

LA PRESENCIA DEL MONZÓN EN EL NOROESTE DE MÉXICO*

Enriqueta García**

Rosa Irma Trejo**

Resumen

Este artículo está basado en un proyecto más amplio referente a la climatología del noroeste de México, en el que se utilizan imágenes de los satélites meteorológicos ESSA y GOES.

Se analizan 15 años de imágenes diarias en conexión con las cartas del tiempo producidas por el Servicio Meteorológico Nacional.

Se reconocen para la región de estudio nueve sistemas de tiempo que ocasionan nubosidad y precipitación, éstos son: vientos del oeste, jet o corriente de chorro, frentes de ciclones extratropicales, monzón, ciclones tropicales del Pacífico y vientos alisios del este y noreste.

Se muestran las frecuencias estadísticas de cada uno de estos sistemas, así como su relación con la precipitación diaria. El método empleado en la investigación puede ser de utilidad en otras áreas donde no existen datos climáticos.

Summary

This paper is based on a larger project concerning the climatology of northwestern Mexico using satellite data. This project, uses satellite images of cloud cover to analyse the relationship between weather patterns, clouds and precipitation.

Fifteen years of daily images produced by the meteorological satellites ESSA and GOES were analyzed together with the daily weather charts made by the Mexican Meteorological Service.

Nine weather systems were found along the eight regions of northwestern Mexico, the include: westerlies, jet stream, extratropical cyclonic fronts, Pacific monsoon, tropical Pacific cyclones, easterly and northeasterly trades.

The statistical frequency of each weather system is shown graphically in the paper, as well as its relationship with the daily and average precipitation.

The method of research used may be usefull for areas or time where no climatic data exist.

* Recibido: 18 de enero de 1994.

** Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Apdo. Postal 20-850, 01000 México, D. F.

I. Introducción

Este estudio forma parte de un proyecto más amplio que relaciona las nubes vistas en las imágenes de los satélites meteorológicos, con el clima en el noroeste de México.

Se analizan las imágenes diarias de nubes, tomadas por los satélites meteorológicos ESSA y GOES durante 15 años (1970-1984), en conexión con las cartas diarias del tiempo, producidas por el Servicio Meteorológico Nacional para identificar nueve sistemas de tiempo productores de nubosidad sobre la parte occidental de México, que son:

- 3 Ciclones tropicales del Pacífico al sur del paralelo 20°
- 4 Ciclones tropicales del Pacífico al norte del paralelo 20°
- 5 Frente del ciclón extratropical al oeste de Estados Unidos
- 6 Frente de ciclón extratropical al centro de Estados Unidos
- 8 Vientos del oeste
- 8* Jet o corriente de chorro
- 9 Alisios del noreste
- 10 Alisios del este
- 14 Monzón

El número que antecede al nombre es la clave que se utilizará para identificar cada sistema de tiempo.

Cuatro de estos sistemas se presentan en la mitad fría del año y cinco en la mitad caliente. Se relaciona la frecuencia de cada uno de ellos con la lluvia promedio de los meses veraniegos, para identificar aquéllos responsables de la precipitación.

En un estudio previo García (1970) hizo una regionalización del país en cuanto a grado de afectación por nubes, teniendo en cuenta el relieve, la altitud, la exposición a vientos húmedos, las cantidades de precipitación y los regímenes pluviométricos de unas mil estaciones meteorológicas de largo periodo, delimitando 27 regiones de nubes; de ellas, ocho corresponden a la región en estudio.

II. Ubicación del área en estudio

Se localiza en la porción noroccidental del territorio nacional, desde la bahía de Banderas hasta la frontera con Estados Unidos; abarca los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit, y comprende las siguientes regiones de nubes.

1. Noroeste de Baja California.
2. Sierra de San Pedro Mártir.
3. Porción central de Baja California.
4. Sureste de Baja California.
5. Desierto de Altar.
6. Llanura costera del Pacífico.
7. Norte de la Sierra Madre Occidental.
8. Sur de la Sierra Madre Occidental.

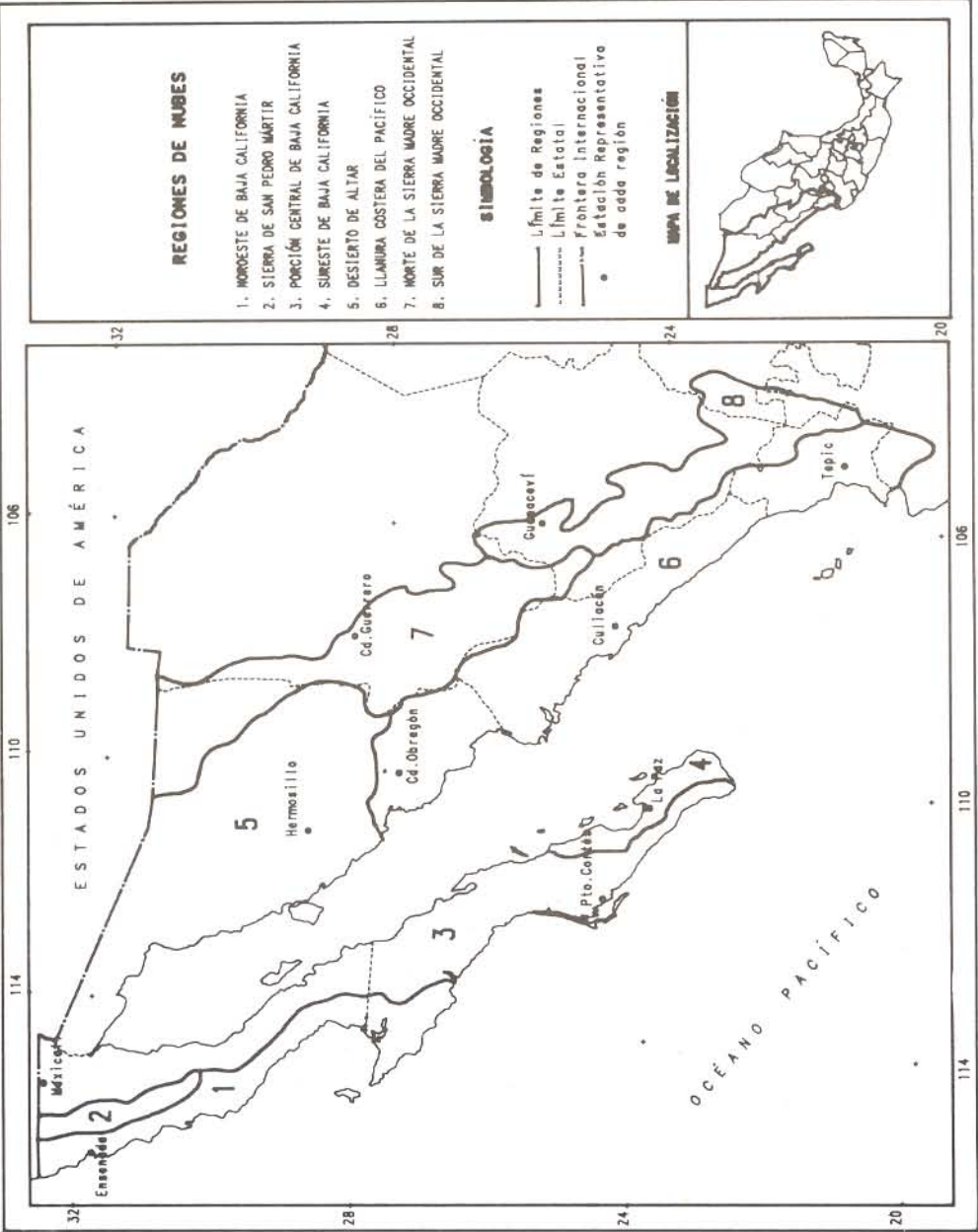
Las regiones se muestran en el **mapa 1**, así como la localización de las estaciones meteorológicas representativas en cada una de ellas.

