

## Capítulo 4

### El clima y la variabilidad pluviométrica en el norte de México

Jean-François Nouvelot, Luc Descroix, Juan Estrada Avalos

---

Aunque el territorio mexicano presenta una dominancia tropical, caracterizada por la alternancia de una estación de lluvias durante los meses más calurosos del año y una estación seca o relativamente seca en los meses más fríos, la mayor parte de la mitad septentrional, 60 por ciento de la superficie del país, corresponde a las zonas áridas y semiáridas que reciben, en promedio, menos de 500 mm de lluvia al año (García, 1964). Esta vasta región, situada entre el trópico de Cáncer y el meridiano 32° de latitud norte, esta constituida por altas planicies con altitudes que varían entre los 1000 y 1200 msnm, circundadas tanto al este como al oeste por dos importantes cadenas montañosas. Sin embargo, dentro del Altiplano se presentan relieves localizados que pueden alcanzar los 2000 msnm. Este contexto geográfico particular explica el carácter continental que refleja no solo las bajas precipitaciones, sino también las tasas de evaporación que representan entre 5 y 10 veces la cantidad de lluvia precipitada (García, 1993). No obstante, este carácter continental se explica en mayor medida por el papel que tienen las circulaciones atmosféricas y oceánicas próximas a la zona. Las primeras fuertemente dependientes de las altas presiones subtropicales, en tanto que las segundas transportan las aguas frías a lo largo de las costas de Baja California, dos factores poco favorables para la formación de precipitaciones abundantes.

Es de entenderse que, en tales condiciones, el problema de la disponibilidad del recurso agua es una preocupación permanente, por encima de las restricciones edáficas, entre ellas la pendiente, ya que los suelos de esta región son fácilmente explotables en comparación con

los del sur del país donde predominan las zonas de relieves pronunciados. Si la mitad de las tierras cultivadas en estas regiones desérticas es irrigada, eso no significa de ninguna manera que solo los cultivos de temporal estén sujetos a las incertidumbres climáticas. Las reservas de aguas superficiales, a pesar de la presencia de grandes presas, pueden resultar insuficientes en ciertos años. Por ello, recurrir de manera masiva a las aguas subterráneas, de las cuales se desconoce aún la recarga precisa (Brouste, 1996), sería una medida limitada y peligrosa; reflejo de una política de gestión a corto plazo hipotecando el futuro.

### **Los factores del clima.**

El clima que caracteriza al norte de México se rige esencialmente:

- por su situación en latitud, al norte del trópico de Cáncer, donde la circulación zonal esta bajo la dominancia de las altas presiones subtropicales;
- por su relieve que obstaculiza la entrada de masas húmedas de aire;
- por las aguas frías de la corriente de California a lo largo de las costas de Baja California.

La cuenca del río Nazas que se sitúa en la parte meridional de esta región (de latitudes 23° a 26°30' norte) se encuentra sensiblemente expuesta a las mismas influencias (Figura 4.1).

De diciembre a mayo, el Altiplano Mexicano al igual que el litoral del pacífico, se encuentra bajo el régimen de altas presiones subtropicales. Los vientos del este, dominantes en estas latitudes, solo penetran la zona costera del Atlántico. De junio a noviembre, las altas presiones ocupan una posición más septentrional y estacionaria sobre el extremo noroeste de México y California, en los Estados Unidos (desierto costero). Los flujos de aire húmedo pueden entonces penetrar el Altiplano Mexicano (Santibáñez, 1992; Cornet, 1988; Delhoume, 1995). Las masas de aire provenientes del Golfo de México, con tendencia a desecarse al traspasar la Sierra Madre Oriental, pueden al mismo tiempo crear una inestabilidad propicia para dar origen a lluvias convectivas. Estas masas de aire se encuentran con las masas provenientes del océano Pacífico a la altura de la Sierra Madre Occidental, formando el Frente Tropical Mexicano (CNA, 1975) que se sitúa aproximadamente 10° al norte del Frente Intertropical (FIT), con una orientación general NO-SE. Así, al oeste se crea una inestabilidad favorable para la incidencia de precipitaciones con el importante efecto que tiene la orografía en esta zona; aún si los relieves raramente sobrepasan 3300 msnm, pocos de ellos se encuentran por debajo de los 2500 msnm. Del lado oriental de esta barrera natural, las precipitaciones disminuyen sensiblemente en tanto éstas se alejan del Pacífico.

