

La Sierra Madre Occidental, una fuente de agua amenazada



EDITORES

L. Descroix

J. L. González Barrios

J. Estrada Avalos

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.

A la memoria de Henri Barral

CONTENIDO

Prólogo	
Editores	
Autores de Capítulo	
Presentación (<i>Jean François Nouvelot</i>)	
Agradecimientos	
Introducción general	1
¿Por qué esta obra?	1
La Sierra Madre Occidental, fuente de agua del norte de México	8
Inserción: Elementos de geología de la Sierra Madre Occidental: constitución y origen (<i>Marc Tardy</i>)	19

Primera parte

Medio natural y población dentro de la Sierra Madre Occidental	25
Capítulo 1. Los recursos hidráulicos en el centro norte de México: perspectiva histórica (<i>David Viramontes Pereida</i>)	33
Inserción: Un contexto demográfico y económico de transición: demografía de la Sierra Madre comparada con otras dos regiones agro-pastorales (<i>Luc Descroix</i>)	43
Inserción: Propiedad privada y pública, gestión colectiva: ¿Y la política patrimonial? (<i>Luc Descroix</i>)	55
Inserción: La indianidad y el indigenismo en México y en la Sierra Madre Occidental (<i>Luc Descroix</i>)	61
Capítulo 2. ¿Una montaña en vías del abandono? (<i>Béatrice Inard Lombard</i>)	65
Capítulo 3. Un vistazo al pasado prehispánico de la Sierra Madre Occidental de Durango: el proyecto Hervideros (<i>Marie -Areti Hers y Oscar J. Polaco</i>)	85

Segunda parte

Los suelos y el agua: precipitación y escurrimiento en la Sierra Madre Occidental	107
Capítulo 4. El clima y la variabilidad pluviométrica en el norte de México (<i>Jean-François Nouvelot, Luc Descroix, Juan Estrada Avalos</i>)	117
Capítulo 5. Espacialización de las precipitaciones en las dos vertientes de la Sierra Madre Occidental (<i>Luc Descroix, Jean-François Nouvelot, Juan Estrada Avalos, Alfonso Gutiérrez</i>)	133
Capítulo 6. Un encostramiento de los suelos que limita la infiltración (<i>Jérôme Poulenard, José Luis González Barrios, David Viramontes, Luc Descroix, Jean-Louis Janeau</i>)	145

Capítulo 7. Condiciones que favorecen la erosión y el escurrimiento en manto (José Luis Gonzalez Barrios, Luc Descroix, David Viramontes, Jérôme Poulenard, Alain Plenecassagne, Laura Macías, Christelle Boyer, Arnaud Bollery, Rodolfo Jasso Ibarra)	161
--	-----

Tercera parte

Pastizales y bosques bajo presión	179
--	-----

Capítulo 8. Demasiado ganado y demasiados leñadores: una economía minera (David Viramontes, Eva Anaya, Coral García, Jérôme Poulenard, Henri Barral, Laura Macías, María Guadalupe Rodríguez Camarillo)	183
--	-----

Capítulo 9. Agua amenazada por la degradación de los recursos vegetales (Luc Descroix, David Viramontes, Eva Anaya, Henri Barral, Alain Plenecassagne, José Luis González Barrios, Jeffrey Bacon, Laura Macías)	195
--	-----

Capítulo 10. ¿Y si el bosque desaparece? (Luc Descroix, José Luis González Barrios, Raúl Solís Moreno)	211
--	-----

Cuarta parte

El agua en disputa en un espacio aún libre	231
---	-----

Capítulo 11. El agua, agente económico y capital político (Luc Descroix, Frédéric Lasserre)	239
---	-----

Capítulo 12. Ecoturismo: ¿Una alternativa al desaliento y sobreexplotación? Los activos para desarrollar una nueva actividad (Luc Descroix)	253
---	-----

Capítulo 13. Agua y espacio en Valle de Bravo: la lucha por el agua (Luc Descroix, Michel Esteves, David Viramontes, Céline Duwig, Jean Marc Lapetite)	273
---	-----

Conclusión: una región por construir, un territorio y unos recursos por preservar (Luc Descroix, David Viramontes, José Luis González Barrios)	285
---	-----

Glosario	293
-----------------------	-----

Anexo	299
--------------------	-----

PRÓLOGO

Esta obra es el fruto de una larga colaboración entre un equipo del IRD (ex Orstom) y los investigadores de varios laboratorios mexicanos, en particular el CENID-RASPA (Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en la Relación Agua Suelo Planta Atmósfera) perteneciente al INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias), con sede en la ciudad de Gómez Palacio (estado de Durango), que acogió el programa “Uso y Manejo del Agua en las cuencas hidrográficas del Norte de México”. Durante más de cinco años *in situ* (de 1992 a 1998) y posteriormente en estancias cortas, de 1998 a 2004, pudimos realizar juntos los trabajos de campo, laboratorio y oficina en excelentes condiciones y en un muy buen ambiente.

Deseamos agradecer a Carlos Hernández e Ignacio Sánchez Cohen, los dos directores sucesivos del CENID-RASPA, así como a todo el equipo de Gómez Palacio, en particular Leopoldo Moreno, Raquel Anguiano y Ernesto Romero.

Por otra parte, todos estos trabajos se basan en el valioso trabajo del equipo del laboratorio, que bajo el “ojo vigilante” de Alain Plenecassagne y José Luis González Barrios, realizaron varias decenas de miles de análisis de agua, suelo, rocas y plantas durante todos estos años. El equipo que tenía a su cargo el procesamiento de los datos, su captura y tratamiento informático así como la digitalización de las cartas temáticas efectuó un trabajo de “hormiga”, sin el cual todo esto no se habría realizado: Laura Macias supo

agrupar el trabajo del equipo, con la ayuda de Irene, Romuald, Stéphane, Salomé, Diana y Cristóbal, y constituir la base de datos y el sistema de información geográfica.

Las temporadas de lluvias *in situ*, fueron la ocasión para acumular grandes cantidades de datos, y eso no pudo hacerse sino gracias a la intervención de numerosos tesisas, estudiantes en estancias, voluntarios del servicio nacional (Francia) entre ellos: Eva, David, Jérôme, Frédéric, Nelly, Lupita, Pierre-Yves, Olivier, Raphaël, Alain, Cristobal, Murielle, Marco, Arnaud, Christelle, Victor, Sylvie y Béatrice.

Deseamos agradecer también a nuestros colegas de la Comisión Nacional del Agua (CNA), en particular a Luis Montoya del observatorio meteorológico, así como a nuestros colegas del Instituto de Ecología en Durango, Olivier Grunberger y Jean-Louis Janeau, quienes nos apoyaron de manera científica, moral y material durante los primeros años del proyecto.

