

EVIDENCIA DE UN CAMBIO CLIMÁTICO EN LA REGIÓN DE LAS GRANDES MONTAÑAS DEL ESTADO DE VERACRUZ, MÉXICO

Víctor L. BARRADAS*; Juan CERVANTES PÉREZ** y Clara PUCHET ANYUL*

* *Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)*

** *Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana (UV)*

RESUMEN

En esta comunicación se presentan unas evidencias de un posible cambio climático provocado por la deforestación en una región montañosa del Estado de Veracruz, México. Se realizaron análisis de tendencia de la precipitación pluvial y de frecuencia de nieblas con el fin de determinar si la precipitación pluvial ha aumentado o disminuido y si el nivel de condensación por ascenso ha cambiado. También se realizaron mediciones de balance de energía en un sitio característico de esta región para determinar la redistribución de la energía en dos sistemas contrastantes de vegetación (bosque y pastizal) y sus efectos sobre el flujo de calor sensible. Se concluye que, por las tendencias encontradas y por las diferencias del flujo de calor sensible, existe la posibilidad de un cambio climático en esta región principalmente en la época seca.

Palabras clave: Balance de energía, capa límite planetaria, interacción planta-atmósfera.

ABSTRACT

A series of precipitation and fog frequency tendency analyses were made in the mountain region of the state of Veracruz in Mexico in order to determine a possible climate change in this region. These analyses were made to know if precipitation or fog frequency has change, increasing or decreasing and if lift condensation level has also changed. Energy balance measurements were made in a typical site of the region in two contrasting plant systems (forest and grassland) to determine sensible heat flux. In conclusion, tendencies found in precipitation and fog frequency and differences in sensible heat flux make the possibility of a change in the regional climate in this region mainly during the dry season.

Key words: Energy balance, planetary boundary layer, plant-atmosphere interaction.

1. INTRODUCCIÓN

La región de las Grandes Montañas en el Estado de Veracruz, es parte del sistema montañoso donde la parte más oriental del Eje Neovolcánico se encuentra con la Sierra Madre Oriental. Una de las principales características de esta región es su topografía tan característica de un gradiente altitudinal muy pronunciado único en el mundo que en una distancia de 100 km o menos de la costa se pueden encontrar altitudes de hasta 5.500 m y desde comunidades de bosques templados y de niebla hasta comunidades semiáridas y áridas (GARCÍA-GARCÍA y MONTAÑEZ, 1991; BARRADAS, 1983; GÓMEZ-POMPA, 1978). Así, el clima en esta región es el resultado de una interacción compleja de los sistemas sinópticos que predominan (sistemas tropicales en verano y de latitudes medias en invierno por el desplazamiento del anticiclón de Las Azores-Bermudas), de la topografía-orografía, de la interacción vegetación-atmósfera y de la gran cercanía al litoral del Golfo de México.

LARA-GARCÍA (2000) y CERVANTES-PÉREZ *et al.* (2001) realizaron una serie de análisis de la tendencia de la precipitación pluvial de 1923 a 1997 en dos ciudades de esta región y se descubrió una disminución anual en la precipitación de 3,13 mm en la ciudad de Xalapa (1.400 m) y de 4,4 mm en Las Vigas (2.400 m), que representan una reducción del 30% y el 50%, respectivamente, hacia el año 2023.

La disminución de la precipitación pluvial en esta región, se puede explicar en parte, por el levantamiento de la capa de mezcla (capa límite planetaria, base de las nubes) o del nivel de condensación por ascenso, y que el levantamiento sea lo suficiente grande como para que la humedad que antes permanecía a barlovento pase a sotavento de la cadena montañosa.

Hay dos factores que regulan el espesor de la capa de mezcla: el flujo de calor sensible que la incrementa y la subsidencia que la disminuye (CARSON, 1973). La subsidencia en general es un mecanismo atmosférico de escala sinóptica mientras que el flujo de calor sensible es de microescala (local o regional). El flujo de calor sensible varía de acuerdo a la redistribución del balance de energía de un sitio y depende en gran medida del uso del suelo.