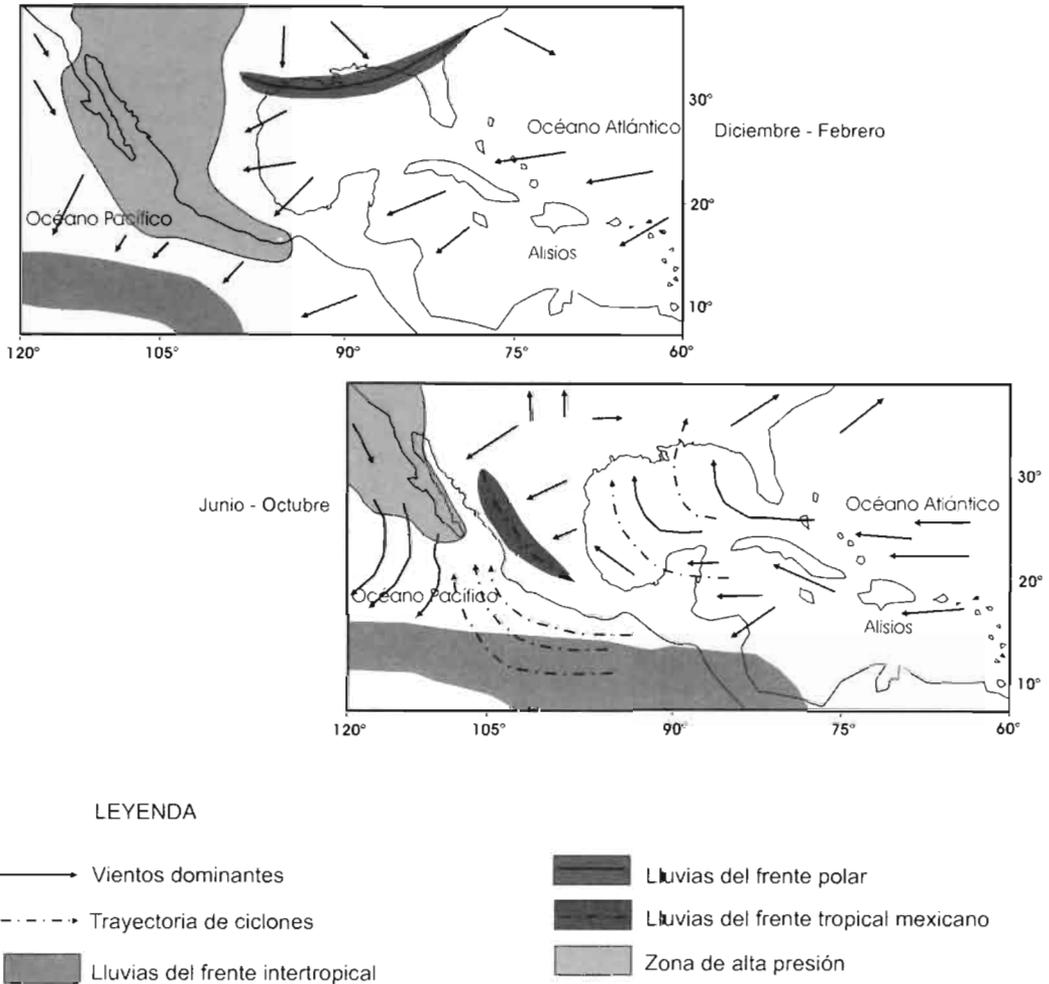


Figura 4.1. Circulación atmosférica general para México.

A finales del mes de agosto, los remanentes de los ciclones formados principalmente sobre el océano Pacífico (los del Atlántico se dirigen generalmente hacia el estado de Texas y la costa del Golfo de México), pueden traspasar el obstáculo que conforma la Sierra Madre Occidental. Las precipitaciones más importantes pueden ser observadas sobre las crestas y vertientes orientales de la Sierra, donde la duración de las mismas compensa su baja intensidad. A pesar de todo, lo esencial de estas precipitaciones se vierte principalmente sobre el litoral y los primeros relieves. El 13 y 14 de Octubre de 1994, los remanentes de una depresión tropical alcanzaron la ciudad de Durango, situada en el altiplano a una altura inferior a los 2000 msnm, precipitándose 70 mm de lluvia en un lapso de 24 horas, en tanto que en la ciudad de Torreón,

localizada a 200 km al noreste de Durango con un altitud de 1100 msnm, se registraron 30 mm de lluvia en el mismo lapso. Más al norte, dentro de la Sierra Madre Occidental, los remanentes de esta tormenta provocaron de 30 a 40 mm de lluvia sobre las ciudades de Santiago Papasquiaro y Guanacevi (en la parte alta de la cuenca), señalando que la trayectoria SO-NE de este tipo de perturbaciones presenta en ocasiones una disposición hacia el este (Nouvelot y Descroix, 1996).

## **Repartición regional y temporal de la aridez**

A la escala del total anual de la lluvia, el gradiente altitudinal y la distancia al océano explican en forma adecuada la repartición espacial de las precipitaciones (83 por ciento de la varianza). Estos dos factores no son independientes, la altitud disminuye hacia el centro de la cuenca endorreica<sup>1</sup> a medida que se aleja del océano Pacífico, sin generarse otro tipo de aporte sobre el continente contrariamente a lo observado por ejemplo en el Sahel, en el continente Africano, donde el 50 por ciento de las lluvias no son provocadas por entradas oceánicas. Además del rol del obstáculo orográfico, ligado a la rugosidad del relieve frecuentemente acentuado por una cobertura arbórea significativa, las zonas montañosas favorecen la condensación del vapor de agua por una disminución de las temperaturas, siendo ésta más importante en tanto se incrementa la altitud (ver Capítulo 10).

La repartición mensual de las precipitaciones, llamado régimen pluviométrico por los climatólogos, presenta de igual forma una gran homogeneidad. El perfil medio mensual se define a partir de 60 estaciones pluviométricas distribuidas sobre el ensamble de la cuenca, utilizando el método de Clasificación Jerárquica Ascendente (CJA). A fin de evitar el efecto de la abundancia, es decir que una estación con mayor cantidad de precipitación tenga el mismo peso que una de menor cantidad, los doce valores mensuales de cada una de ellas se tradujeron en porcentaje del total anual. A partir de una división inicial, donde cada estación representa una clase dentro de un espacio de doce dimensiones (los valores mensuales), las reagrupaciones se realizaron por aglomeraciones sucesivas para las clases más próximas, caracterizadas por su centro de gravedad. La distribución media obtenida (Cuadro 4.1) muestra una estación de lluvias estival bien definida, la cual se extiende de junio a septiembre y representa el 78 por ciento del total anual con un máximo en agosto. Las lluvias de invierno no sobrepasan el 8 por ciento de este mismo total. El análisis más detallado permite distinguir una zona norte y nororiental que se caracterizan por una distribución de lluvias estivales más estrecha con un total inferior al 70 por ciento del total anual, teniendo la ventaja de estar expuesta a ciertas entradas procedentes del este (remanentes ciclónicos provenientes del océano Atlántico, y del noreste: avances invernales del frente polar). En este caso, las lluvias

---

<sup>1</sup> Ver Glosario

invernales alcanzan el 12 por ciento en tanto que las lluvias de mayo y octubre son ligeramente más abundantes.