Los Editores

EDITORES

Luc Descroix (Geógrafo e Hidrólogo), investigador del Instituto Francés de Investigaciones para el Desarrollo (IRD, antes ORSTOM), adscrito al centro IRD de Niamey, Republica de Níger. Dirección de contacto: IRD BP 11 416 Niamey Republica de Níger. Correo electrónico: descroix@ird.ne

José Luis González Barrios. (Edafólogo e Hidrólogo) es investigador titular del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) adscrito al Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA). Dirección de contacto: INIFAP CENID-RASPA AP 41 Lerdo Durango, 35150 México. Correo electrónico: gonzalez.barrios@inifap.gob.mx

Juan Estrada Avalos. (Hidrólogo) es investigador titular del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) adscrito al Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA). Dirección de contacto: INIFAP CENID-RASPA AP 41 Cd. Lerdo Durango, 35150 México. Correo electrónico: estrada.juan@inifap.gob.mx

AUTORES DE CAPÍTULOS

Anaya, Eva (Bióloga especialista en pastizales y en áreas protegidas) es Coordinadora Regional (Unidad Regional del Semidesierto) de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en el Estado de Durango

Bacon, Jeffrey (Biólogo, especialista en encinos) es investigador del Instituto de Silvicultura y de la Industria de la Madera (ISIMA) de la UJED en Durango, Dgo., México. Responsable mexicano del proyecto SEP-CONACYT ANUIES - ECOS-Nord (M01-U01)

Barral, Henri (Geógrafo, especialista en pastizales y en manejo de áreas protegidas), fallecido en 2001, era director de investigaciones retirado del ORSTOM de Francia

Bollery, Arnaud (Geógrafo) es encargado de los sistemas de información geográfica del Consejo General de l'Isère, en Grenoble, Francia. Doctorando del programa SEP-CONACYT ANUIES - ECOS-Nord (M01-U01)

Boyer, Christelle (Geógrafo) es funcionaria territorial en el departamento de la Drôme, en Valence, Francia

Duwig, Céline (Hidróloga) investigadora del IRD de Francia

Esteves, Michel (Hidrólogo) investigador del IRD de Francia

García, Coral (Geógrafo) es doctorando del Laboratorio de Geografía Física del CNRS, en Meudon, Francia

Gutiérrez, Alfonso (Hidrólogo) es investigador en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) de Jiutepec, Mor. , México

Hers, Marie-Areti (Arqueóloga) es profesora de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en México D.F.

Inard Lombard, Béatrice (Geógrafo) es agente del manejo del medio ambiente en la presidencia municipal de Seyssins, en la región d'Isère, Francia

Janeau, Jean-Louis (Hidrólogo) Ingeniero de estudios del IRD de Francia

Jasso Ibarra, Rodolfo (Hidrólogo) es investigador del INIFAP adscrito al CENID-RASPA de Gómez Palacio, Dgo., México

Lapelite, Jean Marc (Hidrólogo) Ingeniero de estudios del IRD de Francia

Lasserre, Frédéric (Geógrafo e Hidrólogo) es profesor de Geografía en la Université Laval, en Québec, Canadá

Macias, Laura (Informática) es encargada de sistemas en el INIFAP adscrita al CENID RASPA de Gómez Palacio, Dgo., México

Nouvelot, Jan François (Hidrólogo) director de investigaciones retirado del ORSTOM de Francia; co-responsable científico del proyecto franco-mexicano de 1995 a 1997

Plenecassagne, Alain (Ingeniero Químico) Ingeniero de estudios del IRD de Francia

Polaco, Oscar (Arqueólogo) es profesor de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en México D.F.

Poulenard, Jérôme (Edafólogo) es maestro de cátedra en la Université de Savoie (Chambéry), Francia

Rodríguez Camarillo, Guadalupe (Ingeniero forestal) es prestadora de servicios forestales en el estado de Durango, Dgo., México

Solís Moreno, Raúl, (Ingeniero forestal) es investigador del Instituto de Silvicultura y de la Industria de la Madera (ISIMA) de la UJED en Durango, Dgo., México. Doctorando del programa SEP-CONACYT ANUIES - ECOS-Nord (M01-U01)

Tardy, Marc (Geólogo) es profesor de Geología en la Université de Savoie, Francia

Viramontes, David (Eco-edafólogo y Geógrafo) es investigador en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) de Jiutepec, Mor. , México

PRESENTACIÓN

El agua y el hombre en el norte de México: un balance de años de investigación hidrológica en la cuenca del río Nazas

Jean-François Nouvelot

El agua y su gestión representan para México una prioridad nacional desde hace muchos años, y en particular, desde que la Reforma Agraria de 1936 se apoyó, además de la expropiación de las grandes haciendas, en la creación de nuevos distritos de riego con el fin de proporcionar tierras al mayor número de campesinos posible. El acceso al agua para la actividad agrícola es especialmente problemático en las regiones del norte, esencialmente áridas y semiáridas, donde se localiza el 53 por ciento de los terrenos cultivables pero donde solo se recibe el 7 por ciento de las precipitaciones totales del país, los acumulados pluviométricos anuales se sitúan, en promedio, entre los 300 y 500 milímetros, con algunas zonas que llegan a recibir menos de 200 milímetros al año.

En este contexto, el incremento demográfico, la deficiente gestión del agua disponible, el a veces ineficaz sistema comunitario "ejidal", la falta de una cultura del agua y la mentalidad pionera de una gran parte de los habitantes -impulsada por un comportamiento "minero" de apropiación y de explotación de los recursos naturales- condujeron rápidamente a la sobreexplotación de los recursos hidráulicos. Es esencialmente el caso de la cuenca endorreica de los ríos Nazas-Aguanaval, donde tanto las aguas superficiales como las subterráneas se utilizan casi exclusivamente para el riego agrícola en un distrito de riego de 160,000 hectáreas, la Laguna que padece desde hace algunos años una grave crisis debido a la serie de años con déficit de lluvia, representa uno de los tres grandes problemas a los cuales se enfrenta actualmente México en el ámbito de los recursos hídricos, además

de la situación conflictiva con los Estados Unidos en relación a las dotaciones volumétricas de los escurrimientos del Río Bravo/Río Grande (también con años muy deficitarios de lluvia), y la desaparición anunciada de la Laguna de Chapala, situada en el estado de Jalisco, cercano a la ciudad de Guadalajara, que podría desecarse completamente en el corto plazo como consecuencia de la sobreexplotación del recurso dentro de su cuenca vertiente.

Ante esta problemática, un enfoque científico se impuso con el fin de proporcionar bases sólidas e innegables a posibles soluciones. Con este fin se llevaron a cabo investigaciones hidrológicas de 1992 a 2002 en el marco de un convenio firmado entre el ORSTOM (antiguo nombre del IRD, *Institut de Recherche pour le Développement*) y el INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias) a través del CENID RASPA (Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua Suelo Planta Atmósfera) situado en Gómez Palacio, Durango, dentro del distrito de riego 017, Región Lagunera. Este proyecto de investigaciones franco-mexicano fue sobriamente llamado "Uso y manejo del agua en las cuencas hidrográficas del norte de México (se trata de la Región Hidrológica número 36, o cuenca de los ríos Nazas y Aguanaval).

En el marco de este convenio, se emprendieron investigaciones en dos sitios experimentales situados, uno en la zona semiárida, donde las precipitaciones medias anuales se incluyen entre los 300 y 500 milímetros, en el rancho Atotonilco, en el estado de Durango; otro en la zona de montaña sub-húmeda, en la Sierra Madre Occidental donde las precipitaciones medias anuales se sitúan entre los 500 y 800 milímetros. Estos trabajos se refieren a los mecanismos de los procesos hidrológicos y a su modelación a distintas escalas espacio-temporal para, en una primera fase, adquirir un mejor conocimiento de las potencialidades hídricas del conjunto de la región y luego, en una segunda fase, racionalizar o al menos mejorar su aprovechamiento. Este estudio fue precedido por otro programa que se interesó específicamente en la zona árida donde las precipitaciones anuales son inferiores a los 300 milímetros (el programa "Mapimi"); razón por la cual se llevaron a cabo pocas investigaciones del convenio "Región Hidrológica 36" en esta última zona climática, aparte del seguimiento realizado de 1993 a 1995 en una cuenca experimental (cuenca la Ventana, en el estado de Coahuila) situada en el límite de la Comarca Lagunera.

Los resultados que se presentan en esta obra se refieren a las investigaciones hidrológicas realizadas en la zona de montaña, en el marco de este convenio y muestran el impacto de la degradación del medio biofísico en relación a los recursos hidráulicos; la urgencia de adoptar una gestión patrimonial de las aguas, sobre todo a la escala de la cuenca vertiente, haciendo hincapié en el vínculo que hay entre el empleo del espacio por el hombre y los recursos hidráulicos. Se trata de estudios multidisciplinarios para los cuales varios especialistas y distintos equipos aportaron sus conocimientos y su experiencia a los que se les agradece aquí su contribución.