III. Metodología

Las imágenes de satélite se analizaron en conexión con las cartas diarias del tiempo para determinar qué fenómenos meteorológicos fueron los causantes de la nubosidad en cada una de las ocho regiones de nubes.

Los fenómenos meteorológicos se registraron en cuadros mensuales donde los renglones representan los días del mes y las columnas las regiones; los números que llenan las casillas de la matriz de 8 x 31 van del 1 al 14 y representan, en clave, a cada uno de los sistemas de tiempo productores de nubosidad cada día del mes en cada región.

Se calcularon las frecuencias mensuales de los sistemas descritos, con objeto de conocer su importancia en cada subregión climática y delimitar su área de influencia.



Mapa 1. Noroeste de México.

Se hace una síntesis de los fenómenos presentes en la zona y se calcula su frecuencia relativa, esto es, el porcentaje del número de veces en las que cada fenómeno se presentó en los 15 años de imágenes diarias analizadas, respecto al número total de fenómenos que visitaron el área en dicho lapso (**Tabla 1**).

IV. Sistemas de tiempo en el noroeste de México

En la mitad fría (noviembre a abril) las mayores frecuencias corresponden a los siguientes sistemas: **circulación del oeste, jet o corriente de chorro**, y el extremo sur de los **frentes de ciclones extratropicales** que barren de oeste al este el territorio de Estados Unidos.

En la temporada caliente (mayo a octubre) los sistemas que con más frecuencia se presentan son: **monzón, ciclones tropicales del Pacífico** y, en muy poca proporción, **alisios del este y del noreste**. Visitaron la zona, también, algunos de los fenómenos propios del invierno, aunque con muy poca frecuencia.

Durante la mitad caliente del año, la Altiplanicie Mexicana, dada su enorme extensión, presenta condiciones de continentalidad y se calienta mucho más que el aire libre, al mismo nivel, sobre las tierras bajas o el mar, de manera que se ocasiona un fuerte gradiente de presión entre el aire que descansa sobre la Altiplanicie (presión baja) y el que gravita sobre los océanos vecinos (presión alta).

El viento, al seguir la pendiente barométrica, sopla de los océanos al continente en una especie de **monzón**, pero no tan bien desarrollado como el de Asia; se desplaza del Pacífico hacia el interior e introduce humedad de dicho océano; aunque llega también del Atlántico, su entrada desde esa región se enmascara por la presencia de la circulación del este dominante sobre el Golfo de México.

Así, se ha denominado "monzón" al fenómeno que se presenta en la mitad caliente del año, ocasionado por desnivel barométrico entre las tierras, que se calientan sobremanera durante los meses veraniegos, y los océanos vecinos, especialmente el Océano Pacífico, cuyas temperaturas se conservan más frescas.

Tabla 1. Frecuencia en porcentaje de los sistemas de tiempo productores de nubosidad en las regiones del noroeste de México (1970-1984)

Sistemas de tiempo	REGIONES							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Núm. total de sistemas	1 504	1 293	1 903	1 298	1 942	2 639	2 754	2 697
% por época								
may-oct	69.5	27.3	39.7	46.9	50.2	58.5	60.2	64.5
nov-abr	30.5	72.7	60.3	53.1	49.8	41.5	39.8	35.5
Vientos del oeste	51.7	52.5	37.8	29.3	27.9	18.4	18.8	14.5
Jet	21.1	20.0	25.8	30.3	22.7	27.2	21.0	23.3
Frentes de ciclones extratropicales	16.4	18.7	10.3	3.2	11.0	2.3	6.3	1.3
Alisios del E y NE	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	2.8	18.1	22.0
Ciclones tropicales	2.0	1.1	5.7	8.2	2.0	5.3	1.8	2.3
Monzón	8.0	6.0	18.3	28.3	28.8	43.2	27.1	31.7
Otros sistemas	0.8	1.7	2.1	0.7	0.4	0.8	6.7	1.3

También durante la temporada caliente del año, al correrse hacia el norte las celdas de alta presión y, por consiguiente, todo el sistema de vientos, la zona intertropical de convergencia (ITC) se desplaza hasta unos 20° de latitud norte; en esta zona de gran inestabilidad atmosférica se originan los ciclones tropicales del Pacífico, ya que las aguas relativamente cálidas del Golfo de Tehuantepec y de los golfos centroamericanos contribuyen a acrecentar dicha inestabilidad.

Los ciclones son tormentas giratorias que siguen trayectorias variables, pero conservan una dirección general hacia el oeste o noroeste, paralelamente a las costas. Algunas de estas tormentas suelen tocar las costas mexicanas del Pacífico y ocasionar lluvias torrenciales y vientos huracanados.

Muchos de los ciclones no llegan al litoral, pero por su carácter giratorio introducen humedad en la troposfera media que de ordinario es seca, humedad que después es transportada sobre el territorio nacional por los vientos monzónicos dominantes, de los cuales se habló anteriormente, que incrementan en forma considerable la precipitación en las costas del Pacífico y en las laderas de las sierras que ven hacia dicho océano, así como sobre las tierras altas del interior del país.

A continuación se desglosa la influencia de dichos sistemas de tiempo sobre cada una de las ocho regiones que abarcan el noroeste del país.

V. Regiones del noroeste de México

Región 1. Noroeste de Baja California

Comprende la costa noroccidental de la Península de Baja California, desde el paralelo $26^\circ 30'$ a la frontera con Estados Unidos.

Para estudiar la precipitación se tomó como representativa la estación de Ensenada, B. C., cuyos datos mensuales promedio se muestran en la **tabla 2** y en las barras de la gráfica de la **figura 1**. En la misma figura se muestran los sistemas de mayo a octubre, y su importancia relativa se muestra en la **figura 2**.