**Cuadro 4.1. Distribución mensual de las precipitaciones dentro de la cuenca del río Nazas (porcentaje del total anual).**

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Zona: N-NE	3.9	2.2	1.1	2.6	6.0	13.5	17.2	19.7	18.1	8.0	3.3	4.4
Resto de Nazas	3.0	1.1	0.4	1.6	3.5	12.9	22.3	24.1	18.4	6.9	2.4	3.2

La homogeneidad climática encontrada, tanto a nivel regional como temporal donde se analizan únicamente los valores o indicadores medios, solo representa un aspecto incompleto de situaciones mucho más complejas y contrastadas. Esta homogeneidad es el reflejo de la periodicidad<sup>2</sup> de los fenómenos observados que oscilan, en mayor o menor medida de acuerdo al tipo de clima, en relación a una condición "normal".

Una manera sencilla de definir cuantitativamente la variabilidad de un factor observado es partir de su coeficiente de variación,  $C_v$ , el cual se define como la relación que existe entre la desviación estándar,  $\sigma$ , y la media,  $m$ .

$$C_v = \sigma / m$$

La desviación estándar o la varianza ( $\sigma^2$ ), que determina la dispersión de las observaciones en función a la media por un simple cálculo de desviaciones, se relaciona directamente con las observaciones. En otras palabras, se corre el riesgo de que ésta sea más importante cuando los valores observados son más elevados. De esta forma, no es posible comparar entre ellos factores u observaciones de la misma naturaleza que representan valores muy diferentes; por ejemplo, precipitaciones de zonas desérticas con precipitaciones de zonas húmedas. Este efecto de abundancia se elimina al dividir los valores observados entre la media.

La variabilidad de las precipitaciones anuales en la cuenca del río Nazas, al igual que en el norte árido y semiárido de México, se caracteriza por un sensible decremento a medida que

<sup>2</sup>Ver Glosario

las precipitaciones aumentan (Delhoume, 1992; Estrada *et al.*, 1993; Descroix *et al.*, 1997). El coeficiente de variación pasa de un valor de 0.4 – 0.5 para una precipitación anual de 200 mm, a solo 0.15 – 0.30 cuando ésta es de 600 mm anuales. Estos valores no presentan un carácter de excepción, ya que son comparables con los observados en África del Oeste y Centro en la región de Sahel, inferiores al noreste de Brasil y, sobre todo, muy inferiores (menos de la mitad) a los que caracterizan las zonas costeras meridionales del Ecuador (cuadro 4.2).

**Cuadro 4.2. Coeficiente de variación de las precipitaciones anuales de diferente regiones áridas.**

PP anual mm	Norte México	Sahel África	Noreste Brasil	Ecuador Costa	Ecuador Andes
200	0.40 - 0.50	0.30 - 0.45		0.75 - 1.00	
300	0.35 - 0.45	0.25 - 0.40		0.60 - 0.80	
400	0.25 - 0.40	0.25 - 0.35		0.45 - 0.65	
500	0.20 - 0.30	0.20 - 0.30	0.35 - 0.45	0.40 - 0.60	0.15 - 0.30
600	0.15 - 0.30	0.20 - 0.30	0.30 - 0.40	0.40 - 0.55	

El fenómeno de "El Niño" - *Southern Oscillation* (ENSO), causado por un doble sistema de circulación oceánica - circulación atmosférica (Gill, 1983; McPhaden y Picaut, 1991) y que se traduce, entre otros efectos, en una elevación significativa de las temperaturas en la superficie del océano Pacífico tropical central y oriental (Delcroix, 1998), es la causa de esta excepcional irregularidad. Así, mientras que estas regiones se encuentran sujetas a los efectos de este fenómeno complejo y aún escasamente conocido, ciertas regiones desérticas (Ecuador, Perú) se pueden beneficiar de precipitaciones observadas generalmente en clima tropical húmedo. Por el contrario, dentro del corredor interandino que se localiza a las mismas latitudes de estas regiones pero con altitudes que varían entre los 2200 y 3000 msnm, las lluvias anuales entre los 400 y 600 mm se sitúan con coeficientes de variación (Cv) sensiblemente comparables con los observados en el norte de México.

Es necesario señalar que para un coeficiente de variación superior a 0.20, la distribución estadística de las observaciones deja de ser normal (distribución de Gauss), presentando una cierta asimetría (generalmente positiva para las precipitaciones), siendo en este caso de mayor importancia que el Cv y por consecuencia la variabilidad es mayor.

Para facilitar la comparación con otras regiones, usualmente se consideran las frecuencias de aparición decenal ( $F = 0.10$ ) ya que representan una referencia satisfactoria. Un evento

correspondiente a  $F = 0.10$ , donde su inverso  $T = 1/F$  se define como período de retorno expresado en años, se presenta en promedio uno de cada diez años, sin que ello signifique evidentemente que se repita cada diez años. Así, la probabilidad de observar una lluvia de frecuencia decenal dentro de la crónica de diez años es del 39 por ciento, por el contrario existen 19 posibilidades sobre 100 de observar dos y 1.5 posibilidades sobre 1000 de observar cinco.