AGRADECIMIENTOS

Los trabajos expuestos aquí recibieron el apoyo financiero del IRD (programa RH36, posteriormente programa "Hidrología de Vertientes Agrícolas") así como del INIFAP Proyecto del CENID-RASPA: "RH36", "Manejo integrado de cuencas" y "Estudio integral de los sistemas productivos y de los recursos naturales". Agradecemos también al programa CONACYT - ANUIES ECOS-Nord que participó en el apoyo a estas investigaciones, y al programa ISIS del CNES, en el cual pudimos disponer de imágenes satelitales SPOT con tarifa muy preferencial.

Deseamos agradecer muy calurosamente a los habitantes del pueblo (Ejido) de Boleras, que nos acogieron muy bien y nos albergaron durante 10 años sin interrupción. Agradecemos también a los otros ejidos (la Posta de Jihuites, Escobar, la Ciénega de Escobar) que nos autorizaron, a través de sus Comités Ejidales, a instrumentar 5 cuencas vertientes experimentales, parcelas y microcuencas de observación en 4 sitios diferentes, y una red de 56 totalizadores de lluvia. Deseamos señalar que durante todos esos años no sufrimos ningún robo, vandalismo o degradación del material instalado.

Nuestros agradecimientos se refieren muy especialmente a la familia de Doña Anita y Don Hilario Delgado, cuya recepción nos permitió sentirnos como en casa en el poblado de Pilitas de Abajo (Ejido Boleras); esta familia puso una casa a nuestra disposición durante todos estos años, y facilitó el contacto con los habitantes, las autoridades y en la vida diaria de la comunidad, nos ayudaron de mil y una maneras, solo por mencionar unas: las nume-

rosas reparaciones de vehículos, y el transporte de los enfermos a la clínica de la Posta. Sus hijos y nietos nos acompañaron, ayudaron y nos acogieron con los brazos abiertos, su amistad fue un apoyo invaluable para los 21 aprendices y jóvenes estudiantes franceses, mexicanos y otros que estuvieron en Bolerias, así como para los investigadores franceses y mexicanos poco acostumbrados en un principio a la región.

Un gran reconocimiento también a nuestro apreciado y entrañable amigo y colega Henri Barral que nos ayudó con su sólida experiencia y sus grandes conocimientos del medio y la gente en el norte del México; su humor y su amabilidad así como su disponibilidad fueron de una inmensa ayuda a lo largo de estos años. Convertido en el amigo de muchos de entre nosotros, sentimos todos que, como decía Brassens, *“nunca, nunca jamás, el vacío que dejó en el agua se volverá a cerrar”*.

Introducción general

¿Por qué esta obra?

Las investigaciones conjuntas realizadas entre el ORSTOM, después IRD, y el INIFAP CENID-RASPA entre 1992 y 2002, en la Sierra Madre Occidental, continúan actualmente en el marco de un programa ECOS Nord - ANUIES (programa apoyado por la Universidad de Paris y el CONACYT para impulsar la cooperación entre universidades e Instituciones de investigación científica francesas y mexicanas). Esta larga cooperación científica, en la cuenca alta del río Nazas, ha sido realizada esencialmente por hidrólogos y edafólogos que se interesan en el estudio de las consecuencias hidrológicas de los cambios de uso del suelo en esta gran cadena montañosa de América. Seis años de observaciones intensas, acompañadas del seguimiento de ciertos sitios de interés científico, han permitido mejorar el conocimiento de los procesos hidrológicos en esta zona y comprender como las formas de aprovechamiento y sus evoluciones provocan cambios aguas abajo y cambios para los habitantes de generaciones futuras, a tal punto que se justifica la necesidad de dar un consejo a las autoridades mexicanas, a través del CENID-RASPA, para que intervengan en la administración y ordenamiento del territorio de esta región que constituye una verdadera fuente de agua para el norte de México. Por otro lado, este trabajo es el fruto de una intensa cooperación entre las dos instituciones, y el solo hecho de que esta cooperación continúe hoy en día muestra el interés científico que le atribuye la comunidad científica. Las nuevas directrices mexicanas en la política de administración del agua y del territorio pudieron ser inspiradas por estos trabajos o podrán serlo en un futuro, ya que los datos y observaciones de campo, su tratamiento y modelación, están a la mano de los científicos y de los administradores del agua, así como de los tomadores de decisión y los responsables políticos.

Por otra parte, se pudo contar con el inmenso conocimiento de campo y de sus hombres, del medio ambiente y de su contexto mexicano, ofrecido por Henri Barral, colega geógrafo, ya fallecido desafortunadamente; Henri Barral dio mucho de su tiempo para asesorar a los estudiantes del equipo y para perfeccionar los conocimientos de sus colegas franceses y mexicanos menos experimentados que él; impulsó las investigaciones sobre la calidad de los pastizales y el modo del aprovechamiento del territorio, que permitieron comprender como el sobrepastoreo puede modificar el comportamiento hidroedafológico de la cuenca; su gran experiencia, amistad y cariño que tuvo por México, país apasionante de rica cultura, fue de gran ayuda tanto para este modesto libro como para la cooperación científica franco-mexicana en el norte de este gran país.

Contexto actual

La Sierra Madre Occidental es poco conocida aún en Europa, pero también en Norteamérica; en México, se considera como una región alejada del “centro”, poco turística y poco visitada por la gente. Extrañamente es una región que sale de su letargo al mismo tiempo en que su población emigra masivamente hacia los Estados Unidos.

Esta cadena de montañas parece bastante dinámica porque sus recursos naturales son relativamente abundantes, comenzando por el agua, los bosques, los pastizales, los minerales; y porque el nivel de vida de sus habitantes es superior al de otras zonas rurales mexicanas *a fortiori* zonas de montaña, ya que tiene una fuerte proporción de emigrados, que se traduce en una riqueza repartida entre menos habitantes y también, por las entradas de capital proveniente del extranjero; probablemente el nivel alto de vida sea también ayudado en ciertos casos por las ganancias de cultivos ilícitos. Se siente allí un bienestar relativo poco común en las montañas latinoamericanas, que contrasta con la miseria de los campesinos indígenas de las montañas del sur de México. Una gran proporción de las familias posee aquí un vehículo (mismo si se trata de un viejo pick-up americano, generalmente no legalizado, ya que existe en la zona una cierta tolerancia para ello), una casa de material, amueblada completamente, con energía eléctrica en numerosos pueblos, que también empiezan a gozar de agua potable y del servicio telefónico vía satélite cuando la comunidad está muy apartada. Numerosos pueblos son inaccesibles por carretera (las barrancas son a menudo infranqueables; pero en este caso, los profesores de las escuelas son transportados en avionetas en el mes de septiembre, dándoles facilidades de comunicación por radio y son recogidos hasta el mes de junio para gozar de su periodo de vacaciones; las avionetas puede también ser utilizadas para evacuar enfermos y heridos en caso de emergencia.

México, país en desarrollo, es heredero de una Revolución que ayudó a forjar una nación al lograr escolarizar casi el 100 por ciento de sus niños y de instalar un sistema de

salud de calidad similar al de países latinoamericanos como el de Cuba o Costa Rica.

Pero ese dinamismo y ese bienestar aparente presentan en contraparte una fuerte migración. Esto es una certeza para todos los jóvenes en edad de trabajar, que son cada vez más numerosos, sobre todo del sexo masculino. ¿Entonces la montaña relativamente privilegiada se vacía? Esta paradoja es más bien aparente ya que se ha visto que la partida de la gente es sinónimo de mejoramiento del nivel de vida para los que se quedan. Por lo demás, esta migración (ver Capítulo 2) se da en muchas formas, y gran parte de las personas han tomado la costumbre de atravesar regularmente la frontera (a veces clandestinamente) una o dos veces al año.

