

Capítulo 5

Espacialización de las precipitaciones sobre las dos vertientes de la Sierra Madre Occidental

Luc Descroix, Jean-François Nouvelot, Juan Estrada Avalos, Alfonso Gutiérrez

Introducción

En el capítulo precedente se mencionó como la aridez puede ser una condicionante al desarrollo tanto del norte de México como de otras regiones de condición similar (UNESCO, 1977; Bovin, 1996; Nouvelot y Descroix, 1996). El conocimiento de la repartición de las precipitaciones resulta difícil en estas regiones poco pobladas y por lo tanto equipadas de una escasa red de medición, situación que se ha agravado dado que un gran número de estas estaciones ha dejado de funcionar en los últimos años.

La repartición de las precipitaciones anuales en la parte central de la Sierra Madre Occidental (Figura 5.1) correspondientes a las regiones hidrológicas 10 y 36 (INEGI, 1981a; INEGI, 1981b) muestra:

- una clara oposición entre las vertientes este y oeste de la Sierra Madre Occidental; la vertiente oeste se beneficia claramente de una mayor precipitación aunque también presenta mayor variabilidad espacial, producto de un relieve extremadamente escarpado (INEGI, 1990a; INEGI 1990b; Nouvelot y Descroix, 1996; Descroix *et al.*, 1997;

Descroix *et al.*, 2001),

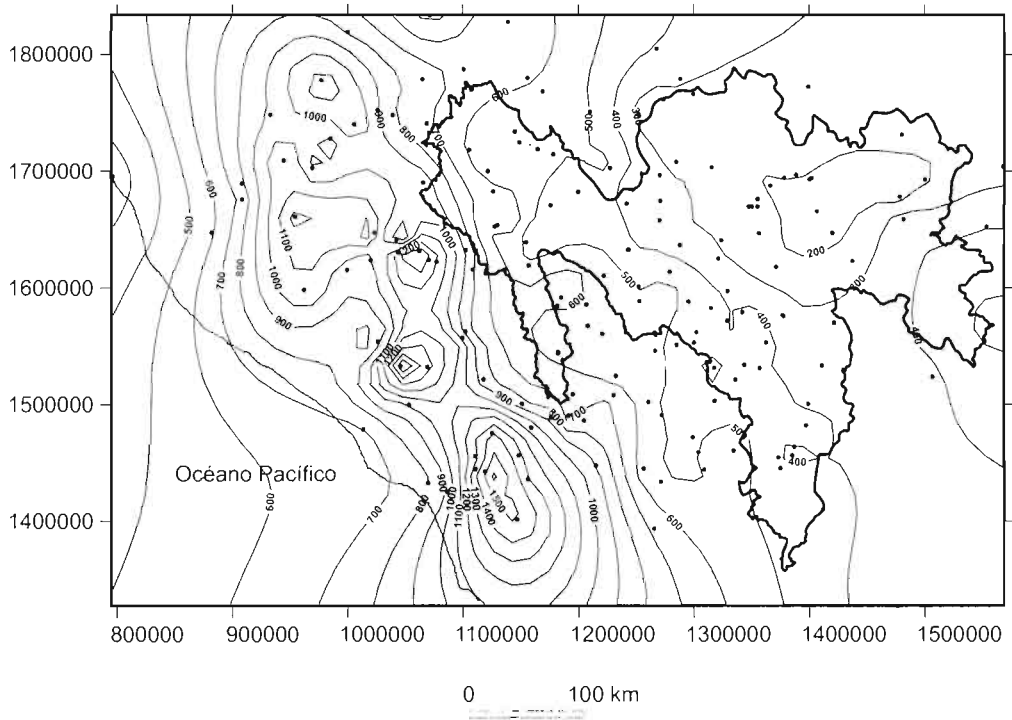


Figura 5.1. Isoyetas interanuales y localización de las estaciones de lluvia dentro de las cuencas de los ríos Nazas y Aguanaval y sus alrededores.