Bajo la isoyeta anual de 400 mm, la lluvia diaria de frecuencia decenal es de 45 a 70 mm dentro del norte de México, de 80 a 100 mm en el Sahel en el continente africano, de 95 a 115 mm en el noreste de Brasil y de 75 a 100 mm en la zona costera ecuatoriana. Solo la zona interandina se caracteriza por valores menos importantes, de 20 a 40 mm (Cuadro 4.3).

**Cuadro 4.3. Lluvias diarias de frecuencia decenal en diferentes regiones áridas (en mm).**

PP. anual mm	Norte México	Sahel África	Noreste Brasil	Ecuador Costa	Ecuador Andes
200	40 - 60	55 - 75		65 - 75	
300	40 - 65	70 - 90		70 - 85	
400	45 - 70	80 - 100	90 - 115	75 - 100	20 - 40
500	45 - 72	90 - 105	95 - 120	80 - 110	25 - 45
600	47 - 75	95 - 110	100 - 120	90 - 120	30 - 50

Es difícil establecer, en este dominio, el rol fundamental que tiene la altitud. La tendencia permanece sensiblemente igual si se considera la lluvia precipitada durante intervalos de tiempo más cortos. Comparando las intensidades de frecuencia decenal observadas en 30 minutos, para una precipitación promedio anual de 400 mm, se obtiene: para el norte de México 65 mm/h, para el Sahel y noreste de Brasil 80 mm/h, para la zona costera meridional del Ecuador 75 mm/h y para la zona andina de 30 a 45 mm/h (Cuadro 4.4). Así, los eventos de lluvia del norte de México no solo son menos abundantes sino menos intensos comparados con otras regiones del mundo con dominios climáticos aparentemente similares. Sin embargo, aunque este tipo de lluvias se caracterizan por una menor agresividad, es necesario señalar que otros factores intervienen en los fenómenos de escurrimiento, infiltración y erosión. De esta forma, si las precipitaciones representan un factor determinante para explicar el carácter árido de estas regiones, es importante también considerar los fenómenos que ocurren una vez que la lluvia llega al suelo.

Cuadro 4.4. Intensidades de la precipitación de frecuencia decenal en diferentes regiones áridas con un promedio de 400 mm anuales de lluvia (en mm/h).

Duración minutos	Norte México	Sahel África	Noreste Brasil	Ecuador Costa	Ecuador Andes
10	115	140	125	115	55 - 80
30	65	80	80	75	30 - 45
60	40	60	65	50	20

La capacidad del medio receptor al escurrimiento o bien, a la adsorción una vez ocurrida la retención, tiene un rol de primera importancia. En tanto que los suelos presenten características que tiendan a disminuir su capacidad potencial de almacenamiento de agua, la aridez edáfica (Delhoume, 1995) se suma a la aridez climática. Este es un fenómeno frecuente en las diferentes zonas áridas del mundo, presente a partir de coberturas vegetales inferiores al 30 o 40 por ciento. En este caso, la proporción de los espacios desnudos, llamados locamente "peladeros", es tal que las gotas de la lluvia llegan directamente sobre el suelo desnudo provocando, debido al golpeteo<sup>3</sup>, la formación de costras superficiales impermeables que impiden la infiltración del agua (Casenave y Valentin, 1989; Casenave y Valentin, 1992). Inclusive, el agua que logra franquear esta barrera hidráulica se evapora rápidamente (ver Capítulo 6).

## Las sequías

Definir de manera objetiva las características de un período de sequía, intensidad, duración, extensión espacial, etc., puede resultar una tarea difícil. Por facilidad, se define como un año seco a aquel donde el total pluviométrico anual es inferior a la media, calculada sobre un período suficientemente largo para ser estadísticamente significativo (UNESCO, 1977). Un período de sequía corresponde así a una sucesión de años secos. En términos prácticos, es poco probable (años excepcionalmente deficitarios) que el vocablo sequía se aplique a un solo ciclo anual, dado que el efecto sobre los diferentes medios es raramente catastrófico. Es la suma de los años secos que provocan modificaciones perceptibles sobre los ecosistemas y agrosistemas, experimentando en algunos de ellos un verdadero cambio climático a largo plazo.

Bovin (1996) señala que un cierto número de sequías trascendentes se presentaron durante el imperio Azteca, antes de la llegada de los conquistadores, y cita particularmente el período