Temática científica

Este despoblamiento no es visible en el campo ya que no se caracteriza por un abandono rural. México es desde hace al menos tres décadas, un formidable proveedor de mano de obra para los Estados Unidos pero aquí se ha visto partir al 80 por ciento de la población de los pueblos en diez años. Ahora bien, en el campo se ven siempre y casi por doquier los signos de la sobreexplotación aunque últimamente la instalación de cercos ha permitido salvaguardar algunos pastizales. En efecto, México también vivió una “revolución” durante los años 1990; con su entrada al tratado de libre comercio de Norteamérica (TLCAN) en 1994 y su entrada a la OCDE, que condujo a la abrogación del artículo 27 de la Constitución Mexicana, abrogación votada en 1992, para eliminar una ley de 1946 que instauraba la Reforma Agraria. El sistema de comunidades rurales (ejidos) derivados del espíritu de la Revolución de 1910 se hizo mil pedazos con esta abrogación y la propiedad privada se transformó en una norma para todo México (aunque el sistema comunitario puede persistir en aquellos ejidos donde las personas lo deseen, pero eso es raro en el Norte).

Esos cambios importantes que marcan la historia del país, se tradujeron por un vasto fenómeno de instalación de cercos ya que los nuevos propietarios tenían apuro de marcar físicamente los límites de sus nuevas propiedades.

Este movimiento de instalación de cercos y esta fuerte emigración frenaron solo un poco la fuerte sobreexplotación del espacio y localmente invirtieron la tendencia al limitar temporalmente el sobrepastoreo y la deforestación. En efecto, ni los cercos ni la emigración han provocado una baja en el número de vacas; al contrario, se aprovecha el dinero que proviene de los emigrados para comprar más animales; ciertos campesinos se van a los Estados Unidos algunos meses al año únicamente para ahorrar para la compra de un semental de registro cuando regresen. Ahora bien, el ganado seleccionado es ciertamen-

te más productivo (si se trata de razas de engorda para carne) que los utilizados tradicionalmente en la Sierra Madre Occidental, pero pueden estar poco adaptados para caminar en la montaña y pueden tener tendencia a permanecer cerca de los sitios de agua para abreviar mientras que cada vez hay menos jóvenes vaqueros, para llevarlos a donde se encuentran los mejores pastizales para asegurar así un mejor aprovechamiento de los potreros.

Esta sobreexplotación del territorio condujo a una fuerte degradación de los pastizales y de los suelos, lo que a su vez, modificó las condiciones hidro-dinámicas y por consecuencia el escurrimiento y la infiltración; así, se modificó también la capacidad del suelo para retener el agua. El régimen de los arroyos también se afectó: las avenidas son más intempestivas y cortas, los estiajes son más breves y marcados. Por ello, los recursos en agua están amenazados a corto plazo si la administración del territorio no se mejora rápidamente, con una óptica más patrimonial. Es importante hacer notar que se tomó al sobrepastoreo como la principal causa de la degradación del territorio y como la principal causa de los cambios hidrológicos registrados. Estamos aquí ante una economía de engorda de ganado que veremos a veces comparada, en las páginas que siguen, con otras regiones de economías agro-pastorales; incluyendo las de otros continentes como el africano (región del Sahel) donde las estepas y las savanas están también amenazadas por la sobrecarga del ganado. Se evocarán también comparaciones con el principal macizo montañoso de Europa, es decir con los Alpes, que presentan hoy en día un abandono rural, pero que tuvieron, en el pasado, las fases de sobreexplotación de las vertientes que provocaron una desestabilización del régimen hidrológico (crecidas y estiajes exacerbados, inundaciones de las planicies bajas). La dinámica de esos medios agro-pastorales depende a menudo del clima, pero también de las migraciones y de las condiciones de acceso a los recursos agua, suelo y pastizal.

La problemática de las investigaciones científicas cuyos resultados se exponen en las páginas siguientes, es el estudio de consecuencias de los cambios de uso de suelos en la evolución de los recursos hídricos. Los cambios de escala espacial y temporal nos harán pasar de la unidad elemental del suelo a la cuenca vertiente, y de la cuenca vertiente elemental a la cuenca de los grandes ríos que son el río Nazas, el río Conchos o el río Bravo. Las referencias históricas de las ciencias humanas serán a veces indispensables para comprender las relaciones de los hechos que pudieron conducir a las condiciones efímeras actuales.

Interés de México en la Sierra Madre Occidental

Se dice a menudo "Pobre México, tan lejos de Dios y tan cerca de Estados Unidos"; y que decir de la Sierra Madre Occidental si es la continuidad geológica de la parte occidental de las Montañas Rocosas: el norte de los estados de Chihuahua y de Sonora tienen frontera con Arizona y Nuevo México. La frontera México - Estados Unidos es la única

frontera terrestre entre un “país del Norte” y uno “del Sur”. Esa frontera vive de ese gradiente formidable y del flujo de hombres, mercancías, dinero, comunicaciones de todo tipo cada día más desarrolladas. La Sierra Madre esta muy influenciada por esa proximidad geográfica. Ciertamente esta frontera es entre el Norte y el Sur pero aún no una frontera entre la cultura anglo-sajona y la cultura latinoamericana. A pesar de que los modos de vida norteamericanos estén bien diseminados en México, sobre todo en el norte del país, y que 36 millones de habitantes de los Estados Unidos sean mexicanos o de origen mexicano, a pesar de que el lejano oeste presente una continuidad perfecta con sus paisajes y su forma de aprovechar los grandes territorios del norte de México, a pesar de que el más grande desierto de América, el desierto Chihuahuense, esté entre las dos fronteras, y que los rasgos de las sociedades sean persistentes, la frontera cultural artística, socio-económica, religiosa, etc., permanece claramente en el río Bravo.

La Sierra Madre Occidental esta geológicamente en América del Norte y culturalmente en América Latina, a pesar de la intensidad creciente de los intercambios humanos y económicos y a pesar de los fuertes prestamos culturales, en los dos sentidos. Pero aquí estamos en una región trans-fronteriza y eso nos lleva a veces a interesarnos en lo que pasa del otro lado de la frontera.

La Sierra Madre, es antes de todo una región de montaña, bastante elevada (3300 metros máximo) pero sobre todo con una orografía escarpada; tiene rasgos y problemáticas propias de las regiones de montaña: dificultades de circulación, dificultades inherentes a la agricultura de montaña, clima extremo y seco, pluviometría excesiva en temporada de lluvia, etc.; se podrían también comparar las similitudes y diferencias con otras regiones de montaña, ya sea en zona tropical o no; ya que la Sierra Madre se encuentra en la región tropical, aunque ésta se desarrolla esencialmente al norte del Trópico: el régimen de lluvias es tropical (lluvias estivales), las temperaturas elevadas en la planicie; por el contrario, la altitud impone inviernos rigurosos y como en otros macizos montañosos de América Latina y de otras regiones tropicales, las zonas elevadas tienen un clima de tipo templado, con temperaturas elevadas en verano y bajas en invierno.

Esta región de montaña representa intereses diversos que cambian en México. Durante mucho tiempo, el centro de la actividad se localizó en las minas de metales preciados y en las implantaciones de los Jesuitas. Los Tarahumaras, los Tepehuanos, los Yaquis y los Huicholes nunca fueron poblaciones importantes en número y tenían una actividad económica seminómada con muy poco de impacto sobre el medio ambiente. La actividad minera era la justificación de la colonización española (los minerales son variados y abundantes) pero no se difundió mucho, limitándose a la extracción de minerales y a realizar su tratamiento en otras regiones (Torreón en el estado de Coahuila para tratar los minerales raros y Monterrey para el hierro de Durango).