- una disminución regular de las precipitaciones desde el parteaguas (con valores entre 800 y 1000 mm) hacia la Comarca Lagunera y hacia el este de las cuencas de los ríos Nazas y Aguanaval, donde se registran precipitaciones del orden de los 200 mm al año (Descroix *et al.*, 1993; Estrada *et al.*, 1993; Estrada, 1995),
- una diagonal de fuertes precipitaciones que se separa del litoral para aproximarse al parteaguas, de sur a norte, donde se registran valores anuales de poco más de 1500 mm a menos de 80 km del litoral (al sur), en tanto que la máxima es de 1200 mm a 150 km de la costa (al norte),
- la presencia de una zona litoral árida al norte, de los desiertos costeros de Sonora y Baja California con una precipitación anual de 300 mm registrada en Topolobampo.

La figura 5.2 muestra los valores del coeficiente de variación de las precipitaciones

interanuales promedio de la cuenca Nazas Agunaval y una gran parte de la vertiente oeste de la Sierra. A valores más elevados del coeficiente (C_v), mayor es la irregularidad interanual de las precipitaciones. Esto constata el hecho de que la irregularidad se incrementa en forma clara desde la costa hacia el interior del continente. En esta región, las zonas con valores bajos de C_v corresponden a las zonas más lluviosas de la vertiente oeste de la Sierra; los valores más elevados de C_v se presentan en las zonas áridas del sur del desierto Chihuahuense, es decir dentro de las depresiones endorreicas del Bols n de Mapimí (Cornet, 1992; Delhoume, 1992; Delhoume, 1995).

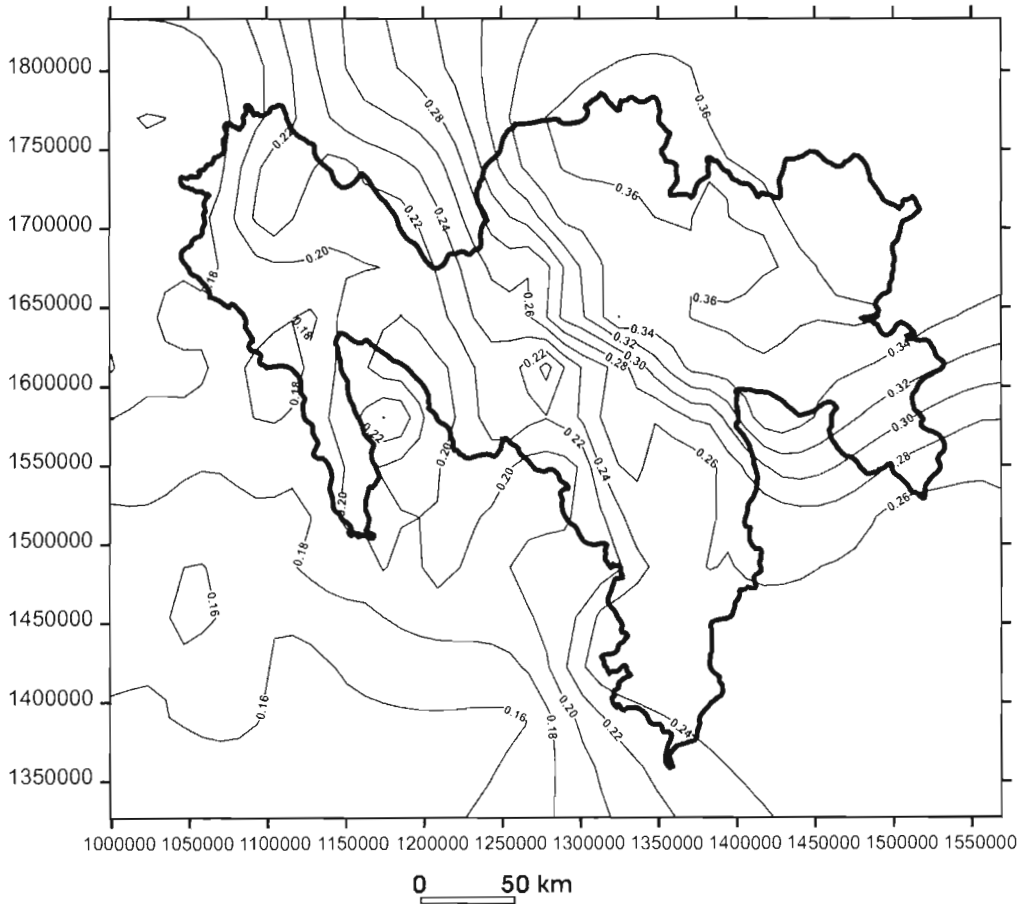


Figura 5.2. Coeficiente de variación interanual de las precipitaciones.