Tabla 2. Precipitación mensual y anual en estaciones representativas de cada región

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Ensenada, B. C. (Región 1)											
50.3	49.9	37.2	21.5	7.5	1.6	1.5	1.4	5.0	13.2	16.1	44.8
									Anual 250.0 mm		
Mexicali, B. C. (Región 3)											
10.7	8.1	4.0	3.0	0.6	0.8	2.8	11.7	9.2	7.8	7.2	12.8
									Anual 78.7 mm		
La Paz, B. C. S. (Región 4)											
9.7	4.7	1.3	0.2	1.0	1.6	11.1	43.7	65.0	15.9	10.2	20.7
									Anual 185.0 mm		
Hermosillo, Son. (Región 5)											
13.7	10.0	4.2	2.0	2.1	5.3	67.9	73.7	29.9	16.0	8.1	13.5
									Anual 246.4 mm		
Ciudad Obregón, Son. (Región 6)											
12.9	5.0	3.4	1.2	0.4	5.6	72.6	82.4	56.2	25.1	8.0	19.2
									Anual 292.0 mm		
Culiacán, Sin. (Región 6)											
17.4	10.1	4.8	1.6	1.6	29.1	155.4	203.1	142.7	49.2	15.3	41.4
									Anual 671.7 mm		
Tepic, Nay. (Región 6)											
24.3	13.2	7.8	9.8	7.3	169.0	363.0	314.1	229.6	94.7	16.9	33.5
									Anual 1 283.2 mm		
Ciudad Guerrero, Chih. (Región 7)											
15.4	10.5	5.3	4.4	8.9	38.3	125.7	134.5	81.1	28.9	9.8	18.4
									Anual 481.1 mm		
Guanaceví, Dgo. (Región 8)											
17.7	10.3	7.7	4.6	10.4	59.8	134.8	133.9	117.8	36.2	12.4	30.3
									Anual 575.9 mm		

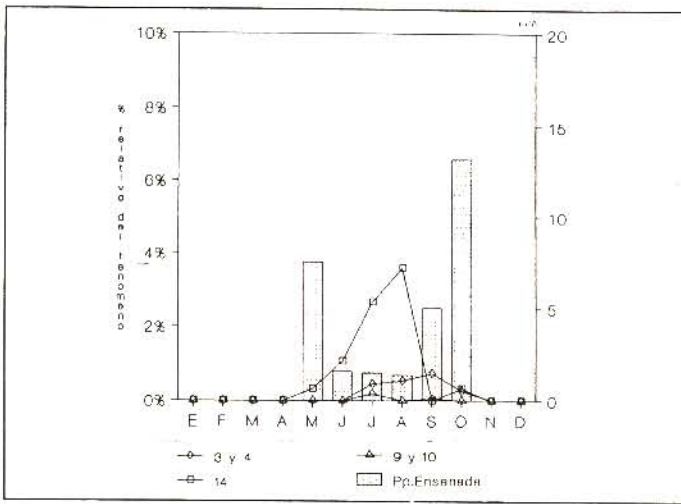


Figura 1. Sistemas de época cálida. Región 1.

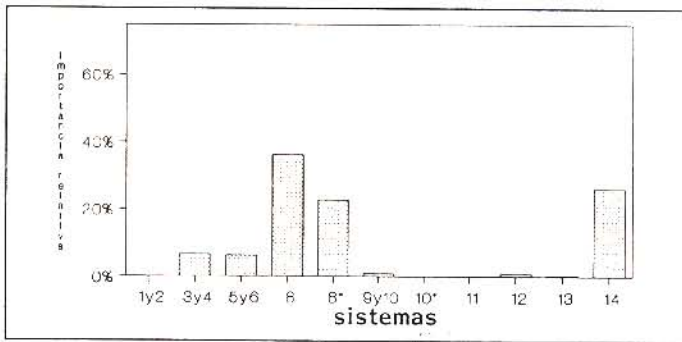


Figura 2. Época cálida (mayo-octubre). Región 1.

Tabla 3. Sistemas de tiempo productores de nubosidad por mes en el periodo mayo a octubre, y porcentaje respecto al total de sistemas en los 15 años analizados

Sistema	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
Vientos del oeste	2.6	0.7	0.5	0.5	1.9	4.7
Jet	2.1	1.1	0.3	1.0	0.4	2.1
Frente del ciclón extratropical	0.8	0.1	0.2	0.2	0.1	0.5
Monzón	0.3	1.0	2.7	3.6	0.0	0.3
Ciclón tropical	0.0	0.0	0.5	0.5	0.7	0.3

La máxima precipitación en esta región se presenta en invierno, época de la mayor incidencia de los vientos del oeste, la corriente de chorro y los frentes de ciclones extratropicales; aunque estos fenómenos suelen presentarse también en la mitad caliente del año, su frecuencia es muy baja.

Entre los sistemas propios del verano se encuentra el monzón, cuya importancia es mínima ya que en agosto, que es el de mayor frecuencia, tiene un máximo de 3.5% del número total de fenómenos productores de nubosidad en los 15 años estudiados; los ciclones tropicales se presentan aun con menor frecuencia, la cual en todo el periodo cálido, de mayo a octubre, representa sólo 2%, con un máximo de 0.7% en septiembre.

La escasa precipitación de la estación caliente del año puede atribuirse a la influencia combinada del monzón y de los ciclones tropicales, y sólo en una menor proporción a la corriente de chorro (jet) y a los vientos del oeste, ya que estos últimos fenómenos producen nubes de escaso desarrollo vertical.

Región 2. Sierra de San Pedro Mártir

Para el estudio de esta región no se dispuso de ninguna estación climatológica de largo periodo; pero de la presencia de fenómenos meteorológicos productores de nubosidad se deduce que la cantidad de precipitación de la temporada caliente del año puede ser menos escasa que en la región 1, ya que están presentes los mismos fenómenos de verano, aunque con porcentajes mayores (Tabla 2).

Tabla 4. Sistemas de tiempo productores de nubosidad por mes en el periodo mayo a octubre, y porcentaje respecto al total de sistemas en los 15 años analizados

Sistema	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
Vientos del oeste	2.3	0.5	0.5	0.9	1.8	5.0
Jet	1.7	1.2	0.3	0.8	0.2	2.2
Frente del ciclón extratropical	0.9	0.0	0.2	0.2	0.1	0.5
Monzón	0.2	0.9	2.0	2.6	0.0	0.2
Ciclón tropical	0.0	0.0	0.5	0.2	0.2	0.2

La figura 3 muestra dichas frecuencias en porcentaje y la figura 4 su importancia relativa.

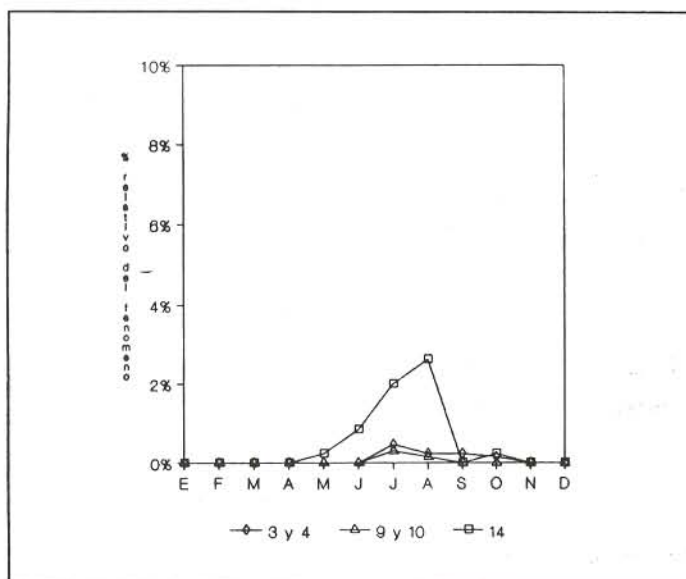


Figura 3. Sistemas de época cálida. Región 2.