La Sierra Madre Occidental se transformó, en el transcurso de la primera mitad del siglo XX, en una zona ganadera extensiva, actividad que permanece aún hoy en día como la principal para los pobladores locales. Actualmente, sin embargo, no es la producción agrícola ni la actividad minera que representa el interés más grande de la Sierra Madre. Son los recursos hídricos su principal riqueza; pero estos recursos representan también una riqueza para las otras regiones, en particular las zonas áridas y semi-áridas que la rodean, tanto al este (desierto Chihuahuense) como al oeste (desierto costero de Sonora). Esos recursos fluyen hacia regiones más pobladas pero que carecen severamente de agua.

Desde el período colonial, las ciudades se instalaron a proximidad de los arroyos y ríos provenientes de la Sierra: Culiacán en el río Humaya, El fuerte en el río del mismo nombre, Ciudad Obregón en el río Yaqui; esta localización lógica prevaleció en el período posterior, con Hermosillo instalado al lado del río Sonora, Torreón al lado del Nazas, Jiménez al lado del Conchos, etc.

En el transcurso del siglo XX, se crearon y desarrollaron grandes distritos de riego alimentados por presas. Sin embargo, esto solo benefició a la parte baja y periférica sin beneficiar a las poblaciones instaladas en las montañas.

La principal pregunta que se plantea actualmente, cuando existe una gran competencia por el territorio y por el agua, es profunda y polémica, sobre todo para la zona árida y semiárida, ¿Podemos saber si esta agua sería mejor aprovechada ahí de donde proviene y abunda? Ya que visiblemente hoy en día, estas aguas están comprometidas totalmente para los distritos de riego, aguas abajo, sin esperanza de poder retenerlas aguas arriba y darles un uso local. Por otra parte, esto orientó precisamente el objetivo científico de nuestras investigaciones, ya que esta reserva de agua, que se encuentra amenazada a corto plazo por la degradación del medio (suelo y vegetación) en la zona de montaña. Pero, ¿Habiendo una demanda de agua creciente, porque los usuarios no han exigido que se haga un santuario en toda la Sierra Madre para perpetuar su "rendimiento hidrológico"?

Si esta obra puede, directa o indirectamente, contribuir para aconsejar a los administradores del agua al demostrarles que debe hacerse un ordenamiento territorial, y una administración del agua más patrimonial, y si llega a convencer que un tala bosques o un ganadero o un explotador de minas son también partes y actores de esa administración del agua, ya que ellos intervienen en el terreno de las cuencas vertientes y su conservación, las investigaciones llevadas a cabo durante los últimos doce años no habrán sido en vano.

Contenido de la obra

Después de una introducción en la cual se exponen los principales rasgos físicos de la Sierra Madre Occidental, este libro está dividido en cuatro grandes partes:

- En la primera parte, se aborda el contexto histórico y las circunstancias humanas políticas y demográficas que pueden explicar el desarrollo del sistema de aprovechamiento socio-económico actual y su evolución reciente; se presentarán en contraposición el despoblamiento rápido de las zonas rurales con los principios de ocupación de las montañas por el hombre, hace miles de años.
- La segunda parte se interesa en los fenómenos hidrológicos tal y como han sido estudiados durante más de diez años, y trata de analizar sus procesos desde las pequeñas hasta las grandes superficies (de la unidad de suelo a la cuenca de los ríos más grandes); el clima, en particular la lluvia, los suelos y sus estados de superficie, condición primordial para el escurrimiento, y los datos hidrológicos son analizados también para comprender su evolución reciente.
- La tercera parte trata de explicar esas evoluciones a través de lo que parece ser la problemática principal de los ambientes de montaña tropical en los países del sur: la degradación de sus recursos (vegetación, suelos y por supuesto agua), sus causas y consecuencias; esta parte se detendrá en una de las investigaciones en curso, que estudia la eventual retroacción entre los bosques y la distribución espacial de las lluvias.
- La última parte se abre hacia el futuro, abordando los problemas geopolíticos que plantea la voluntad unánime de instrumentar una mejor administración del agua, con el interés de preservar el territorio con una visión patrimonial, que permitirá sin duda, desarrollar una forma de eco-turismo que puede ser una alternativa contra el abandono rural y contra la sobreexplotación; esta cuestión del desarrollo durable (desarrollo sustentable) se plantea al mismo tiempo para la cuenca de Valle de Bravo, cuya problemática se estudiará al final de la obra; y donde se mostrará que los problemas encontrados en la Sierra Madre Occidental se encuentran también ahí, sin embargo con mayor impacto en la medida en que la presión demográfica es mucho mayor, lo cual es el caso de todas las montañas del sur del país, y también de las montañas de América Central, América del Sur y en la mayor parte de las montañas tropicales del mundo.

La Sierra Madre Occidental, fuente de agua del Norte de México

La Sierra Madre Occidental constituye el macizo de riolita más grande del mundo. Se extiende en más de 1,500 km de norte a sur y tiene un ancho de 200 a 400 km dependiendo de los sitios. Esta cadena esta compuesta de un apilamiento de gran grosor (varios miles de metros) de ignimbritas riolíticas (ver inserción sobre la geología más abajo) que han dado forma a un conjunto de mesetas con una vertiente oriental, más seca, que desciende regularmente hacia el Altiplano norte centro de México; y una vertiente occidental, más húmeda y muy escarpada, cortada por numerosas fallas derrumbadas hacia el Pacífico. La Barranca del Cobre con sus 1850 m de profundidad es una de las incisiones más conocidas que hacen muy difícil el recorrido este - oeste de la cadena (para atravesarla hay una sola carretera actualmente de Durango a Mazatlán, y una vía férrea de Chihuahua a los Mochis), mientras que el tránsito sobre sus planicies altas es relativamente fácil. Hay que decir que esas zonas de cúspide tienen altitudes desiguales; el punto culminante de la Sierra esta a 3310 msnm pero ningún paso la cruza a menos de 2400 msnm; es decir que el conjunto es masivo pero poco accidentado en las áreas más altas. (Figura 0.1).

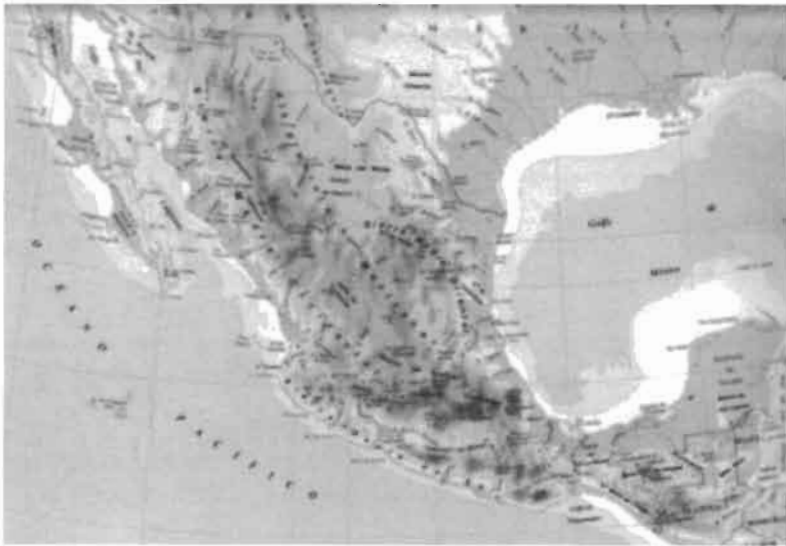


Figura 0.1. Carta topográfica de México.