La regionalización de las precipitaciones

Dentro de los sectores poco instrumentados, como es en general el norte de México,

en ocasiones se presenta la necesidad de conocer con mayor precisión los totales de las precipitaciones al dimensionar obras (presas, canales, viaductos, etc.) o realizar previsiones de riesgos naturales a partir de las lluvias extremas. Ante esto, dada la baja densidad de la red de estaciones, se busca determinar dos tipos de información complementarias a las proporcionadas por la propia red en operación. Esto permite extender espacialmente la validez de la información adquirida con la finalidad de disminuir la existencia de zonas sin datos:

- la primera es la definición de zonas homogéneas en función de la información de las precipitaciones registradas en la red de observación existente,
- la segunda es la distancia de correlación de los datos registrados.

Para la definición de regiones homogéneas de precipitación, se utilizó el método de vector regional (MVR). Esta técnica, propuesta por Hiez (1986), se basa en la noción de pseudo proporcionalidad de los totales de precipitación entre estaciones "vecinas" donde el conjunto de datos permite establecer un vector representativo de la región cubierta. Esta elaboración se apoya en el principio de máxima verosimilitud, el cual se basa en el postulado de que la información de máxima verosimilitud es aquella que se repite con mayor frecuencia.

De igual forma, este método se utiliza para verificar la validez de los datos e identificar eventuales errores dentro de las series. En este caso, el método es utilizado en la definición de zonas homogéneas de precipitación. Es decir que si un vector esta constituido por un conjunto de estaciones con un comportamiento proporcionalmente similar, se define una región homogénea en términos del comportamiento de la lluvia (Hiez, 1977).

El análisis de todos los datos disponibles en la red existente (IMTA, 2000), realizado a partir del programa MVR 1.5 (Hiez y Cochonneau, 1992), permitió constituir siete "regiones de precipitación", cinco para la cuenca de los ríos Nazas y Aguanaval (RH36) y dos para la vertiente de la sierra hacia el Pacífico (RH10) (Gutiérrez, 2003). Esta última región hidrológica constituida de un gran número de cuencas que drenan sus aguas directamente hacia el océano Pacífico (Figura 5.3).

Siempre es confuso tratar de buscar factores locales que puedan explicar la repartición espacial de las precipitaciones. Sin embargo, la primera apreciación sobre la carta de las isoyetas (Figura 5.1), permite comprender el rol primordial de la altitud y de la distancia al océano. De hecho, de manera paradójica este rol es más evidente para la vertiente interior (oriental) de la Sierra Madre Occidental. Se aprecia también que la precipitación disminuye al mismo tiempo que la altitud (pasa de 900 mm a 2800 msnm, a 200 mm a 1100 msnm), y de manera inversa a la distancia del océano Pacífico. Las dos evoluciones

son lógicas y se encuentran en prácticamente todos los climas (Cosandey y Robinson, 2000). En este caso simplemente se tiene una adición de dos fenómenos en la vertiente interna dado el paralelismo de la Sierra Madre Occidental con la costa debido a la actividad tectónica en la zona.