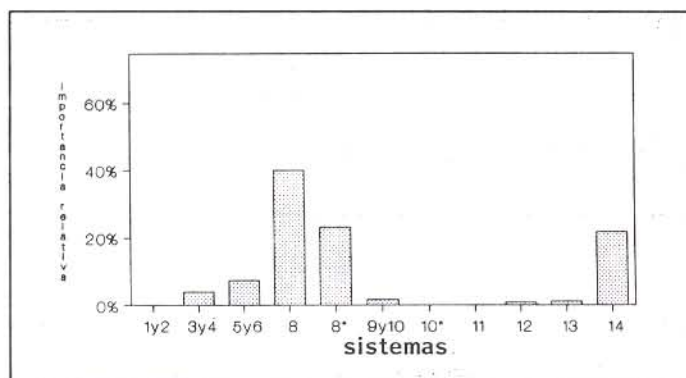


Figura 4. Época cálida (mayo-octubre). Región 2.

Región 3. Porción central de Baja California

Esta región abarca una larga franja, desde la frontera con Estados Unidos hasta el Océano Pacífico (**Mapa 1**). En ella, el régimen pluviométrico es intermedio entre verano e invierno; en Mexicali, estación representativa de la región, diciembre es el mes de mayor precipitación en el año y agosto el de mayor precipitación en verano (**Tabla 2**).

Tabla 5. Sistemas de tiempo productores de nubosidad por mes en el periodo mayo a octubre, y porcentaje respecto al total de sistemas en los 15 años analizados

Sistema	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
Vientos del oeste	1.8	0.4	0.4	0.4	1.0	2.8
Jet	2.4	0.7	0.3	0.7	0.4	2.0
Frente del ciclón extratropical	0.6	0.0	0.0	0.1	0.0	0.3
Monzón	0.8	2.5	4.6	6.0	3.5	1.0
Ciclón tropical	0.8	0.1	0.6	1.3	2.1	0.8

Como puede observarse, los sistemas de tiempo más frecuentes sobre el área son los vientos del oeste y el jet, aun en la mitad caliente del año; pero estos fenómenos no producen, en esta época, sino precipitaciones escasas debido a las nubes tipo estratos que generan. Por otra parte, el sistema de mayor frecuencia en la mitad veraniega es el monzón, siendo agosto el mes de mayor incidencia; este fenómeno es el responsable, junto con los ciclones tropicales, del segundo máximo de precipitación.

La **figura 5** muestra los fenómenos propios del verano, así como la distribución de la lluvia y la **figura 6** la importancia relativa de dichos sistemas.

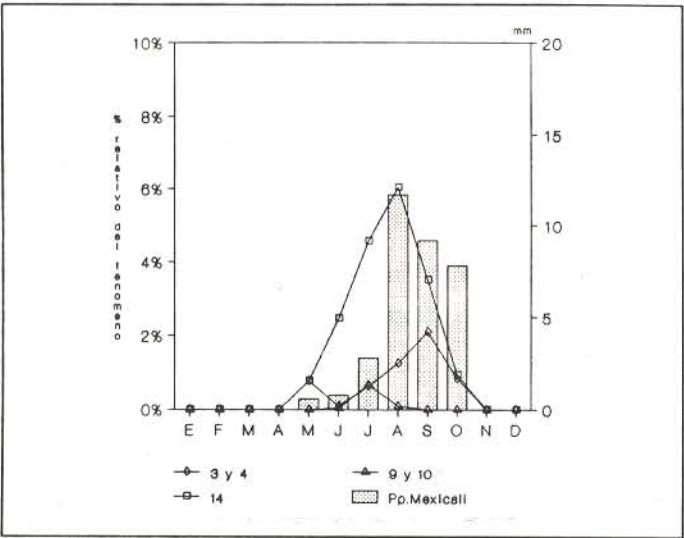


Figura 5. Sistemas de época cálida. Región 3.

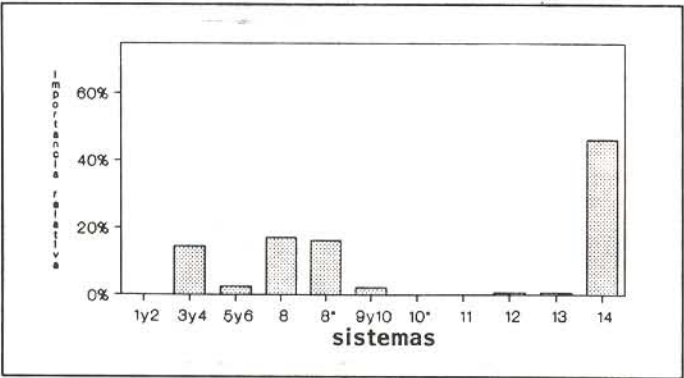


Figura 6. Época cálida (mayo-octubre). Región 3.

Región 4. Sureste de Baja California

El sureste de Baja California ya se caracteriza por tener régimen de lluvias de verano; en la estación climatológica de La Paz, representativa de la región, el mes de mayor precipitación es septiembre, con 65.0 mm en promedio (**Tabla 2**).

La **figura 7** muestra las frecuencias de los sistemas y la distribución de la precipitación en el año, y la **figura 8** la importancia relativa de los sistemas.

Aun cuando los fenómenos invernales se presentan con altas frecuencias, no son importantes desde el punto de vista de la precipitación; la explicación está en que las nubes producidas por tales sistemas de tiempo son altas y estratiformes de las que no se desprende precipitación de importancia, comparada con la producida por nubes de gran desarrollo vertical, generadas por los otros sistemas veraniegos.

El sistema más importante del verano en la región fue el monzón, con su mayor frecuencia (8.1%) en agosto, y los ciclones tropicales con una frecuencia de 2.1 en agosto y 3.3 en septiembre, éste por haber tenido más ciclones, resultó ser el más lluvioso del año.

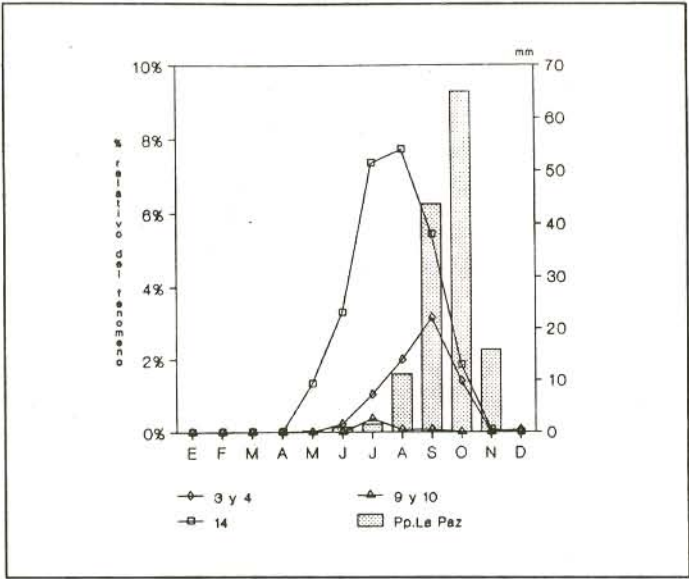


Figura 7. Sistemas de época cálida. Región 4.