Desde hace algún tiempo, la región ha estado sujeta a un cambio sistemático y extensivo del uso del suelo, siendo estos cambios desde un sistema forestal hasta un sistema de ganadería extensiva pasando por los sistemas agrícolas. Esta deforestación de los bosques templados y de niebla podría tener influencia en el flujo de calor sensible debido a la redistribución de la energía, ya que una disminución en el flujo de calor latente implicaría un aumento en el sensible.

Por ello se inició una serie de análisis más detallados con el fin de conocer por un lado, las tendencias de la precipitación pluvial y la frecuencia de nieblas en otros sitios de la región, para determinar si éstas disminuyen; y por el otro, la redistribución de la radiación neta y su posible efecto en el flujo de calor sensible.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Sitio de estudio

En la figura 1 se presenta la generalidad del extremo oriente del Eje Neovolcánico entre el Estado de Puebla y el de Veracruz, donde se escogieron algunas estaciones climáticas con suficientes datos para realizar los análisis de tendencia de la precipitación y frecuencia de nieblas, mientras que la flecha indica el gradiente altitudinal donde se realizaron algunas mediciones microclimáticas con el fin de determinar la redistribución de la energía en los diferentes usos del suelo. La figura 2 muestra la localización de las estaciones climáticas empleadas en los análisis de tendencia de la precipitación a barlovento (Estado de Veracruz) y a sotavento (Estado de Puebla). En la región existe una marcada estacionalidad de la precipitación, alrededor del 80% ocurre en la época húmeda o de lluvias, entre los meses de junio a septiembre-octubre, y el 20% restante en la época seca, de octubre-noviembre a mayo.