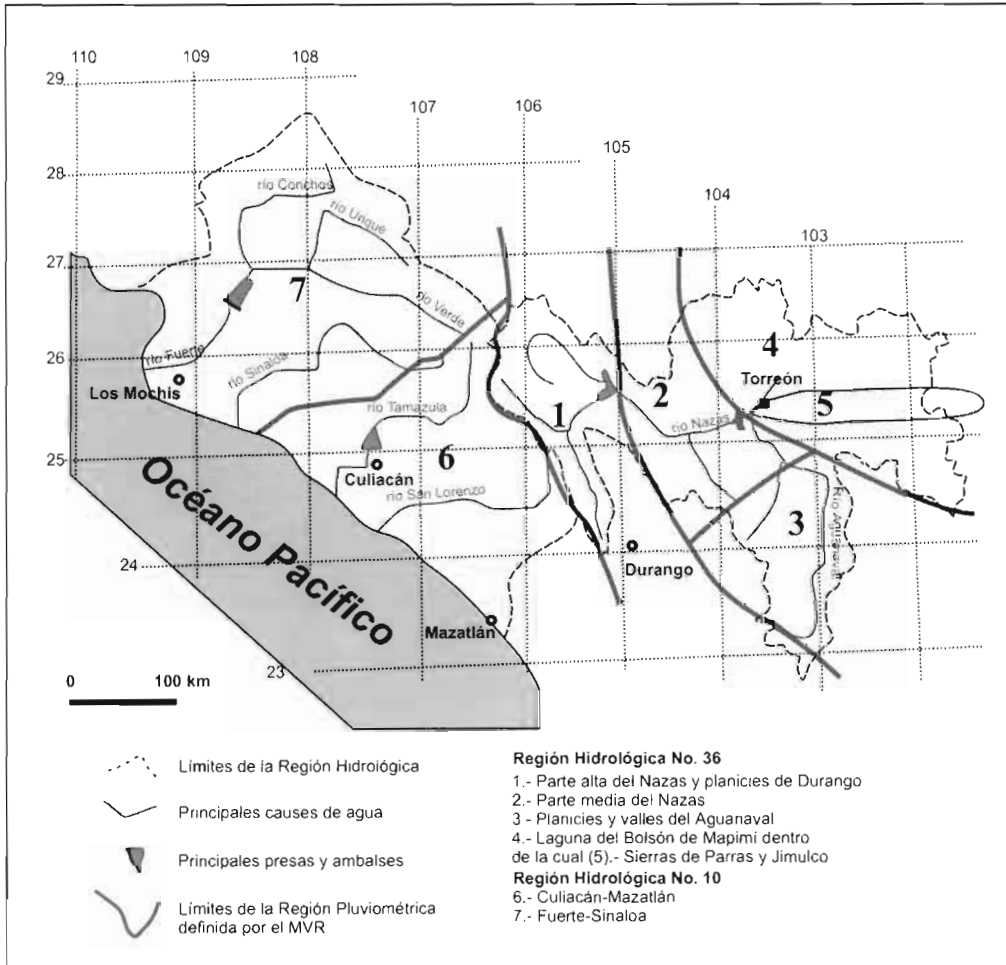


Figura 5.3. Regionalización definida por el Método del Vector Regional.

En la vertiente del Pacífico, la evolución es inevitablemente más compleja por la simple razón de que la altitud aumenta con el distanciamiento de la costa, haciendo que ambos factores se contrapongan. Sin embargo, esta evolución es igualmente compleja debido a:

- un relieve muy escarpado en la vertiente oeste de la cadena montañosa,
- un marcado gradiente latitudinal ligado a los climas de la zona.

El relieve impone una intensa variabilidad transversal de las precipitaciones, la cual sería de mayor intensidad si la red de estaciones fuera más densa, ya que en este caso los valles profundos y pequeñas planicies llegan a alcanzar, en algunas ocasiones, más de 1500 m.

Por otra parte, la región se encuentra a latitudes subtropicales, de hecho se pasa de los climas tropicales, en el sur, a los climas subtropicales, en el norte (García, 1964), caracterizados por un desierto costero en el litoral (desierto de Sonora) y por sectores áridos continentales en el Altiplano norte-central mexicano (Desierto Chihuahuense) (CNA, 1975). Existe una configuración de las precipitaciones en este tipo de zonas, donde los sectores litorales y sus territorios inmediatos posteriores son los de mayor precipitación, tal y como se presenta en las primeras barreras colombianas de los Andes en el Pacífico (García y Vargas, 1996; Rossel, 1997). Sin embargo, 500 km más al norte, los litorales se encuentran determinados por una aridez costera del lado oeste del continente a latitudes de los trópicos.