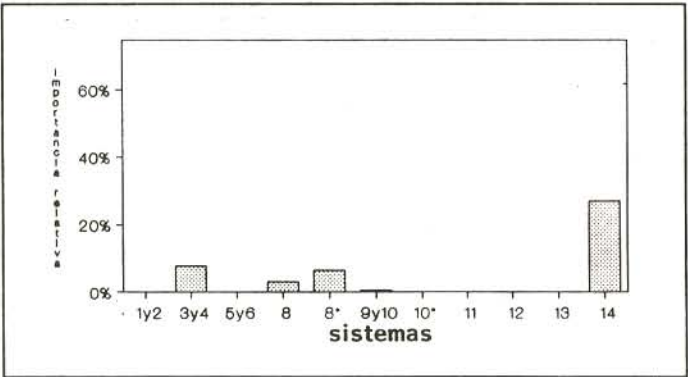


Figura 8. Época cálida (mayo-octubre). Región 4.

Tabla 6. Sistemas de tiempo productores de nubosidad por mes en el periodo mayo a octubre, y porcentaje respecto al total de sistemas en los 15 años analizados

Sistema	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
Vientos del oeste	1.0	0.1	0.2	0.2	0.2	1.4
Jet	3.4	0.3	0.2	0.4	0.1	2.3
Frente del ciclón extratropical	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Monzón	1.4	3.5	7.7	8.1	5.7	1.9
Ciclón tropical	0.0	0.2	1.1	2.1	3.3	1.5

Región 5. Desierto de Altar

Comprende el noroeste del estado de Sonora. La estación representativa de la región es Hermosillo con régimen pluviométrico de verano, pero con un porcentaje relativamente alto de precipitación invernal: 11.3% respecto de la total anual (Tabla 2).

El alto porcentaje de precipitación invernal denota que en dicha temporada son frecuentes los sistemas de tiempo productores de nubosidad; en efecto, puede observarse en la siguiente tabla que el número de fenómenos productores de nubes del verano es ligeramente mayor que el de invierno.

La figura 9 muestra las frecuencias de los fenómenos en porcentaje y la distribución anual de la lluvia, y la figura 10 la importancia relativa de esos sistemas.

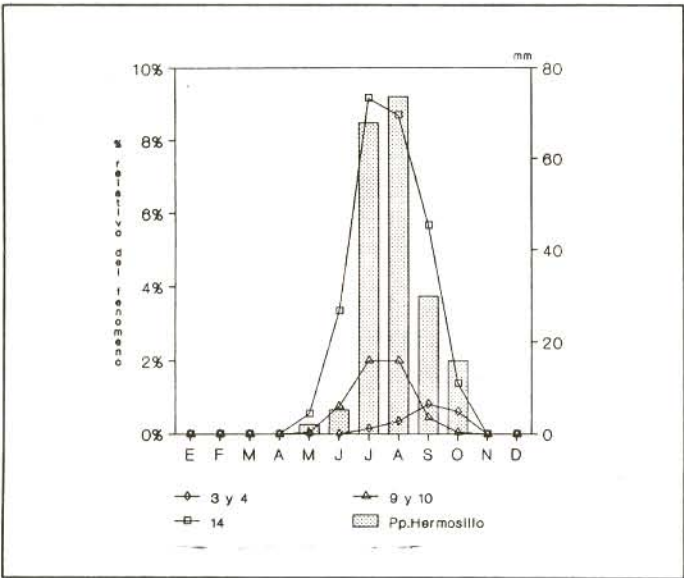


Figura 9. Sistemas de época cálida. Región 5.

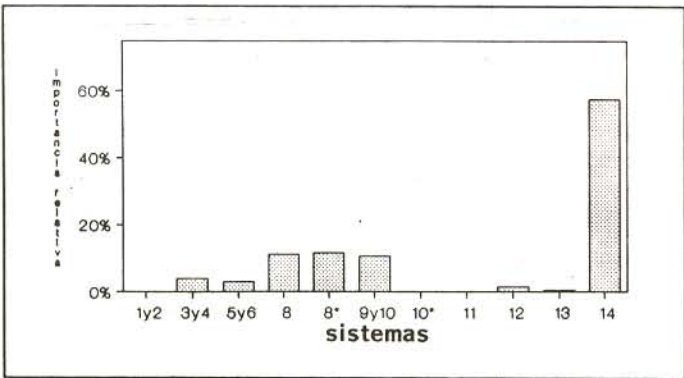


Figura 10. Época cálida (mayo-octubre). Región 5.

Como en las regiones anteriormente estudiadas, los sistemas propios del invierno también se presentan en verano; no obstante, el monzón es, con mucho, el de mayor frecuencia y el responsable, junto con los ciclones tropicales, del máximo de precipitación observado.

Tabla 7. Sistemas de tiempo productores de nubosidad por mes en el periodo mayo a octubre, y porcentaje respecto al total de sistemas en los 15 años analizados

Sistema	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
Vientos del oeste	1.3	0.4	0.3	0.5	1.1	2.0
Jet	1.8	0.7	0.3	0.7	0.4	2.0
Frente del ciclón extratropical	0.4	0.0	0.4	0.0	0.4	0.4
Monzón	0.6	3.4	9.2	8.7	5.7	1.4
Ciclón tropical	0.0	0.0	0.2	0.4	0.8	0.6
Alisios del E y NE	0.1	0.8	2.0	2.0	0.5	0.1

Región 6. Llanura costera del Pacífico

En esta región, que abarca la llanura costera del Pacífico desde el sur de Sonora hasta Nayarit, se consideraron tres estaciones climatológicas como representativas: Ciudad Obregón, Son., Culiacán, Sin. y Tepic, Nay. Sus datos se muestran en la **tabla 2**.

Los tres sitios de observación tienen régimen de lluvias de verano, aunque el porcentaje de lluvia invernal va disminuyendo de norte a sur, de manera que Ciudad Obregón tiene 7.2, Culiacán 4.8 y Tepic 3.5%, lo cual sugiere que los fenómenos invernales productores de nubosidad van disminuyendo paulatinamente hacia el sur, así en intensidad como en frecuencia.

Al analizar los datos de precipitación de las tres estaciones climáticas se nota que de la precipitación total anual el porcentaje que se concentra en el periodo de mayo a octubre es de 83.0 en Ciudad Obregón, 86.5 en Culiacán y 91.8% en Tepic, poniendo de manifiesto que los fenómenos propios de la mitad caliente del año son mucho más importantes en la producción de lluvia que aquéllos de la mitad fría, y que su importancia aumenta de norte a sur.