Esta cadena constituye innegablemente una “fuente de agua” para el norte del país, y para todos los ríos importantes que nacen en ella y que escurren ya sea hacia el Atlántico (río Conchos, afluente del río Bravo), hacia una depresión endorreica en la región árida (río Nazas), o hacia el Pacífico como el río Fuerte, el río Yaqui o el río Humaya.

La Sierra Madre Occidental esta enmarcada al este por el más grande desierto de América del Norte, el desierto “Chihuahuense” y al oeste por una planicie litoral que tiene un clima tropical húmedo hasta la latitud de Mazatlán y se transforma en cada vez más árido hacia el norte (300 mm de precipitación anual aproximadamente en Los Mochis), hasta llegar a los desiertos costeros de Sonora y de Baja California. El punto más seco de México se encuentra en el bajo valle del río Colorado (menos de 50 mm al año).

La Sierra Madre Occidental constituye un obstáculo sobre todo en la muy escarpada vertiente occidental (Figura 0.2); es también un obstáculo para las masas de aire húmedo que vienen del suroeste y que aportan la mayor parte de las precipitaciones en la temporada de lluvias. Hay también una pequeña temporada de lluvias en invierno (diciembre-enero) aunque solo aporta, en promedio, diez por ciento de las precipitaciones anuales, y es muy dependiente del fenómeno ENSO (El Niño Southern Oscillation, por sus siglas en inglés). En efecto, esta temporada de lluvias invernales es importante sobre todo en años “calientes”; y lo es más en la vertiente occidental que en la vertiente oriental de la Sierra Madre Occidental. Las condiciones climáticas relativamente favorables en esas latitudes subtropicales hacen de la Sierra Madre una región atractiva, pero también una región con retos respecto a sus recursos.

Desde la colonización española, los recursos minerales de la Sierra la habían hecho un área de especulación. Sus afloramientos de rocas volcánicas, plutónicas y cristalinas (Figura 0.10) dejan al descubierto yacimientos de valiosos metales (oro, plata) o menos apreciables (cobre, plomo, etc.) pero también numerosos yacimientos de manganeso. La explotación de este último mineral fue muy abundante en la zona de estudio del alto Nazas, hasta que cesó repentinamente en 1974 cuando bajó el precio del metal al final de la guerra de Vietnam. Por el contrario, numerosas explotaciones mineras están todavía activas: en Cananea (extremo norte del estado de Sonora) de donde se extrae cobre, plomo y zinc (Figura 0.3). La ciénega de Nuestra Señora (oeste del estado de Durango) y el Colorado (norte de Durango) donde se extraen oro y plata.

Desde fines del siglo XIX, la ganadería extensiva tomó posesión de las tierras del bosque con un mayor potencial que las planicies áridas del centro norte. La vegetación tural de los bosques tiende a ser reemplazada por los pastizales escalonados según la altitud (acacias reemplazadas por encinos a los 2000 msnm luego por los pinos a los 2500 msnm, ver Figura 0.4), las vertientes altas y las planicies de la Sierra tienden a ser reemplazadas por los pastizales, salvo en las áreas de silvicultura donde esta actividad ocupa todo el territorio. A pesar de que la ganadería es la principal actividad de los campesinos y de las comunidades

rurales, la silvicultura se transformó desde hace 30 años en la actividad motor de la Sierra lo cual no se realiza sin plantear problemas de manejo de recursos.

Una fuente de agua natural..., y artificial

Las condiciones naturales descritas anteriormente, en particular la topografía, la geología y la vegetación, hacen de la Sierra Madre un reservorio de agua natural.

Pero es debido a la precipitación pluvial y al clima en general, que existe esta relativa riqueza de agua. En efecto, todo es relativo, cuando se sabe que 54 por ciento de las tierras arables de México se encuentran en la mitad norte, donde no se recibe más que el 7 por ciento de las precipitaciones que caen en todo el territorio nacional. La Figura 0.5 muestra que las láminas de agua precipitadas son más importantes en la Sierra Madre que en la planicie costera del Pacífico y que en el altiplano del norte centro de México. La cantidad de lluvia es mayor que en las zonas vecinas y la evaporación potencial es menor por la altitud.

Algunos sitios, en la vertiente Pacífico de la Sierra en los estados de Durango y Sinaloa, reciben alrededor de 1500 mm de lluvia por año.

Esas condiciones hacen que los ríos que nacen en la Sierra Madre, relativamente abundantes para la región, sean los únicos que aportan agua abundante, a pesar de tener gastos muy bajos para las zonas de montaña: inferiores a dos litros por segundo por kilómetro cuadrado, en la vertiente interior (este) de la Sierra Madre; ente cinco y diez litros por segundo por kilómetro cuadrado en la vertiente del Pacífico (oeste). Es, sin embargo, en la vertiente que da al Altiplano que comenzó la explotación de los ríos que nacen de la Sierra Madre, con la construcción de la presa "La Boquilla" en el río Conchos en 1916 y la presa "Lázaro Cárdenas", en el río Nazas en 1936 (Cuadro 0.1; Figura 0.6).

Posteriormente, se concentraron los esfuerzos de manejo en la vertiente del Pacífico. El período de construcciones más intenso corresponde a los años 1940, donde América Latina vivió aislada del mundo en guerra y con regímenes "populistas" que llevaron a cabo políticas de industrialización sólidas para sustituir a las importaciones. Es sobre todo en México, bajo la presidencia de Lázaro Cárdenas, que se hizo aplicar la Reforma Agraria y se buscó proveer a los campesinos de las tierras arables para la creación de distritos de riego. De esta época se pueden observar los elementos siguientes:

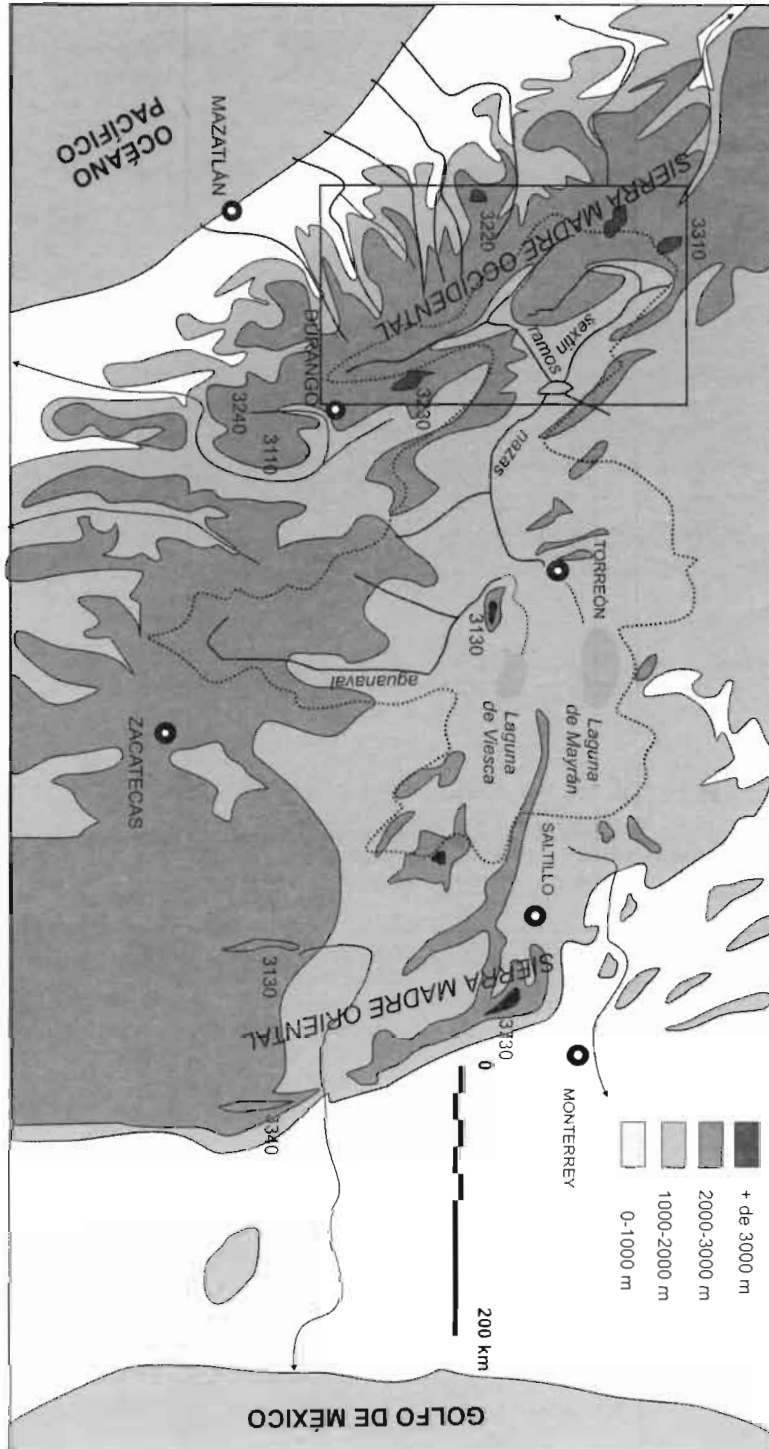


Figura 0.2. Relieve de la Región Hidrológica 36 y de la parte central de la Sierra Madre Occidental. El rectángulo señala el área de estudio de la cuenca alta del río Nazas.



Figura 0.3. Mina de cobre a cielo abierto en Cananea, al norte del estado de Sonora; en primer plano, la cuenca de decantación de los desechos.

Cuadro 0.1. Principales presas y distritos de riego alimentados por las aguas provenientes de la Sierra Madre Occidental.

Presa	Río	Estado	año	superficie de la cuenca km ²	capacidad total	* 106m ³
La Boquilla	Conchos	Chih	1916	28 000	3 990	39 700
A. López Mateos	Humaya	Sin	1964	11 000	3 160	126 100
J. López Portillo	San Lorenzo	Sin	1981	8 200	3 400	260 000
Miguel Hidalgo	Fuerte	Sin	1956	29 600	3 290	230 000
Sanalona	Tamazula	Sin	1949	3 250	1 095	95 000
A. L. Rodríguez	Sonora	Son	1948	21 900	253	10 000
Alvaro Obregón	Yaqui	Son	1953	73 500	3 000	220 000
Lázaro Cárdenas	Nazas	Dgo	1936	19 000	4 400	160 000

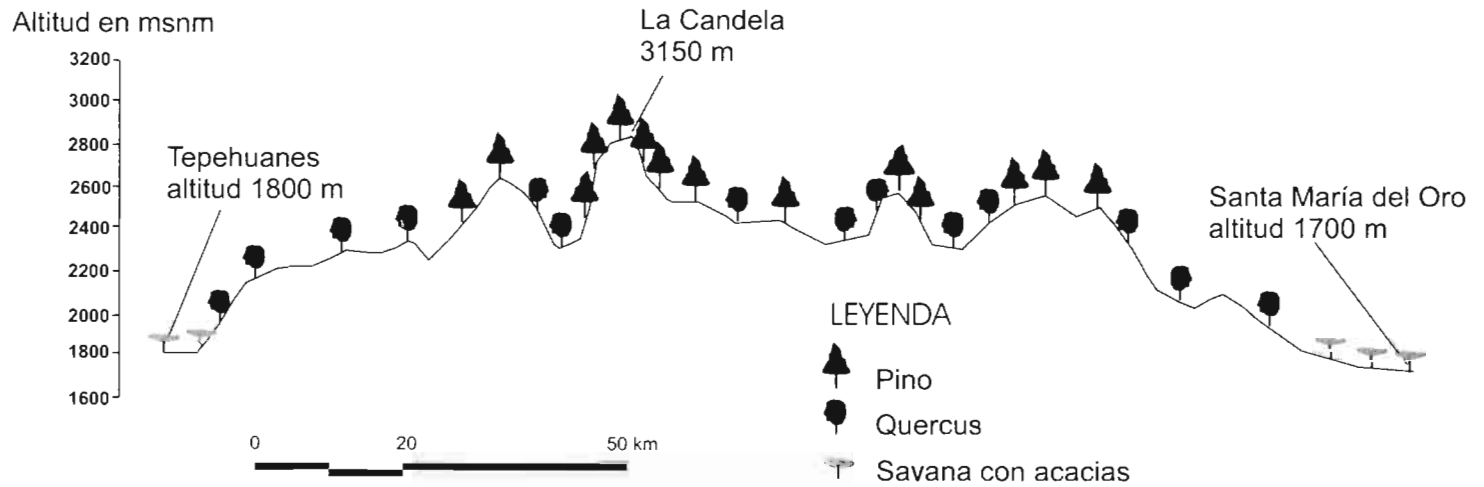


Figura 0.4. Escalonamiento altitudinal de la vegetación (tomado de Viramontes y Descroix, 2000).

- las presas cuentan con una capacidad importante (Cuadro 0.1), tienen antes de todo una vocación de almacenamiento para la agricultura y no producen electricidad. Entre ellas, seis poseen una capacidad de almacenamiento superior a los tres kilómetros cúbicos; Como dato comparativo, los dos reservorios franceses más grandes (el de Serre-Ponçon en el río Durance y de Santa Cruz en el río Verdon), no sobrepasan un kilómetro cúbico de reserva útil; pero se construyeron numerosas obras más modestas (Figura 0.7);
- todos los ríos importantes de la Sierra Madre fueron represados, salvo en el extremo sur de la Sierra, donde la precipitación es más importante y el riego agrícola raramente es necesario (Figura 0.6);
- los distritos de riego creados son de gran extensión; cinco de ellos sobrepasan las 100,000 hectáreas irrigables; fruto de una política firme para conquistar una nueva frontera, la del recurso agua; este impulso hacia el norte interviene después de los años del *New Deal* americano que desarrolló sus campos, en respuesta a la gran crisis (en 1932 fue inaugurada la presa Hoover que privó a México del 95 por ciento de las aguas del río Colorado que desembocaban en el golfo de California);

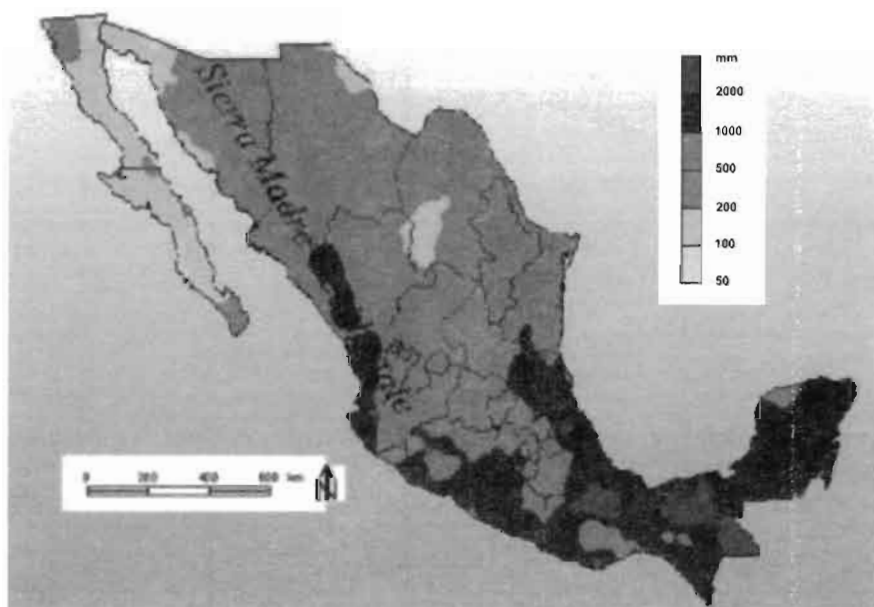


Figura 0.5. Precipitación promedio en México.