Ante esta complejidad, se trataron de esclarecer los factores locales que condicionan la precipitación en la vertiente interna de la Sierra. Para ello, se realizaron dos análisis estadísticos: un Análisis de Componentes Principales (ACP) y un Análisis Factorial de Correspondencia (AFC). Estos análisis permitieron clasificar y jerarquizar las variables explicativas de un fenómeno que toma, en este caso, el rol de variable dependiente ante otras consideradas como independientes. Así, el ACP permitió suprimir algunas de ellas a partir de las evidencias de redundancias de las variables. Estos análisis se realizaron con los datos de precipitación anual (IMTA, 2000) de 52 estaciones con mayor número de registros documentados de la Región Hidrológica 36 (cuencas de los ríos Nazas y Aguanaval).

El ACP se llevó a cabo considerando como variable dependiente la precipitación y como variables independientes la altitud, la distancia al océano Pacífico, la latitud, la longitud y la densidad de la vegetación presente en tres diferentes áreas alrededor de la estación (0.3, 16 y 94 km²). La figura 5.4 muestra el espacio de las variables basadas en los dos primeros componentes del ACP, los cuales explican el 75 por ciento de la varianza observada.

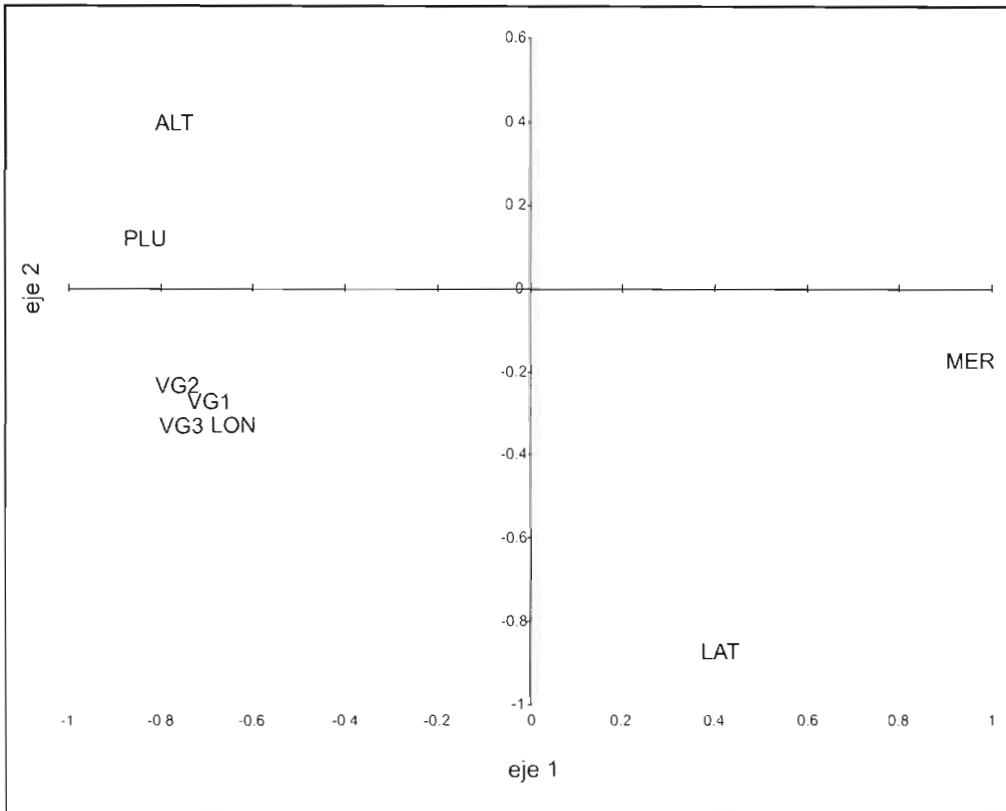


Figura 5.4. Plano principal de las variables del ACP (ejes 1 y 2, 52 estaciones).

En este caso, la precipitación presenta una correlación positiva con la altitud (ALT) y una correlación negativa con la distancia al oceano (OCE). La vegetación y la longitud (oeste, dado que los valores se incrementan en esta dirección) se correlacionan en forma positiva aunque en menor medida. Este hecho, al igual que la correlación que existe entre estas últimas variables, se explica simplemente dado que las regiones más elevadas y las más lluviosas, corresponden a los sectores más próximos al parteaguas de los ejes de escurrimiento que vierten al Pacífico, es decir las zonas más occidentales.