La **figura 11** muestra la frecuencia de los sistemas productores de nubes en la mitad caliente del año (**Tabla 2**); la **figura 12** muestra la importancia relativa de dichos sistemas de tiempo. El 73.1% de estos sistemas corresponde al monzón, el que, como ya se mencionó, acarrea humedad proveniente del Océano Pacífico, introducido a la troposfera media en la zona intertropical de convergencia por las perturbaciones ciclónicas que viajan de este a oeste sobre las aguas del Pacífico; la cantidad de precipitación se incrementa localmente por el ascenso orográfico del aire húmedo sobre las laderas montañosas de las sierras, que en algunos sitios de la región se encuentran muy próximas al litoral.

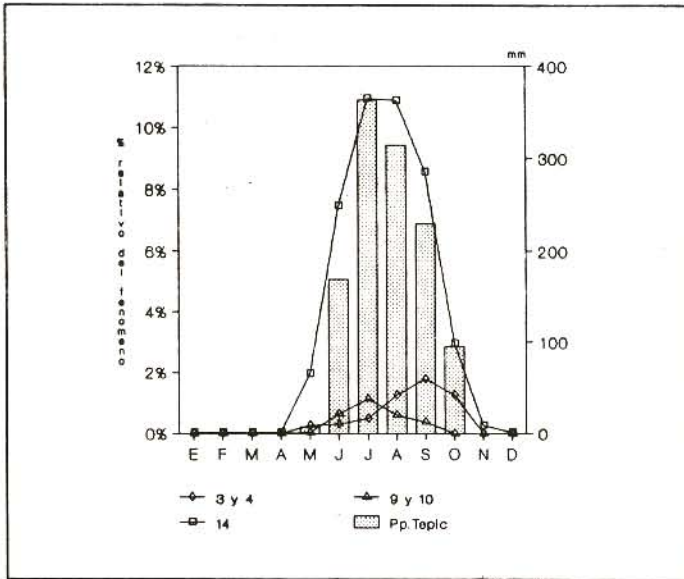


Figura 11. Sistemas de época cálida. Región 6.

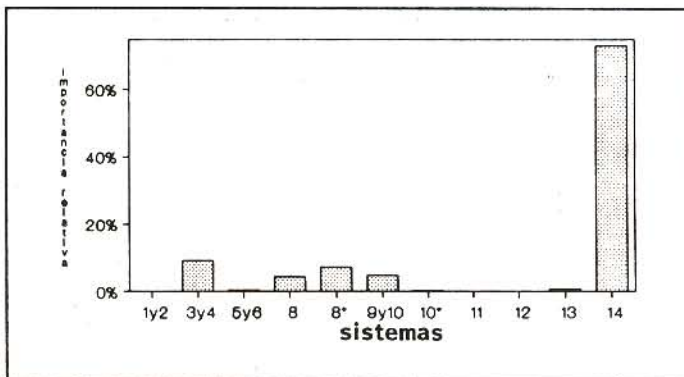


Figura 12. Época cálida (mayo-octubre). Región 6.

Tabla 8. Sistemas de tiempo productores de nubosidad por mes en el periodo mayo a octubre, y porcentaje respecto al total de sistemas en los 15 años analizados

Sistema	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
Vientos del oeste	1.0	0.2	0.1	0.3	0.0	0.9
Jet	2.2	0.2	0.0	0.2	0.2	1.5
Frente del ciclón extratropical	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1
Monzón	2.0	7.5	11.0	10.9	8.6	3.0
Ciclón tropical	0.3	0.3	0.5	1.3	1.8	1.3
Alisios del E y NE	0.0	0.6	1.1	0.6	0.4	0.0

En la región el monzón tuvo su mayor frecuencia en julio (11.0) y en agosto (10.9%), en tanto que los ciclones tropicales fueron más frecuentes en septiembre, seguidos de agosto y octubre.

El resultado fue que agosto resultó el mes más lluvioso en Ciudad Obregón y Culiacán, y julio en Tepic.

Región 7. Norte de la Sierra Madre Occidental

Esta región comprende la porción boreal de la Sierra Madre Occidental, del paralelo 25° N a la frontera con Estados Unidos.

La estación climatológica representativa es Ciudad Guerrero, Chih., cuyos datos de precipitación se muestran en la **tabla 2**, en donde puede observarse que la estación lluviosa es en verano.

La **figura 13** nos presenta la frecuencia de los fenómenos productores de nubes en la mitad caliente del año (**Tabla 2**) y la **figura 14**, la frecuencia relativa de esos sistemas.

Se aprecia que de los fenómenos propios de la mitad caliente del año, el monzón es el más importante, con una frecuencia de 73% respecto al total de fenómenos de esta época; le siguen en importancia los ciclones tropicales con 9.1, el jet con 7.3 y los alisios del este y noreste con 4.8%; el responsable de la mayor cantidad de precipitación de esta temporada sería el monzón, enriquecido en humedad por los ciclones, seguido por los alisios.

Región 8. Sur de la Sierra Madre Occidental

Abarca la parte alta de la Sierra Madre Occidental en el estado de Durango; su estación climatológica representativa es Guanaceví, Dgo. (**Tabla 2**). El régimen pluviométrico de la región, de acuerdo con estos datos, es de verano.

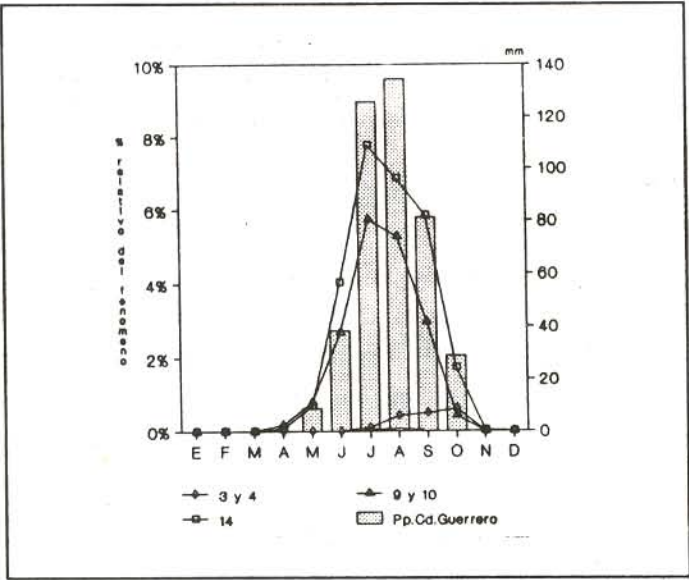


Figura 13. Sistemas de época cálida. Región 7.

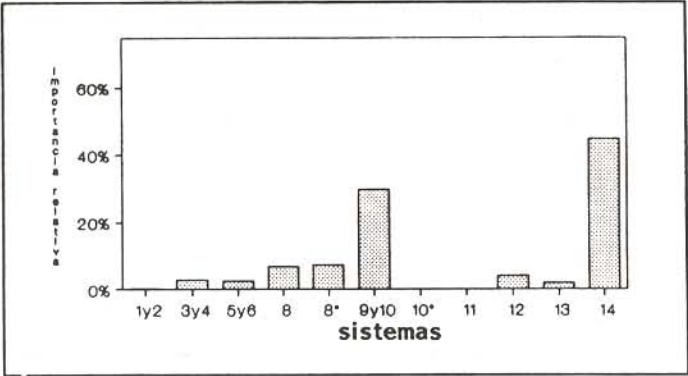


Figura 14. Época cálida (mayo-octubre). Región 7.