<sup>3</sup> Ver Glosario

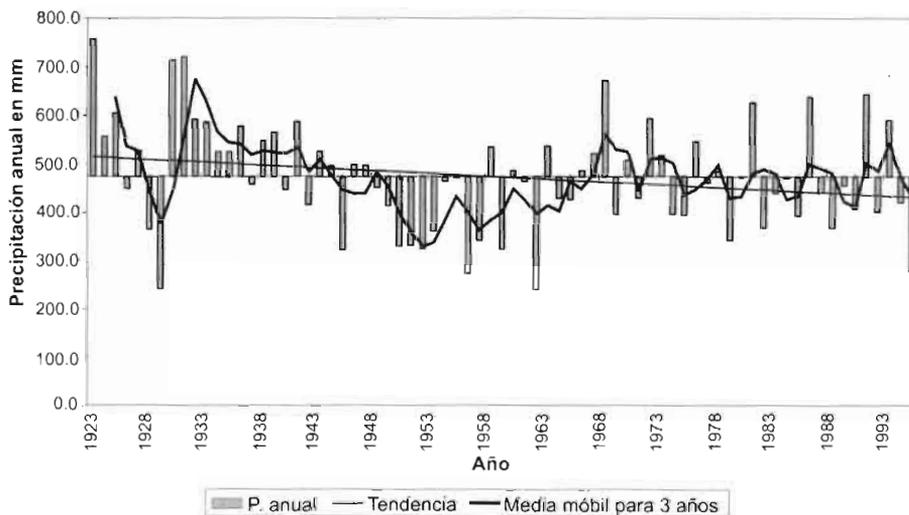
de 1450 – 1454 durante el cual ninguna lluvia fue observada. Aseveración probablemente exagerada pero que trata de señalar la importancia del desastre durante este período y todas las consecuencias sociales y económicas que le acompañaron. Durante los 300 años del período colonial (1521 – 1810), se presentaron, de acuerdo al propio autor, 88 sequías de las cuales muchas de ellas correspondieron con mayor o menor intensidad al norte árido. Es decir, un promedio de una sequía por cada tres o cuatro años. En el siglo XIX se presentó un período importante entre 1850 y 1852. De 1875 a 1910, Bovin (1996) enumera 29 episodios secos de los cuales 15 se localizaron al norte del país, es decir una sequía cada dos años. Esto supone que todos los años secos se consideran inferiores a la normal, criterio propuesto al inicio de este apartado, sin que algunas veces no se considere la noción de períodos secos reagrupando varios años. Cuatro años con déficit, separados por un año entre si o por varios años húmedos, no tendrían evidentemente el mismo carácter de gravedad y excepción que cuatro años secos sucesivos. Un ejemplo interesante esta dado para el período de 1948 a 1962, período durante el cual solo se observó en la cuenca del río Nazas, y probablemente sobre una gran parte septentrional de México, un año significativamente excedente; el año de 1958 caracterizado por la presencia del ENSO. En este caso, se puede definir una sola sequía, o eventualmente dos episodios separados por el año de 1958, restando 10 o 13 sequías (según su desviación a la media), lo que ocultaría el carácter excepcional del evento.

Para tratar de describir los fenómenos después de un análisis lo más objetivo posible, resulta indispensable recurrir a la información climatológica. Se trata esencialmente de datos pluviométricos observados en las estaciones más antiguas. Las crónicas más largas, que se remontan a principios de la década de 1920 (IMTA, 2000), fueron objeto de un análisis crítico afín de asegurar su coherencia a nivel regional. Para ello, se utilizó el método de Vector Regional, MVR (Hiez y Cochonneau, 1992; Descroix *et al.*, 1997; Descroix *et al.*, 2001). Esta técnica se basa en la noción de una pseudo-proporcionalidad de los totales pluviométricos entre las estaciones "vecinas", permitiendo establecer sobre el conjunto de los datos un vector representativo de la región analizada (Hiez, 1986; Hiez *et al.*, 1986). Esta elaboración se apoya sobre el principio de máxima verosimilitud que parte del postulado que la información más verosímil es aquella que se repite con mayor frecuencia. Toda la información aportada por cada una de las estaciones de observación deberá contribuir a la elaboración de un vector regional, sin que los datos erróneos presenten una influencia sensible sobre el resultado. Como corolario, la información proporcionada por este vector permite capturar las fluctuaciones temporales de las precipitaciones de una manera más fiable, en el sentido de la representatividad espacial, en comparación con aquella información que cada una de las estaciones proporcionaría si se tomaran en forma individual. Esto supone que un número suficiente de estaciones (tres como mínimo), estarían funcionando de manera simultanea lo que, desafortunadamente, no es el caso de las redes de observación. Las crónicas mas largas corresponden a datos puntuales y no a información regional. A pesar de todo, el empleo del vector regional permitió eliminar los errores sistemáticos de los datos que tenían el riesgo de alterar el análisis de las series cronológicas. De manera general, estas series pueden presentar diferencias

características que son importantes de definir, incluso si en la práctica son difíciles de identificar, considerando que la duración de las crónicas es limitada como se mencionó anteriormente.

Las variables que pertenecen a una serie cronológica se dicen estacionarias cuando sus características (media, autocovarianza), no cambian a través del tiempo. En caso contrario, un efecto de tendencia es puesto en evidencia.

La figura 4.2 muestra la serie cronológica completa de las observaciones pluviométricas anuales de la estación de Tepehuanes (la crónica disponible más larga), situada a 1800 msnm y caracterizada por una precipitación media anual de 472 mm en 73 años de observación. En este caso, a pesar de que la recta de tendencia presenta un ligero decremento, sería demasiado arriesgado deducir que a partir de 1923 disminuye la lluvia. El porcentaje de la varianza de las precipitaciones explicado para esta cronología es de apenas 4.9 por ciento, muy lejos del límite de significancia.



**Figura 4.2. Precipitación anual en la estación de Tepehuanes desde 1923.**

Al analizar la serie, se pueden describir algunas variaciones importantes. El inicio de la crónica se caracteriza por una sucesión de años excedentes de 1923 a 1927, con una clara tendencia a la baja que continúa en los años de 1928 y 1929, estos últimos con un marcado déficit. A partir de 1930, comienza un período de lluvias que se extiende hasta principios de la década de 1940. Los dos primeros años de este período (1930 y 1931), son los de mayor precipitación registrada desde 1923, es decir en 73 años, sobrepasando ambos los 700 mm

de precipitación. A partir de 1932 la tendencia general es de nuevo a la baja, guardando todo el tiempo el concepto de excedentes, excepto por el año de 1945 que parece predecir el inicio del período de 1948 a 1962 dentro del cual, solo el año de 1958 sobrepasa sensiblemente a la media anual. El fin de la serie deficitaria corresponde al año de 1962, el más bajo jamás registrado (241 mm). Así, se constata un claro decremento de las precipitaciones de 1930 a 1962, con excedente en una primera parte, y con un marcado déficit en la segunda. A partir de 1963, la distribución de las precipitaciones en función al transcurso de los años, se torna más aleatoria con alternancias de años excedentes y deficitarios en intervalos de dos a cinco años.