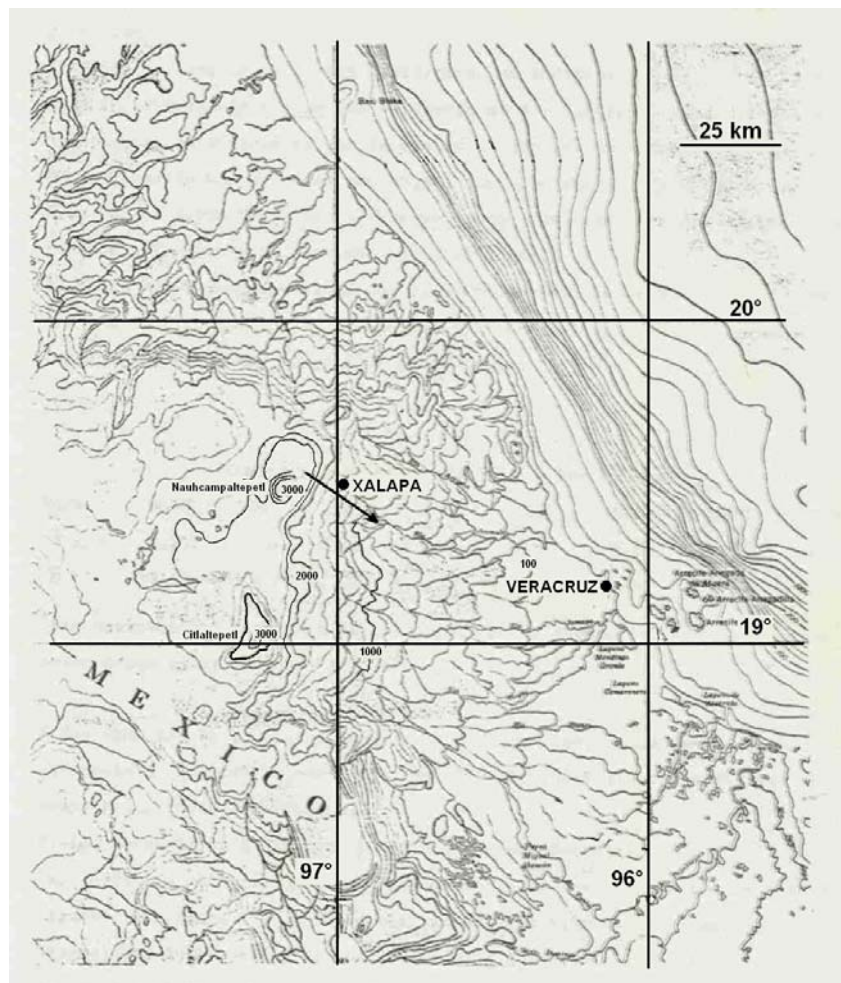


Fig. 1. Localización del sitio de estudio en la región de las Grandes Montañas en el Estado de Veracruz en México y donde se muestran las dos grandes elevaciones: el volcán Citlatepetl y el Nauhcampalpetel

2.2. Análisis de tendencias

Las series climáticas estudiadas comprenden de datos diarios de precipitación y de frecuencia de nieblas a partir de enero de 1930 hasta diciembre del 2003 de las estaciones climáticas mostradas en la figura 2. El máximo número de datos perdidos fue menor del 1,5% y sorprendentemente no se encontraron puntos de cambio en las tendencias. Las tendencias se determinaron (disminución o aumento) mediante el análisis de Mann-Kendall (NASRALLAH *et al.*, 1990) que consiste en asociar a la serie una función de distribución, determinar el valor del parámetro de la prueba, establecer el valor del parámetro teórico basado en la función asociada, comparar los valores del parámetro de la prueba y el teórico para saber la tendencia y calcular ésta mediante una regresión simple ($y = ax + b$, donde a es la tendencia promedio de la serie analizada). Los análisis de tendencia se realizaron mensualmente, anualmente y durante la época seca y de lluvias.

2.3. Determinación de la redistribución de la radiación neta

Se escogieron dos sistemas de vegetación contrastante (bosque de pino-encino y pastizal) cerca de la población La Joya ($19^{\circ} 36' N$, $97^{\circ} 05' W$, 2.250 m) y se realizaron mediciones de radiación neta (Q_N) con un radiómetro neto (REBS, Campbell Scientific, Logan, Utah), transpiración con un medidor de flujo de savia (Thermalogic, Pullman, WA), temperatura y humedad del aire con una sonda (HMP35C, Vaisala, Helsinki, Finland) y flujo de calor en el suelo (Q_S) con una placa sensora de flujo de calor del suelo (HFP01SC, Campbell Scientific, Inc. Logan, Utah). En el caso del pastizal, la transpiración se calculó mediante la ecuación de Penman-Monteith y para ello se midió la conductividad estomática con un porómetro (LI-1200, LI-COR, Lincoln, Nebraska). Todos los sensores se conectaron a una data logger realizando muestreos cada minuto y almacenando los datos cada 20 minutos. Las mediciones se realizaron de las 6:00 horas a las 18:00 horas en varias épocas del año. Los valores de transpiración se transformaron a flujo de calor latente (Q_L). El flujo de calor sensible (Q_H) se calculó como el residual de la ecuación de balance de energía: $Q_H = Q_N - Q_S - Q_L$.