Con la finalidad de tomar en cuenta los valores no numéricos, se realizó el AFC, análisis estadístico similar al ACP pero que permite introducir variables cualitativas no numéricas. En este caso, se determinan las clases para cada una de las variables tomadas en cuenta, de manera a jerarquizarlas si es necesario distinguirlas unas de otras. Asimismo, al establecer las clases de las variables con valores numéricos (tomados en cuenta por el ACP), también pueden ser analizadas dentro del AFC.

Las variables consideradas en este análisis aparecen en el cuadro 5.1. Estas variables sirvieron para realizar el ACP, exceptuando la latitud y la longitud, y agregando el tipo de sitio y dos tipos de exposición: la del sitio (a escala del kilómetro) y la regional (a la escala de 20 kilómetros).

Los resultados se muestran en la figura 5.5, donde se representa el plano de las variables tal como fueron clasificadas (de acuerdo al cuadro 5.1), sobre los ejes 1 y 2 del AFC que explican el 60 por ciento de la varianza observada en las variables.

Cuadro 5.1. Las variables utilizadas en el Análisis Factorial de Correspondencia.

Precipitación	Clase	Distancia al Pacífico	Clase	Altitud	Clase
TFP	P < 300 mm	TFM	D < 250 km	TBA	A < 1200 m.
FAP	300-400 mm	FAM	250-300 km	BAA	1200-1600 m.
MOP	400-500 mm	MOM	300-350 km	MOA	1600-2000 m.
ELP	500-600 mm	MDM	350-400 km	HAA	A > 2000 m.
TEP	P > 600 mm	ELM	400-450 km		
		TEM	D > 450 km		
Veg. local (30 ha)	Veg. esc. reg. 16 km ²	Veg. Esc. reg. 94 km ²	Valor NDVI	Tipo de sitio	
LTF	RTF	GTF	120-128	FON	fondo de valle
LFA	RFA	GFA	128-135	VER	vertiente
LMO	RMO	GMO	135-141	PLA	Planicie
LEL	REL	GEL	141-146	FVE	valle cerrado
LTE	RTE	GTE	146-154	COL	colina
				PIE	Pie-de-monte
Exposición del sitio (XXL)	Expo. de la región (XXR)				
NNL	NNR	norte			
NWL	NWR	noroeste			
WWL	WWR	oeste			
EEL	EER	este			
NEL	NER	noreste			
SEL	SER	sureste			
SWL	SWR	suroeste			
SSL	SSR	sur			

Se puede constatar que el AFC permite distinguir cuatro diferentes regiones de precipitación:

- una zona de escasa precipitación (inferior a los 300 mm anuales), que se encuentra asociada a un distanciamiento máximo del océano, a una altitud y densidad de vegetación mínima, y a una situación de planicie o un pronunciado fondo de valle. Esta última configuración se explica por la situación de extremo abrigo de ciertas estaciones que, aunque ubicadas en la Sierra Madre, se encuentran muy protegidas,
- una zona de poca precipitación (300 a 400 mm), caracterizada por una distancia al océano de 300 a 350 km; un índice NDVI de bajo a medio; una posición de pie-de-monte o cresta, y una altitud comprendida entre los 1200 y 1600 msnm,
- una zona de precipitación media, donde se tiene una situación de vertiente o mayormente de fondo de valle, con una lluvia anual entre los 400 y 550 mm; una altitud superior a los 1600 msnm; una distancia al mar comprendida entre los 250 y 300 km, y un índice de vegetación de medio a elevado. Esto corresponde a las bajas vertientes y el fondo de dos grandes valles de la parte alta del río Nazas (Sextín y Ramos),
- una precipitación elevada (más de 550 mm), que corresponde a los mayores índices de vegetación; a las planicies de altitud y a las zonas más próximas al océano Pacífico. Estas estaciones se localizan en las altas vertientes o sobre la línea del parteaguas de ambas vertientes (RH36 y RH10).

