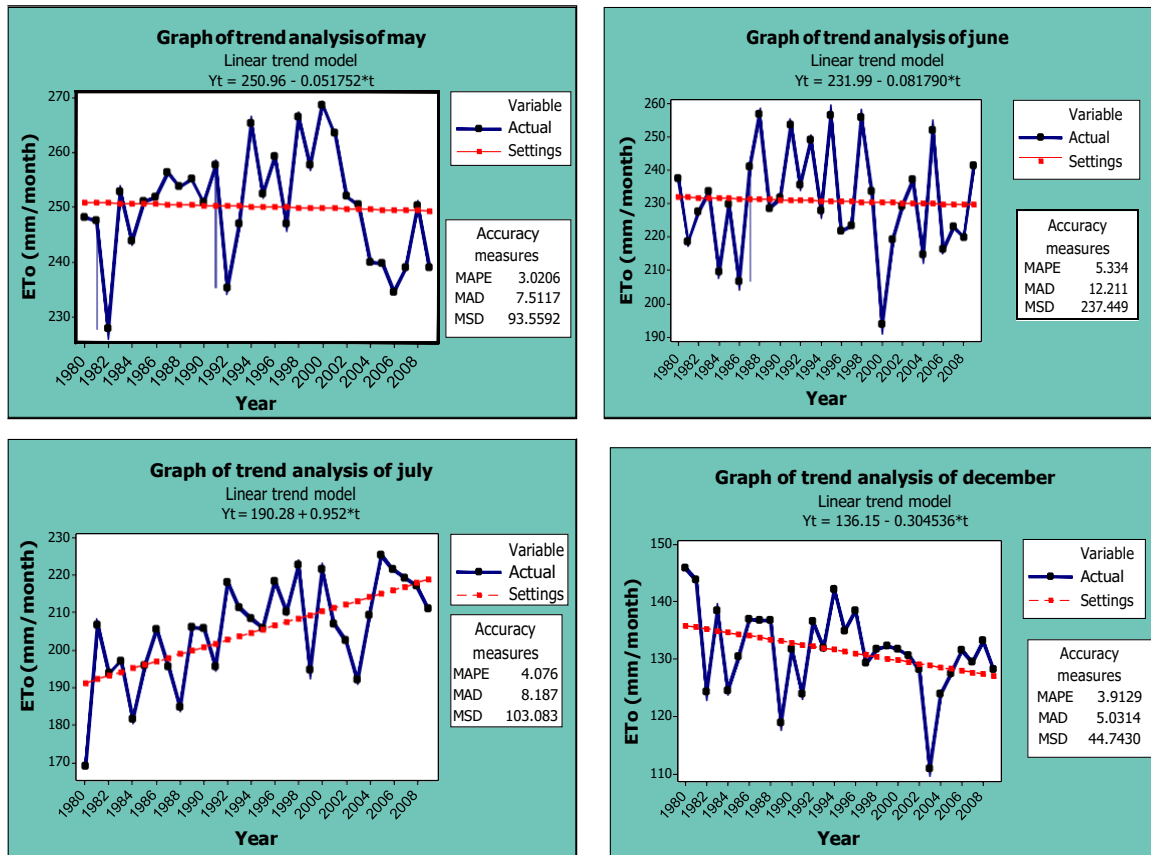


Figure 3. Graphics on monthly potential evapotranspiration.
 Figura 3. Conjunto de gráficas de evapotranspiración potencial mensual.

highest, 319 mm, in the year 2004 (Figure 4). Velasco and Cortes (2009) analyzed the records of 95 climatological stations of Sinaloa and two observatories located in Culiacan and Mazatlan, where values between 48.70 and 232.45 were found, which increase according to altitude; the MFi value found in this study ranges within what was reported by the mentioned authors, which can be due to the similar climatological characteristics originated by the location close to study zones. The months with higher influence in the annual MFi are July, August, June and September (Figure 5).

In the ETo graphics (Figure 3) it can be observed that in May and June high values of evapotranspiration are present, which can provoke soil dryness, this factor along to

2004 (Figura 4). Velasco y Cortés (2009) analizaron los registros de 95 estaciones climatológicas de Sinaloa y dos observatorios ubicados en Culiacán y Mazatlán, en los que se encontraron valores que oscilan entre 48.70-232.45, los que incrementan conforme aumenta la altitud, el valor de MFi encontrado en el presente estudio está dentro del rango reportado por los autores mencionados, lo cual puede ser por las características climatológicas similares originadas por la ubicación cercana de las zonas de estudio. Los meses con mayor influencia en el MFi anual son julio, agosto, junio y septiembre (Figura 5).