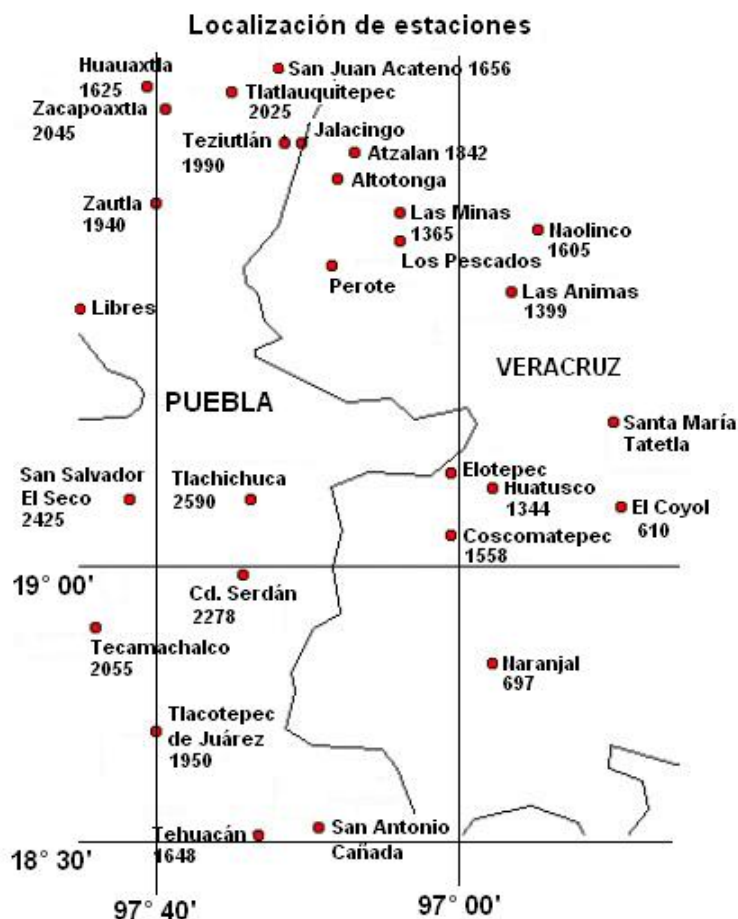


Fig. 2. Localización de algunas estaciones que se utilizaron para realizar los análisis de tendencia tanto de la precipitación pluvial como de la frecuencia de nieblas. Nótese que la línea es la división política entre los Estados de Veracruz y Puebla

3. RESULTADOS

En la tabla 1 se muestra el nivel de significancia de las tendencias de la precipitación de las estaciones climáticas escogidas. Es interesante notar, en el análisis mensual, que en una época del año las tendencias de la precipitación a barlovento fueron negativas preferentemente en la época seca, y positivas en la época húmeda. En oposición, a sotavento las tendencias fueron positivas en la época seca. En ambos casos, las tendencias positivas y negativas fueron más evidentes en febrero. Sin embargo, la mayoría de las estaciones analizadas no presentaron tendencias en la mayor parte del año. Por otro lado, solo una estación (Elotepec) presentó un incremento de la precipitación en la época lluviosa y dos (Los Pescados y Perote) en la época seca, mientras que anualmente o en los meses de enero y agosto ninguna estación presentó tendencias. Por otro lado, las tendencias de la frecuencia de nieblas fueron concomitantes con las de precipitación. Así, las tendencias a altas altitudes son positivas (Altotonga 1.880 m, Atzalan, 1.842 m) en altitudes bajas son negativas (Coatepec, 1.200 m; Las Minas, 1.365 m). Sin embargo, a más bajas altitudes (Huatusco, 1.300 m) las tendencias vuelven a ser positivas o a más altas altitudes negativas (La Tembladera, 2.400 m).

Tabla 1. Tendencias de la precipitación pluvial y de la frecuencia de nieblas en las estaciones escogidas a barlovento (Veracruz) y a sotavento (Puebla) de la región montañosa del Estado de Veracruz, México. Las tendencias están dadas por el signo y la cantidad representa la pendiente de la regresión simple