Es necesario señalar que otras distribuciones cronológicas similares fueron observadas sobre el perímetro del Pacífico Oriental, entre ellas, la región costera meridional del Ecuador en América del Sur y por lo tanto expuesta directamente a la influencia del ESNO que tiende a señalar la amplitud de las variaciones (Figura 4.3).

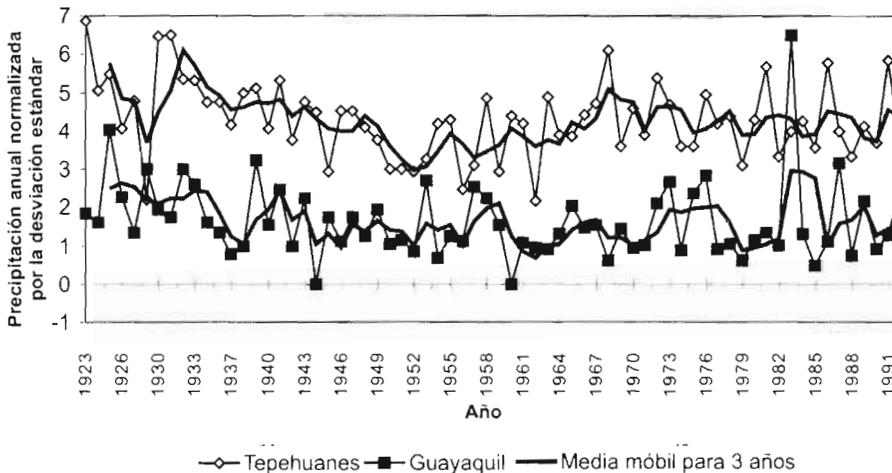


Figura 4.3. Evolución comparada de la lluvia en Tepehuanes (México) y Guayaquil (Ecuador).

Las series húmedas de los años 30, como la serie seca de los años 50, puede suponer que ciertos efectos de persistencia dominan la distribución temporal observada. Es decir que la precipitación de un determinado año depende de la precipitación del año anterior o, de los años anteriores. En este caso, la repartición de las precipitaciones deja de ser únicamente aleatoria.

Moron (1996) define, en un estudio a escala mundial de la variabilidad espacio-temporal de los acumulados anuales de precipitación de la zona intertropical, tres grandes bandas de frecuencia: la periodicidad decenal o superior que explican los 20 años de sequía observados

en la región del Sahel en África, o al norte de la América del Sur, la periodicidad comprendida entre tres y ocho años asociada generalmente al ENSO y, finalmente, la periodicidad *quasi*-bianual característica de la región de la India, de la región situada en los alrededores del Golfo de Guinea y del oeste de Australia. Dentro de esta lógica, el norte de México y particularmente la cuenca del río Nazas, se identifica con el segundo tipo.

Otro estudio realizado por Rossel (1997), mostró que las precipitaciones de años excedentes registradas en la zona costera del sur del Ecuador, se encuentran estrechamente relacionadas con el ENSO, aunque al norte de este país la relación se vuelve menos importante y prácticamente nula en el corredor interandino y extremo oriental amazónico de la cordillera de los Andes; muy próximo a la zona concerniente. En lo que se refiere a los vectores regionales de precipitación definidos para la cuenca del río Nazas, las relaciones ENSO – años excedentes no parecen ser significativas. El ENSO es un fenómeno que varía no solo en espacio y tiempo, sino también en intensidad. Es tal su variabilidad que los especialistas en ocasiones llegan a conclusiones opuestas cuando se trata de definir años calurosos con ENSO y años fríos sin ENSO. De acuerdo al propio autor, los primeros fueron particularmente evidentes para 1952 - 1953 (años deficitarios en el norte de México), 1957 - 1958 (año excedente en 1958), 1965 – 1966 (déficit), 1972 – 1973 (excedente), 1982 – 1983 (próximo a la normal), 1986 – 1987 (excedente) y 1992 (déficit); en tanto que los segundos se presentaron en 1950 (déficit), 1954 – 1956 (muy deficitario), 1962 (fuertemente deficitario), 1974 – 1975 (déficit) y 1984 – 1985 (déficit). Es interesante hacer notar que todos los años fríos corresponden a los años caracterizados por precipitaciones deficitarias, en tanto que la relación con los años calurosos no es significativa, tal y como fue señalado anteriormente.

El ejemplo del norte de México permite mostrar que las causas de los fenómenos climáticos, particularmente la génesis de la precipitación, son poco conocidas a pesar de que grandes tendencias han sido comprendidas. A nivel regional, la existencia de una estructura determinada es menos evidente. Los grandes fenómenos analizados: circulación atmosférica y oceánica, no son fijos. Su intensidad varía tanto en el tiempo como en el espacio y es muy probable que durante ciertos períodos y para ciertas regiones, esta intensidad sea predominante, o por el contrario, secundaria en fases posteriores. Para el norte de México, sería posible relacionar el período 1945 – 1965 a la clase de periodicidad decenal establecida por Moron (1996). La fase posterior a 1965 presenta un comportamiento más ligado a la clase ENSO. No obstante, el primer período estaría en fase opuesta con la región del Sahel, dado los años con registros particularmente deficitarios.

## Conclusión

La aridez es una característica del México Septentrional que corresponde, en medio natural, a un cierto equilibrio donde el agua y particularmente la precipitación, transmiten a los ecosistemas receptores su variabilidad. Las características físicas de estos medios, en primer lugar las condiciones edáficas, también intervienen en la distribución de los recursos hídricos y las cuales se encuentra ligadas a una cierta densidad de cobertura vegetal. Este frágil e inestable equilibrio se encuentra amenazado por dos condiciones de naturaleza diferente donde sus efectos pueden ser catastróficos.