Tabla 9. Sistemas de tiempo productores de nubosidad por mes en el periodo mayo a octubre, y porcentaje respecto al total de sistemas en los 15 años analizados

Sistema	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
Vientos del oeste	1.3	0.3	0.3	0.4	0.4	1.3
Jet	2.0	0.3	0.0	0.3	0.3	1.4
Frente del ciclón extratropical	0.3	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4
Monzón	0.7	4.0	7.8	6.9	5.9	1.7
Ciclón tropical	0.0	0.0	0.2	0.5	0.6	0.6
Alisios del E y NE	0.8	2.7	5.7	5.3	3.0	0.4

La **figura 15** muestra la frecuencia de los fenómenos productores de nubes en la mitad caliente del año; la **figura 16** muestra la importancia relativa de dichos sistemas.

El monzón es el fenómeno más importante en la mitad caliente del año en la región, se presentó 832 días en el periodo de 15 años, lo cual representa 47.8% del total de fenómenos veraniegos, como siempre, su humedad se ve incrementada por los ciclones tropicales; le siguen en importancia los alisios que produjeron la nubosidad en la región 585 veces, lo cual representa 33.6% del total de fenómenos en esa época.

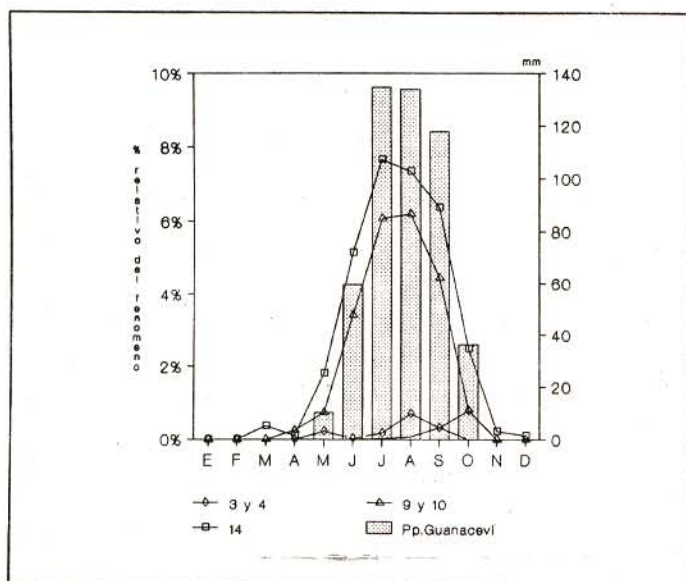


Figura 15. Sistemas de época cálida. Región 8.

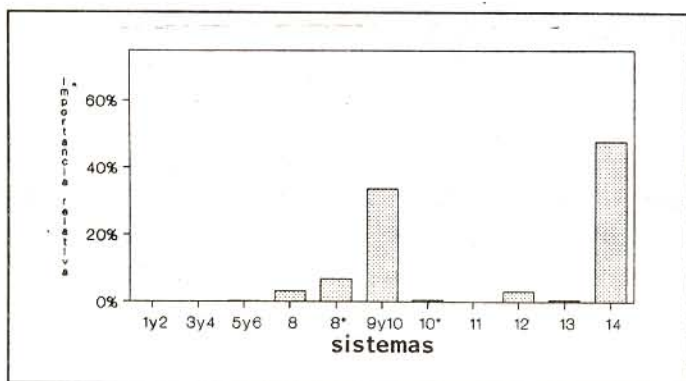


Figura 16. Época cálida (mayo-octubre). Región 8.

Tabla 10. Sistemas de tiempo productores de nubosidad por mes en el periodo mayo a octubre, y porcentaje respecto al total de sistemas en los 15 años analizados

Sistema	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
Vientos del oeste	1.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.7
Jet	2.6	0.2	0.0	0.1	0.1	1.4
Frente del ciclón extratropical	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.7
Monzón	1.8	5.2	7.7	7.3	6.4	2.5
Ciclón tropical	0.2	0.0	0.2	0.7	0.3	0.8
Alisios del E y NE	0.7	3.4	6.1	6.2	4.5	0.8

De esta tabla se desprende que el máximo de precipitación está en íntima relación con el monzón y con los alisios, ya que el mes más lluvioso es julio seguido muy cerca por agosto.

Resumen y conclusiones

La siguiente tabla (11) muestra la importancia de los sistemas de tiempo en las ocho regiones estudiadas, y cómo varió su frecuencia en los 15 años de análisis de imágenes de satélite. De la misma tabla se desprende que los sistemas de tiempo que producen nubosidad en el noroeste de México difieren de unas regiones a otras de la siguiente manera.

Los sistemas de invierno, tales como los vientos del oeste, el jet y los frentes de los ciclones extratropicales no son importantes durante la estación caliente del año, salvo en la porción más noroccidental del país: regiones 1 y 2, no obstante, por producir nubes de tipo estrato la precipitación que pueden generar es muy escasa.

Los sistemas de verano más importantes en la producción de nubosidad y de precipitación son: el monzón, los ciclones tropicales y los alisios del este y noreste.

Tabla 11. Porcentaje de los sistemas que visitaron el área en estudio de mayo a octubre, respecto al número total en el mismo periodo

Sistema de tiempo	REG2	REG1	REG8	REG3	REG5	REG7	REG4	REG6
Vientos del oeste	39.9	36.0	6.8	17.1	3.1	11.1	6.6	4.3
Jet	23.2	22.7	7.2	16.3	6.7	11.7	14.3	7.3
Frente del ciclón extratropical	7.4	6.3	2.5	2.5	0.2	3.0	0.3	0.4
Monzón	21.8	26.2	44.8	46.2	47.8	54.4	60.3	73.1
Ciclón tropical	4.0	6.6	3.0	14.4	3.5	3.9	17.4	9.1
Alisios	--	--	29.8	--	33.6	10.7	--	4.8

Es interesante hacer notar que para la climatología de las costas del Pacífico tiene una gran importancia la presencia del monzón, visto en las imágenes de satélite como nubosidad proveniente del Océano Pacífico, con origen en la humedad introducida en la troposfera media por la zona intertropical de convergencia y los fenómenos que en ella se originan, como son las perturbaciones ciclónicas y los ciclones tropicales.

Si no fuera por este sistema de tiempo privarían condiciones de extrema sequía, aun en el periodo de mayo a octubre, ya que los vientos dominantes en la región serían los alisios del E y NE, que son de carácter continental y descendente.

Las diferencias en la cantidad de precipitación que año con año se presentan en el área pueden atribuirse a la posición variable de la Zona Intertropical de Convergencia y al carácter veleidoso de los ciclones tropicales responsables, en gran parte, de las variaciones en humedad de la troposfera media sobre el Pacífico y, por ende, del contenido en humedad del monzón, el cual transporta dicha humedad hacia el interior del país.