A partir de lo anterior se puede constatar, exceptuando la primer zona donde las exposiciones no son importantes (Bolsón de Mapimí esencialmente), que los tipos de exposición no permiten clasificar las regiones dado que todos éstos se encuentran en las tres zonas restantes.

Discusión – Conclusión

La regionalización que se define a partir del análisis estadístico no es muy diferente al obtenido por el Método del Vector Regional. En este caso faltan las regiones 6 y 7 de la división establecida por el MVR, ausentes por no considerarse la vertiente del Pacífico. Por otra parte, las regiones 2 y 3 se dividen prácticamente de la misma forma dado que las planicies del río Aguanaval (región 3 de la figura 5.3), se encuentran a mayor altitud que el valle del Nazas (región 2), lo que permite ser distinguidas por el AFC que toma en cuenta la altitud. Sin embargo, de manera general estas regiones son similares.

Las regiones homogéneas permanecen iguales al utilizar cualquiera de los métodos, mostrando así cierta consistencia de la información (Descroix *et al.*, 2001). Las regiones

tal y como fueron definidas, al igual que los variogramas destinados a conocer la distancia de esta correlación (o a la inversa, la distancia máxima de validez de la señal de lluvia), parecen suficientemente robustas para permitir extender la información obtenida sobre algunas estaciones con registros más largos de observación, proporcionando esencialmente información de buena calidad.

Ya sea que se utilice uno o ambos métodos, la finalidad es atenuar la baja densidad de la red de estaciones para obtener información espacial que permita una mejor previsión de la cantidad de lluvia precipitada sobre las zonas poco instrumentadas o, en forma contraria, los períodos de sequía y déficit.

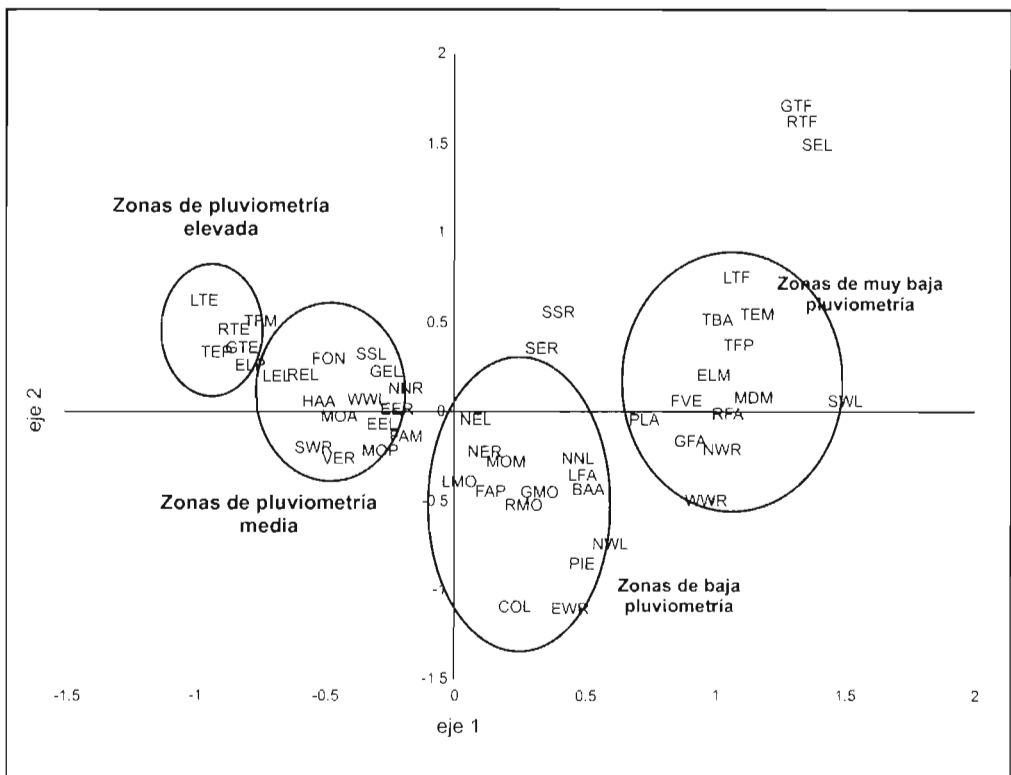


Figura 5.5. Plano principal de las variables del AFC (ejes 1 y 2; 52 estaciones).