Estaciones	Pp	Pp	Pp	Pp	Pp	Pp	Pp	Pp	Pp	Pp	Pp	Pp	Niebla
PUEBLA	F	M	A	M	J	J	S	O	N	D	lluvias	seca	Anual
Ciudad Serdán	+0,4												
Huauaxtla													
SanAntonio Cañada								+2					
Tecamachalco	+0,3												
Tehuacan													
Tlachichuca			-1,5										
Tlacotepec	+0,3	+0,3											
Tlatlauquitepec													
Zacapoaxtla													
Zautla													
VERACRUZ													
Altotonga	+1,1							+2					T+
Atzalan													T+
Coatepec													T-
El Coyol	-0,6												
Elotepec	-0,6				+6	+6	+6				+29		
Huatusco									-1,6				T+
Jalacingo	+0,8												T+
Las Animas			+1,6	+3,2						+1,4			T+
Las Minas							+2						T-
Los Pescados												+1,4	T-
Naranjal	-1,0												
Naolinco	-0,8		+2,1	+2									
Perote										+0,6		+2,4	T-
Tembladeras													T-
Teocelo													T-

En la tabla 2 se comparan los diferentes componentes del balance de energía en dos sistemas contrastantes de vegetación donde se realizaron las mediciones: bosque de pinos y pastizal, en la región de las Grandes Montañas. La energía disponible fue disipada principalmente por el flujo de calor latente principalmente en la época húmeda en el bosque de pinos (64 y 48%); mientras que en el pastizal la mayor disipación correspondió al flujo de calor sensible inclusive en la época húmeda con porcentajes de hasta del 90%.

Tabla 2. Comparación de los valores máximos del balance de energía entre dos sistemas contrastantes de vegetación: bosque de pinos y pastizal en la región de las grandes montañas en el Estado de Veracruz, México

	Bosque	Pastizal	Bosque	Pastizal	Bosque	Pastizal	Bosque	Pastizal	Bosque	Pastizal
	JUN	JUN	AGO	AGO	OCT	OCT	NOV	NOV	MAR	MAR
Q_N	679	534	546	950	488	787	338	399	1121	944
Q_E	433	114	263	212	98	160	105	107	245	89
Q_H	246	420	283	738	390	627	234	291	876	856
Q_E/Q_N	0,64	0,21	0,48	0,22	0,20	0,20	0,31	0,26	0,22	0,09
Q_H/Q_N	0,36	0,79	0,51	0,78	0,78	0,80	0,69	0,73	0,78	0,90
Q_H/Q_E	0,57	3,68	1,07	3,49	3,96	3,91	2,23	2,72	3,58	9,66

4. DISCUSION

Es evidente que las tendencias de la precipitación, tanto positivas como negativas, se presentan más hacia la época seca que en la época húmeda aunque la generalidad fue la de no presentarse tendencias. Es interesante notar, que en el mes de febrero (cuando los sistemas sinópticos de latitudes medias afectan la región) las tendencias de la precipitación son negativas principalmente en las estaciones a barlovento del sistema montañoso, y las tendencias positivas hacia sotavento o en la divisoria de aguas (Jalacingo). Sin embargo, en abril y mayo, por encontrarse la región en la transición de los efectos sinópticos entre los sistemas de latitudes medias y tropicales, las tendencias se invierten o son positivas a barlovento de la región, inclusive toda la época de lluvias, para en octubre y noviembre (transición de sistemas tropicales a sistemas de latitudes medias) invertirse las tendencias a negativas. Los análisis por épocas demostraron una tendencia positiva en un sitio (Elotepec) que en febrero presentó una tendencia negativa. Las diferentes tendencias (positivas o negativas) presentadas a través del año probablemente influyeron en que anualmente la precipitación pluvial no aumente ni disminuya.

La frecuencia de nieblas es otra variable que presenta tendencias interesantes, y aunque el análisis solo incluye el anual, es posible discernir sobre si el nivel de condensación por ascenso (NCA) se ha incrementado. Mientras que en las estaciones o los sitios más altos la frecuencia de nieblas se ha incrementado, en los más bajos ha disminuido, o en altitudes medias (Huatusco) ha habido un incremento también. Esto sugiere que existe una probabilidad muy alta de que en realidad el NCA se haya elevado, no obstante, es probable también que en otros sitios más bajos, no incluidos en los análisis realizados también haya una elevación del NCA y con ello se explique la tendencia positiva de la frecuencia de nieblas en estos sitios (Huatusco, Las Animas).