La primera de estas condiciones es de origen natural, dado que se trata de los efectos de la sequía que, con mayor o menor intensidad y regularidad, afecta a estas regiones. Los ecosistemas se rigen por un sistema de autoconservación que se manifiesta por una reducción de la cubierta vegetal, dejando espacios libres que posteriormente se vuelven estériles. El desarrollo extremo de esta evolución termina al transformarse en un desierto íntegramente mineral.

Confrontado a tales condiciones, el hombre ha buscado y frecuentemente encontrado los medios para sobrevivir en tales circunstancias, perfeccionándolos con el tiempo aunque en muchas ocasiones son fuente de inequidad. La construcción de grandes y medianas presas por el poder público, asegura una gestión interanual de sus embalses; la construcción de pequeños bordos o represas (presones<sup>4</sup>) por los productores privados o comunitarios, además del aprovechamiento del agua subterránea a mayor o menor escala, son algunas de las medidas que permiten enfrentar actualmente las variaciones climáticas. Toda esta infraestructura concierne esencialmente al medio agrícola, dado que las zonas de irrigación representan la mayor demanda de los recursos hídricos. Dentro de la cuenca del río Nazas, esta demanda constituye el 95 por ciento del recurso utilizado, a pesar de las poblaciones de Torreón, Gómez Palacio y Lerdo que cuentan con poco más de un millón de habitantes. Es necesario precisar que la agricultura y la ganadería intensiva explican la presencia de un perímetro de riego con una superficie que oscila, en función de los años, entre 120,000 y 160,000 hectáreas (hasta el año 2001). El sistema de El Palmito (presa Lázaro Cárdenas) no permite, a pesar de su gran capacidad, soportar más de dos años de sequía aguda. Como lo muestran los estudios de precipitación y escurrimiento para este sistema, la probabilidad de que se presenten de cuatro a cinco años sensiblemente secos esta muy lejos de presentar valores insignificantes. En tales períodos, el impulso de extraer los recursos de agua subterránea es grande, incluso si estas no son renovables. En consecuencia, a un lado de las condiciones naturales en las que se encuentra sujeto el medio, el peso de las influencias humanas no son despreciables e incluso con tendencia a acentuarse. El sobrepastoreo de grandes extensiones que se realiza

---

<sup>4</sup> Ver Glosario

desde hace varias décadas (grandes haciendas instaladas desde mediados del siglo XIX), acelera el fenómeno de degradación de la cubierta vegetal favoreciendo el escurrimiento y, por consecuencia, la erosión mecánica y la disminución de la infiltración.

Diversas hipótesis han sido propuestas para tratar de explicar el origen de las sequías: intercambio de energía entre los océanos y la atmósfera, cambios en el patrón de movimiento en determinados momentos de las circulaciones y temperaturas de la superficie oceánica relacionadas con las anomalías de circulación atmosférica (ENSO), ligados posiblemente con el ciclo de las manchas solares, rol del albedo diferencial y del orográfico sobre la circulación atmosférica, etc. Todas estas investigaciones han permitido avanzar en la comprensión de los mecanismos mencionados. Sin embargo, en la actualidad todavía no es posible prever este tipo de fenómenos y menos aún, de evaluar su amplitud. La solución, para evitar que el frágil equilibrio de los medios áridos del norte de México se vea interrumpido, no puede venir más que de un cambio en el comportamiento del hombre hacia la explotación de los recursos naturales llamados renovables; ya sea que se trate del agua, el suelo o la vegetación. Una actitud sinceramente "conservacionista" o "patrimonialista" parece ser, en la actualidad, el único remedio para evitar que el daño irreversible, presente ya en ciertas regiones, llegue a generalizarse.

### **Bibliografía citada**

- Bovin, P. 1996. Les sécheresses au Mexique. Rev. Sécheresse, vol.6, n°1, p. 53-58.
- Brouste, L. 1996. Hydrochimie et géochimie isotopique de la nappe phréatique de la Comarca Lagunera (Nord-Mexique). Thèse de Doctorat de l'Université Paris XI Orsay. N 4645, 227p.
- Casenave, A. et C. Valentin. 1989. Les états de surface de la zone sahélienne: Influence sur l'infiltration. Col. Didactique. Editions ORSTOM, Paris, 229 p.
- Casenave, A. and C. Valentin. 1992. A runoff capability classification system based on surface features criteria in semi-arid areas of West Africa. Journal of Hydrology (NLD), Vol. 130, p. 231-249.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 1975. Atlas del Agua, México.
- Cornet, A. 1988. Principales características climáticas. En: Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua en la reserva de Mapimí. Instituto de Ecología, México, D.F., p. 45-76.
- Delcroix, T. 1998. An overview of ENSO signature on the surface parameters of tropical Pacific ocean. In : Cadier, Eric (ed.); Galarraga, R. (ed.); Gomez, G. (ed.); Jauregui, C. (ed.), Variations climatiques et ressources en eau en Amérique du Sud : importance et