Bibliografía citada

- Bovin, P. 1996. Les s echeresses au Mexique. Rev. S echeresse, vol.6, n o1, p. 53-58.
- Cornet, A. 1992. Principales caractéristiques climatiques. En: Actas del seminario de Mapimi, 23-29 octubre 1989, Durango, México. Instituto de Ecología, México, D.F., p. 45-76.
- Cosandey, C. et M. Robinson. 2000. Hydrologie continentale. Collection U Géographie. Paris, 360 p.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 1975. Atlas del Agua, México.
- 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, Instituto de Ecología, México, D.F., p. 111-125.
- Delhoume, J.P. 1995. Fonctionnement hydro-pédologique d'une topos equen e de sols en milieu aride (Réserve de la Biosphère de Mapim i, Nord-Mexique). Thèse doctorat, Université de Poitiers, 300 p.
- Descroix, L., J. Estrada y C. Bouvier. 1993. Hidrometría de la RH36. En: Loyer J. Y., Estrada J., Jasso R., y Moreno L., (editores); Estudio de los factores que influyen los escurrimientos y el uso del agua en la Región Hidrológica 36. INIFAP ORSTOM. Gómez Palacio Dgo., México, p. 25-61.
- 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. Foll. Cient. n o8, Orstom/Cenid-Raspa, Gomez Palacio.
- Descroix, L., J.F. Nouvelot et J. Estrada. 2001. Compl ementarit es et convergences de méthodes de r egionalisation des pr ecipitations ; application à une région endor eque du Nord-Mexique. Revue des Sciences de l'Eau, 14/3: 281-305.
- 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 influyen los escurrimientos y el uso del agua en la Región Hidrológica 36. INIFAP ORSTOM. Gómez Palacio Dgo., México, p. 25-61.
- Estrada, J. 1995. Modélisation conceptuelle appliquée aux bassins versants du Nord-Mexique (RH36). Memoire DEA d'Hydrologie Université de Montpellier II, 74p.
- García, N.O. and W.M. Vargas. 1996. The spatial variability of runoff and precipitation in the Rio de la Plata basin. Hydr. Sc. Journal, 41 (3), 279-298.
- García, E. 1964. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). México D.F. Offset Larios 3 a edición corregida y aumentada 1981.
- Gutiérrez, A. 2003. Modélisation stochastique des précipitations à l'échelle régionale pour la prévision des crues au Nord-Mexique. Thèse de l'Université Joseph Fourier-Grenoble 1, 150 p.
- Hiez, G. 1977. L'homog enit e des données pluviométriques. Cahiers ORSTOM, sér. Hydrol. (XIV) 2 : 129-172. Paris.

- 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. et J. Cochonneau. 1992. MVR 1.5, la Méthode du Vecteur Régional. Logiciel informatique, ORSTOM, Laboratoire d'Hydrologie, Montpellier, France.
- 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.
- INEGI. 1981a. Carta hidrológica aguas superficiales, Chihuahua. Escala 1:1'000,000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México.
- INEGI. 1981b. Carta hidrológica aguas superficiales, Guadalajara. Escala 1:1'000,000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México.
- INEGI. 1990a. Carta topográfica, Chihuahua. Escala 1:1'000,000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 5ª impresión, México.
- INEGI. 1990b. Carta topográfica, Guadalajara. Escala 1:1'000,000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 5ª impresión México.
- Rosset, F. 1997. Influence du Niño sur les régimes pluviométriques de l'Equateur. Th. Doct. Univ., Montpellier II, 122,280.
- Nouvelot, J.F., et L. Descroix. 1996. Aridité et sécheresses du Nord-Mexique. TRACE, revue du Centre Français d'Etudes Mexicaines et Centroaméricaines, n°30, pp. 9-24.
- 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

Institut de Recherche pour le Développement (IRD) 123, rue Lafayette Paris 10ème. Francia. 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.