De acuerdo a la hipótesis planteada, en la región ha habido un aumento del flujo de calor sensible que ha influido tanto en el levantamiento de la capa de mezcla como en el caldeoamiento del aire levantando al NCA y con ello la humedad es transportada a sotavento de las Grandes Montañas como lo sugieren las tendencias de la precipitación pluvial registradas en febrero. Esto concuerda en parte, con los análisis de la redistribución de la energía, en donde se puede notar que los flujos de calor sensible son más intensos en el pastizal que en el bosque durante los meses de la época seca. Sin embargo, durante la época lluviosa este efecto no es tan notorio debido a la gran cantidad de humedad que pueda haber en el ambiente.

De aquí, es posible determinar que la deforestación en la región de estudio ha producido un cambio climático que probablemente no ha sido tan evidente debido a la gran muralla que representa el macizo montañoso y que no permite pasar tan fácilmente la humedad a sotavento. De esta manera, si la deforestación continuara probablemente el efecto en la precipitación pluvial y en la frecuencia de nieblas sería más notorio, ya que la fracción bosque/pastizal se reduciría y con ello se incrementaría la superficie productora de calor sensible.

Por otro lado, cabe especular si el anticiclón de Las Azores-Bermudas de alguna forma se desplazara hacia el sur, debido al calentamiento global, aumentaría la subsidencia en la región y con ello podría contrarrestar el efecto del aumento de Q_H y probablemente las tendencias se deberían más a una variabilidad climática que a un cambio climático. No obstante, si el anticiclón se desplazara hacia el norte la subsidencia probablemente disminuiría y con ello el efecto del aumento de Q_H se realzaría provocando una mayor desecación a barlovento de la región de las Grandes Montañas y un incremento de la humedad a sotavento con las sabidas consecuencias.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México, por el apoyo económico otorgado a la presente investigación bajo el convenio número 36892-B.

6. REFERENCIAS

- BARRADAS, V.L. (1983). "Capacidad de captación de agua a partir de la niebla en *Pinus montezumae* Lambert, de la región de las Grandes Montañas del Estado de Veracruz". *Biótica*, 8, pp. 427-431.
- CARSON, D.J. (1973). "The development of a dry inversion-capped convectively unstable boundary layer". *Quart. J. R. Met. Soc.*, 9, pp. 450-467.
- CERVANTES-PÉREZ, J. *et al.* (2001) Clima urbano, bioclima humano, hidrología superficial y evaluación de riesgos por hidrometeoros en Xalapa. En: CAPITANACHI-MORENO, C. (Coord.); UTRERA BARILLAS, E.M. y SMITH, C.B., *Unidades Ambientales Urbanas: Bases Metodológicas para la Comprensión Integrada del Espacio Urbano*. Universidad Veracruzana e Instituto de Ecología, A.C., pp. 1-57 (anexo 1).
- GARCÍA-GARCÍA, F. y MONTAÑEZ, R.A. (1991). "Warm fog in eastern Mexico: A case study". *Atmósfera*, 4, pp. 53-64.
- GÓMEZ-POMPA, A. (1978). *Ecología de la vegetación del Estado de Veracruz*. CECSA, México.
- LARA-GARCÍA, F. (2000). *Régimen termoplumiométrico y aspectos microclimáticos y bioclimáticos de Xalapa, Veracruz*. Tesis de Lic. en Ciencias Atmosféricas, Universidad Veracruzana.
- NASRALLAH, H.; BRAZEL, A. y BALLING Jr. R.C. (1990). "Análisis of the Kuwait City urban heat island". *Int. J. of Climatology*, 10, pp. 401-405.