- conséquences des évènements El Niño. Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines (FRA), Vol. 27, No 3, p. 475-483.
- Delhoume, J.P. 1992. Caractérisation du paramètre pluie: distribution dans le temps et dans l'espace. En: Actas del seminario de Mapimi, 23-29 octubre 1989, Durango, México, p. 111-125.
- Delhoume, J.P. 1995. Fonctionnement hydro-pédologique d'une toposéquence de sols en milieu aride (Réserve de la Biosphère de Mapimí, Nord-Mexique). Thèse doctorat, Université de Poitiers, 300 p.
- Descroix, L., J.F. Nouvelot y J. Estrada. 1997. Geografía de las lluvias en una cuenca del norte de México: regionalización de las precipitaciones en la Región Hidrológica 36. Folleto científico No. 8. INIFAP ORSTOM. Gómez Palacio Dgo., 52 p.
- Descroix, L., J.F. Nouvelot, J. Estrada et T. Lebel. 2001. Complémentarités et convergences de méthodes de régionalisation des précipitations ; application à une région endoréique du Nord-Mexique. Revue des Sciences de l'Eau, 14(3): 281-305.
- IMTA, 2000. ERIC II, Extractor Rápido de Información Climatológica. Información climatológica de la red de estaciones climatológicas existentes en el país. Programa desarrollado por el Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua. México.
- Estrada, J., C. Bouvier y L. Descroix. 1993. Régimen pluviométrico de la RH36. En: Loyer J. Y., Estrada J., Jasso R., y Moreno L., (editores); Estudio de los factores que influncian los escurrimientos y el uso del agua en la Región Hidrológica 36. INIFAP ORSTOM. Gómez Palacio Dgo., México, p. 25-61.
- García, E. 1964. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Méx. D.F. Offset Larios 3ª edición corregida y aumenta 1981.
- García, G. 1993. Variabilidad de los elementos del clima. En: Loyer J. Y., Estrada J., Jasso R. y Moreno L., (editores); Estudio de los factores que influncian los escurrimientos y el uso del agua en la Región Hidrológica 36. INIFAP ORSTOM. Gómez Palacio Dgo., México, p. 25-61.
- Gill, A. E. 1983. An estimation of sea-level and surface-current anomalies during the 1972 El Niño and consequent thermal effects, J. Phys. Oceanogr., 13, 5886-606.
- Hiez, G. 1986. Bases théoriques du Vecteur Régionale (Les premières applications et leur mise en oeuvre informatique), Collection ORSTOM Colloques et Séminaires. Deuxièmes journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier, 16-17 sept. 1986, p. 1-36.
- Hiez, L., L. Rancan, M. Costa Barros et O. Pedrollo. 1986. Le vecteur régional et les fluctuations climatiques. In: Tourre, Y.M. (ed.) - Climat et développement. ORSTOM, Paris, p. 113-122.
- Hiez, L. et J. Cochonneau. 1992. MVR 1.5, la Méthode du Vecteur Régional. Logiciel informatique, ORSTOM, Laboratoire d'Hydrologie, Montpellier, France.
- McPhaden, M. and J. Picaut. 1990. El Niño-Southern Oscillation displacements of the western

- equatorial Pacific warm pool. *Science*, 250, 1385-1388.
- Moron, V. 1996. Régionalisation et évolution des précipitations tropicales annuelles (1946 - 1992), In: *Sécheresse*, vol.7, n°1, mars 1996, p. 25-32.
- Nouvelot, J.F. et L. Descroix. 1996. Aridité et sécheresse du Nord-Mexique. *Revue Trace*. CEMCA, México, déc. 96 n° 30, pp 9-25.
- Rossel, F. 1997. Influence du Niño sur les régimes pluviométriques de l'Equateur. Thèse de l'Université Montpellier 2, 265 p.
- Santibáñez, A. 1992. La Comarca Lagunera, ensayo monográfico. Ed. E. Santibáñez, Torreón Coahuila, México, 266 p.
- UNESCO, 1977. Map of the world distribution of arid regions. Explanatory note. MAB technical Notes 7, Unesco, Paris, 1 vol., 54 p.

# La Sierra Madre Occidental, una fuente de agua amenazada

Obra colectiva dirigida y editada por  
Luc Descroix, José Luis González Barrios y Juan Estrada Avalos

**inifap**

Instituto Nacional de Investigaciones  
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

**IRD**

Institut de recherche  
pour le développement

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Serapio Rendón # 83 Col. San Rafael México Distrito Federal 06470 México. [www.inifap.gob.mx](http://www.inifap.gob.mx)

Institut de Recherche pour le Développement (IRD) 123, rue Lafayette Paris 10ème. Francia. [www.ird.fr](http://www.ird.fr)

Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA). Apartado Postal # 41 Lerdo Durango 35115 México.

IRD Representación en México. Cicerón # 609 Col. Los Morales México Distrito Federal 06470 México.

**Título original de la obra:**

“La Sierra Madre Occidental, un château d'eau menacé”. Editions IRD Paris.

**Traducción y edición técnica en español:**

José Luis González Barrios y Juan Estrada Avalos

**Imagen en Portada:**

Mirador de los altos en la Sinforosa, Guachochic, Chihuahua (foto Luc Descroix). Fondo: Imagen satélite de la Sierra Madre Occidental.

**Diseño de Portada y Pre-prensa**

Beatriz Ileana Martínez Román

**El contenido de los capítulos, es responsabilidad de los autores.**

**Ejemplo de cita:**

Viramontes Pereida, D. 2004. Los recursos hidráulicos en el centro norte de México: perspectiva histórica, pp. 33-42. En: Descroix, L., J.L. González Barrios, J. Estrada Avalos. (Editores). La Sierra Madre Occidental, una fuente de agua amenazada. Ediciones INIFAP - IRD. Gómez Palacio, Durango, México. 300 p.

©Derechos Reservados

**ISBN: 968-800-584-3**

La presentación y disposición en conjunto de “La Sierra Madre Occidental, una fuente de agua amenazada”, son propiedad de los editores y sus instituciones. Ninguna parte de esta obra puede ser reproducida o transmitida, mediante ningún sistema o método electrónico, mecánico (incluyendo fotocopiado, la grabación o cualquier sistema de recuperación y almacenamiento de información), sin consentimiento por escrito de los editores.