En las gráficas de ETo (Figura 3) se puede observar que en los meses de mayo y junio se presentan altos valores de evapotranspiración; lo cual puede provocar desecación del suelo, este factor sumado a los que caracterizan al

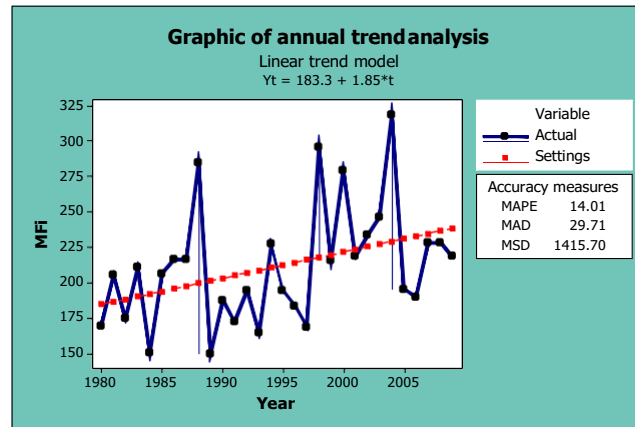


Figure 4. Annual tendency of the modified Fournier Index.
Figura 4. Tendencia anual del índice modificado de Fournier.

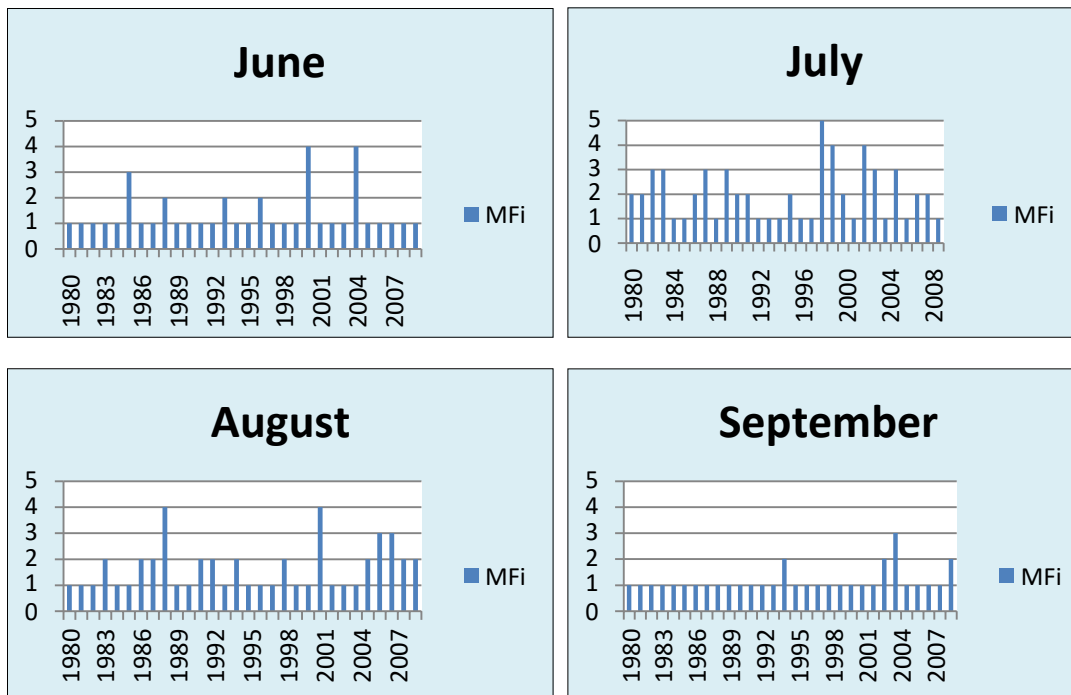


Figure 5. Graphics on monthly incidence of the modified Fournier Index (1. Very low, 2. Low, 3. Moderated, 4. High, 5. Very high).

Figura 5. Conjunto de gráficas de incidencia mensual en el índice modificado de Fournier (1. Muy bajo, 2. Bajo, 3. Moderado, 4. Alto, 5. Muy alto).

those that characterize July, have a tendency to increase the ETo values and maximum temperature, along with the erosivity grade of rains, which can provoke soil damage, and which unfortunately have characteristics susceptible to be eroded, and that increases the problem; regosol (38.67 %) is practically loose material located on rocks; leptosol (29.83 %) is characteristic of strongly eroded zones; while cambisol (15.89 %) ranges from moderate to high erosion susceptibility. (Figure 1) (INEGI, 2004). This information is truly important to take measures in order to minimize the damages caused by rains to the soil, and to know in which time of year emphasis must be made to modify agricultural practices.

mes de julio; tendencia a incrementar sus valores de ETo y temperatura máxima, además del grado de erosividad de las lluvias, puede provocar daño de los suelos los cuales desafortunadamente tienen características susceptibles de ser erosionados, lo cual incrementa el problema; el regosol (38.67 %) es prácticamente material suelto situado sobre rocas, el leptosol (29.83 %) es característico de zonas fuertemente erosionadas, mientras que el cambisol (15.89 %) es de moderada a alta susceptibilidad a la erosión (Figura 1) (INEGI, 2004). Esta información es muy importante para tomar medidas que ayuden a minimizar los daños al suelo ocasionado por las lluvias, y saber en cuál etapa del año se tiene que poner énfasis para modificar prácticas agrícolas.