En efecto, en un estudio previo de García y Trejo (1990b) se muestran las situaciones de tiempo que privó sobre el estado de Nayarit, en un año húmedo y en uno seco, y se señala, como causa primordial de la diferencia de humedad, la mayor frecuencia de ciclones tropicales en el año húmedo.

Una observación importante que se desprende de este estudio es que en el norte predominan los fenómenos invernales, como vientos del oeste, jet y frentes de ciclones extratropicales, aun en la mitad caliente del año, y que su frecuencia disminuye hacia el este y hacia el sur. En cambio, la frecuencia del monzón va aumentando hacia el este y hacia el sur del área en estudio; la región 6 es en la que se presenta la mayor frecuencia.

El método de análisis empleado en este trabajo es una importante herramienta para relacionar las imágenes de satélite con la precipitación en el territorio mexicano, y consiste en:

- a) estudiar de manera cualitativa la cubierta nubosa, diariamente, en conexión con las cartas del tiempo y con la precipitación máxima en 24 horas; y
- b) calcular las frecuencias y la importancia de cada sistema de tiempo en producir nubes.

Este método ha sido también de gran utilidad para realizar una revisión de la circulación general de la atmósfera sobre México y dar a cada sistema de tiempo la importancia que merece; así como para mostrar cuáles son los sistemas responsables de la precipitación en el noroeste de México, en especial el monzón, ya que en el pasado se creía que los alisios eran el fenómeno más importante en la producción de precipitación en todo el país.

Reconocimientos

Este proyecto fue parcialmente financiado por el CONACyT. Agradecemos también al doctor Lorrain Giddings, del Instituto de Ecología, el habernos facilitado numerosas imágenes de satélite que fueron utilizadas en el análisis.

Bibliografía

- Abramovich, K. G. *et al.*, The Approach to Applications of Satellite Data in USRR for Aviation Interests, *Technical Note* 142, W. V. D., núm. 413.
- Air Weather Service, U. S. Airforce (1969), Application of Meteorological Satellite data in Analysis and Forecasting, *Tech. Report* núm. 212.
- Anderson, R. *et al.* (1965), *Applications of Meteorological Satellite*, Air Weather Service (MAC), U. S. Airforce.
- Barret, E. C. (1970), *Climatology from Satellites*, N. Methuen and Co.
- Clapp, P. F. y J. Posey (1970), Estimating Environmental Parameters from macro-scale Video Brightness Data of ESSA Satellites, Extended Forecast Division, NMC, Washigton, D. C., 27 p.
- Fingerard, F. G. y R. M. McInturff, Applications of Satellite Data to Aeronautical Meteorology, *Technical Note* 142, WMO, núm. 413.
- Gaby, D. C. y K. O. Poteat (1973), ATS-3 Satellite Derived Low Level Winds, *Journal Appl. Meteorol.*, vol. 12, núm. 7, pp. 1054-1061.
- García, E. (1965), Distribución de la precipitación en la República Mexicana, publicaciones del Instituto de Geografía, vol. 1, UNAM, México, pp. 171-191.

- García, E. (1970), *Rainfall Regimes of Mexico and Associated Meteorological Phenomena Using Satellite Cloud Pictures*, Reporte final, Universidad de Wisconsin, E. U. A.
- García, E. (1988), Reporte final del Proyecto Nubes, precipitación y agricultura mediante el uso de fotos de satélite, presentado al CONACyT.
- García, E. y M. E. Hernández (1989), Anomalías de la precipitación en la República Mexicana (respecto a la moda de largo periodo), *Revista Geografía*, INEGI.
- García, E. y R. I. Trejo, (1990a), Climatología de satélites aplicada al estudio de la precipitación en México, *Memoria del XII Congreso Nacional de Geografía*, tomo I, pp. 224-233, Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística e Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Tepic, Nay.
- García, E. y R. I. Trejo (1990b), Causas de la precipitación en Nayarit, *Memoria del XII Congreso Nacional de Geografía*, tomo I, pp. 234-243, Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística e Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Tepic, Nay.
- García, E. *et al.*, (1973-1977), *Precipitación y probabilidad de la lluvia en la República Mexicana y su evaluación*, 19 vols., Serie Climas, CETENAL-Instituto de Geografía, UNAM.
- Horn, L. H. y R. A. Bryson (1960), Harmonic Analysis of the Annual March of Precipitation over the United States, *Annals of the Assoc. of American Geographers*, vol. 50, núm. 2, pp. 157-171.
- Jenne, R. L. (1981), *Availability of Data from Cloud Studies*, National Center of Atmospheric Research, Boulder, Co.
- Matter, J. R. (1974), *Climatology: Fundamentals and Applications*, McGraw-Hill.
- Mosiño, A. P. (1964), Tiempo superficial y configuración del flujo aéreo superior en México, *Geofísica Internacional*, Instituto de Geofísica, UNAM, 4(3), pp. 117-168.
- Mosiño, A. P. y E. García (1981), *La cantidad de lluvia más frecuente (moda) en la República Mexicana*, DETENAL, SPP.
- Mosiño, A. P. y E. García (1981), The Variability of Rainfall in Mexico and its Determination by Means of the Gamma Distribution, *Geografiska Annaler*, 63a., Estocolmo, pp. 1-10.
- NASA (1983), *The Pilot Climate Data Base Management System, User's Guide*, Information Management Branch, Goddard Space Flight Center, NASA, Greenbelt, Maryland, 20771.
- Oliver, J. E. (1981), *Selected Applications*, John Wiley and Sons, Nueva York.

- Panofsky, H. A. y G. W. Brier (1968), *Some Applications of Statistics to Meteorology*, University Park, Pa.
- Pérez V., G. (1989), Carta de viento dominante durante el año, (IV.4.2), en Atlas Nacional de México, vol. II, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Sabbagh, M. E. y R. A. Bryson (1962), *An Objective Precipitation Climatology of Canada*, University of Wisconsin, Dept. of Meteorology, Madison, Wisc.
- Sadler, J. C. (1964), Tropical Cyclones of the Eastern North Pacific as Revealed by the TYROS Observatories, *Journal of Applied Meteorology*, vol. 3, núm. 4.
- Scofield, R. A. y V. J. Oliver (1977), Using Satellite Imagery to Estimate Rainfall from two Types of Convective Storms, 11th. Tech. Conference of Hurricanes and Tropical Meteorology, Am. Met. Soc., Boston, Mass., pp. 204-211.
- Servicio Meteorológico Nacional (1969-1984), *Boletín Meteorológico Mensual*, Dirección de Geografía, SARH.
- Smith, P. E., L. Treinish y L. V. Novak (1983), Pilot Climate Data System: A State of the Art Capability in Scientific Data Management, NASA, *Technical Memorandum*.
- Wallen, C. C. (1955), Some Characteristics of Precipitation in Mexico, *Geografiska Annaler*, Estocolmo, Suecia.
- Woodly, W. L. y B. Sancho (1971), A First Step Towards Rainfall Estimation from Satellite Cloud Photographs, *Weather*, núm. 7, pp. 279-289.