References

- Altieri, M. and Nicholls, C. 2013. Agroecología y resiliencia al cambio climático principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología* 8: 7-20. Consultado en: <http://digitum.um.es/jspui/handle/10201/36437>
- Bautista, F., Bautista, D., Álvarez, O. and De la Rosa, D. 2011. Sistema de análisis de datos para el monitoreo regional y local del cambio climático con índices agroclimáticos (MOCLIC). México: Centro de Investigaciones en Geografía, 2011: 8-11. Consultado en: http://www.ciga.unam.mx/publicaciones/images/abook_file/manual_moclic.pdf
- Bautista, F., Bautista, D., Álvarez, O., Anaya, M. and De la Rosa, D. 2013. Software para identificar las tendencias de cambio climático a nivel local: un estudio de caso en Yucatán, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19: 81-90. Consultado en: http://www.chapingo.mx/revistas/forestales/contenido.php?id_articulo=1441?id_revistas.
- Echeverri, L. and Obando, F. 2010. Erosividad de las lluvias en la Región Centro-Sur del Departamento de Caldas, Colombia. *Revista de la Facultad Nacional Agrónoma de Medellín* 63: 5307-5318. Consultado en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179914617009>
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G. and Delgado, M. 2008. Determinación espacio-temporal del índice de agresividad de precipitaciones en el sistema de Ventania. Provincia de Buenos Aires-Argentina. *Revista Geográfica Venezolana* 49: 57-66.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Ahuacatlán, Nayarit. Clave geoestadística 18002. Consultado en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/18/18002.pdf>
- INEGI. Guía para la interpretación de cartografía; edafología. INEGI 2004. Consultada en: http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvineqi/productos/geografia/publicaciones/quias-carto/edafo/EdafoIII.pdf.
- Infante, A. and Infante, F. 2013. Percepciones y estrategias de los campesinos del Secano para mitigar el deterioro ambiental y los efectos del cambio climático en Chile. *Agroecología* 8: 71-78. Consultado en: <http://revistas.um.es/agroecologia/article/view/183001>
- Maffei, M. 2012. Desempeño de la ecuación de Hargreaves en la estimación de la evapotranspiración de referencia (ETo) en una zona de páramo en Trujillo, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 29: 378-394. Consultado en: http://revfacagronluz.org.ve/PDF/julio_septiembre2012/v29n3a2012378394.pdf
- Vuille, M. 2013. El cambio climático y los recursos hídricos en los Andes tropicales. Banco Interamericano de Desarrollo; Unidad de Salvaguardias Ambientales; Nota Técnica IDB-TN-517: 1-29. Consultado en: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=37573758>
- Pichs, R. 2013. Cambio climático y desarrollo: gran dilema de nuestros días. Temas de Economía Mundial. Centro de Investigaciones de la Economía Mundial; Edición especial Cambio climático: 1-115. Consultado en: <http://www.ciem.cu/publicaciones/pub/Temas%20edicion%20especial%20cambio%20climatico.pdf>

- Ruiz, J., Medina, G., Ramírez, J., Flores, H., Ramírez, G., Manríquez J, et al. 2011. Cambio climático y sus implicaciones en cinco zonas productoras de maíz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2: 309-323. Consultado en: www.inifap.gob.mx/Documents/revistas/rmca/volesp_num2_2011.pdf
- Shadmani, M., Marofi, S. and Roknian, M. 2012. Trend analysis in reference evapotranspiration using Mann-Kendall and Spearman's Rho tests in arid regions of Iran. *Water Resour Manage* 26: 211-224. Consultado en: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11269-011-9913-z#page-1>
- Velasco, I. and Cortés, G. 2009. Índices de Fournier modificado y de concentración de la precipitación, como estimadores del factor de riesgo de la erosión, en Sinaloa, México. En: Congreso internacional sobre desertificación. 431-434 pp. Murcia, España. Consultado en: <http://congresos.um.es/icod/icod2009/paper/view/4221>
- Zamudio, V. and Méndez, E. 2011. La vulnerabilidad de erosión de suelos agrícolas en la región centro-sur del estado de Nayarit, México. *Ambiente y desarrollo*; 15: 11-40. Consultado en: <http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/ambienteydesarrollo/article/view/3154/2400>
- Zhang, X. and Yang, F. 2004. Climate Research Branch Environment Canada, Downsview, Ontario, Canada. Manual de usuario RClimdex. Versión en Español por: José Luis Santos. Centro Internacional Para la Investigación del Fenómeno de El Niño CIIFEN Septiembre 20. Consultado en: <http://etccdi.pacificclimate.org/RClimDex/RClimDexManualUsuario.doc>

Cite this paper/Como citar este artículo: García-Ramírez, E.I., Ruiz-Bernés, S., Beas-Medina, M.G., López-Solís, J. (2016). Análisis de la Evapotranspiración y el Índice Modificado de Fournier en el municipio de Ahuacatlán, Nayarit, México. *Revista Bio Ciencias* 3(4): 340-348. <http://editorial.uan.edu.mx/BIOCIENCIAS/article/view/181/229>