Figura 0.7. Presa en el río Matapé (estado de Sonora).



Figura 0.8. Presa Abelardo L. Rodríguez, aguas arriba de la ciudad de Hermosillo (estado de Sonora); el embalse se encontraba vacío en 2004 y desde 2002.

Bibliografía citada

Viramontes, D. et L. Descroix. 2000. Dégradation progressive du milieu et conséquences hydrologiques : étude de cas dans la Sierra Madre Occidentale (Nord Mexique). RGA, n° 2-2000, t.88, pp.27-42.

Elementos de geología de la Sierra Madre Occidental: constitución y origen

Marc Tardy

La Sierra Madre Occidental es una placa volcánica del Terciario que cubre una sexta parte de la superficie de la República Mexicana (Figura 0.9).

En la parte occidental del país, el apilamiento volcánico constituye una elevada meseta (2500 msnm; con un punto culminante a 3350 msnm) alargada en dirección norte-noroeste - sur-sureste, con una longitud de 1200 km y una amplitud de 200 a 300 km. Se extiende, en uno sólo tendido, desde la frontera de los Estados Unidos hasta los alrededores de la ciudad de Guadalajara donde se interrumpe por el eje volcánico trans-mexicano plio-cuaternario, (menos de 5 Millones de años). Al oeste, su límite con la planicie costera de Sinaloa se caracteriza por una abrupta topografía tallada por los cauces tributarios que drenan, a través de las barrancas (Barranca del Cobre), hacia el Pacífico. Sobre sus bordes norte y este, la meseta es afectada por la distensión llamada «*Basin and Range*» al origen de bloques basculados en sierras y en valles paralelos rellenos recientemente por aluviones; su paso al desierto de Sonora o a las depresiones endorreicas del altiplano central mexicano (1500 a 2000 msnm) es progresivo.

La existencia del más extenso apilamiento de rocas volcánicas ácidas conocido en el mundo, que forma la Sierra Madre Occidental, fue señalada desde principios del siglo XX en los trabajos de los pioneros de la geología mexicana: Ordoñez, (1900); Hovey (1907); King, (1939); Burrows (1949). Sin embargo, solo a partir de los años setenta se llevan a cabo los primeros estudios, en particular a lo largo de la carretera Durango - Mazatlán (McDowel and Keiser, 1977; Swanson *et al.*, 1978) y en los alrededores de Chihuahua (Swanson and McDowel, 1985); estos estudios fueron petrológicos, geoquímicos y radiocronológicos del apilamiento volcánico que constituye la Sierra Madre Occidental.

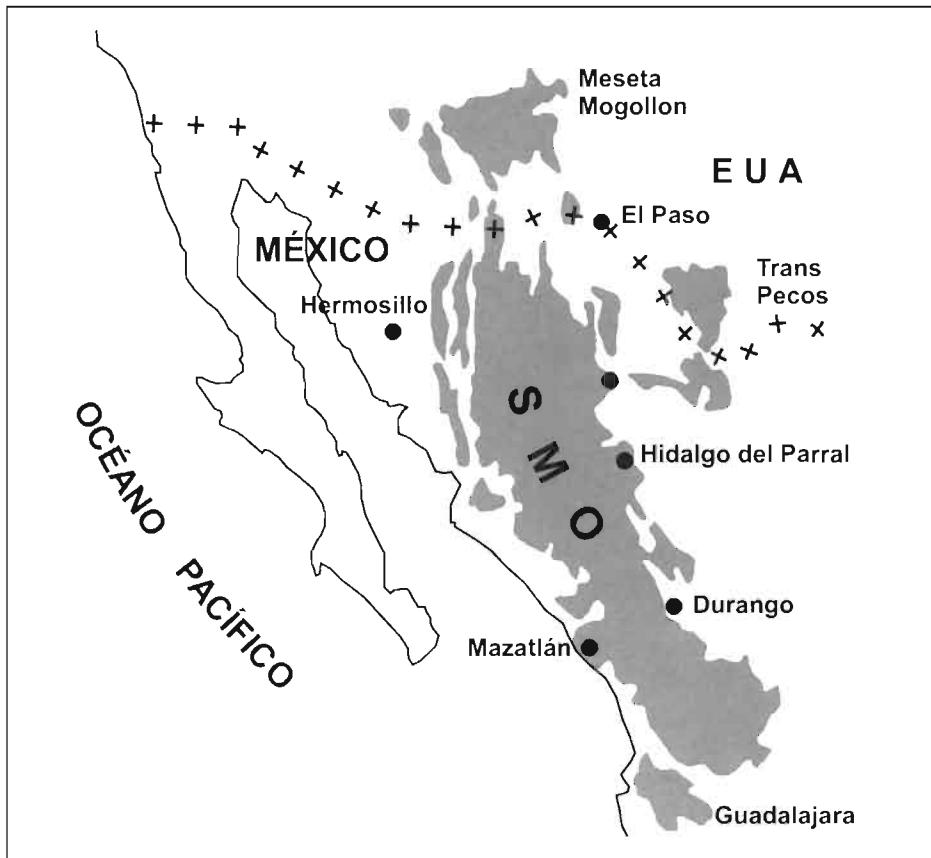


Figura 0.9. La Sierra Madre Occidental en las partes oeste y noroeste de México y el suroeste de los Estados Unidos; el gris representa el macizo montañoso.

Posterior a estos trabajos, completados después por numerosos estudios de equipos internacionales, es clásico distinguir en esta Sierra (Figura 0.10):

- un complejo volcánico básico, de grosor aun mal conocido, constituido esencialmente de andesitas y dacitas (en las cuales se intercalan algunos niveles de riolitas), recortadas por cuerpos intrusivos de granodioritas. Las rocas volcánicas se metamorfinizan generalmente en la facie esquisto verde y además se hidrotermalizan al contacto con los cuerpos intrusivos. Los fechados, así como las características petrogeoquímicas, indican que las lavas y rocas intrusivas pertenecen a un mismo complejo magmático calco alcalino, el cual, hacia el oeste, continúa hasta Baja California. Su instauración se efectuó, entre 90 y 40 Millones de años (Cretáceo superior y Eoceno superior respectivamente), con un paroxismo entre 60 y 55 Millones de años (Paleoceno superior), a través y sobre las rocas del Paleozoico y del Mesozoico deformadas anteriormente, que forman la parte occidental del continente mexicano;
- un complejo volcánico superior, discordante sobre el conjunto anterior, más claramente representativo de la Sierra Madre Occidental. Que supera los 1000 m de grosor y comenzando a veces a partir del Eoceno superior (40 Millones de años) con andesitas, formado por tobas, ignimbritas de composición riódacítico a riolítico y por domos-vaciados de riolita. Este conjunto se estableció generalmente, en un contexto de vulcanismo explosivo (donde se reporta la presencia de alrededor de 400 antiguas calderas antiguas asociadas a las ignimbritas) entre 34 y 20 Millones de años (Oligoceno - Mioceno inferior). Hay que tener en cuenta que en la parte norte de la Sierra Madre Occidental, en Sonora, se intercalan algunas lavas básicas (basaltos y andesitas basálticas) que pueden alcanzar 600 m de espesor, datados entre 30 y 20 Millones de años, e incluidos en la secuencia ácida;
- coronando el edificio, las acumulaciones basálticas dispersas y de bajo espesor, algunos alcalinos (12 Millones de años) vinculados a la génesis de pequeñas fosas de hundimiento del Mioceno, otros mas toleíticos que emergen en los aluviones cuaternarios.

La génesis del edificio volcánico de la Sierra Madre Occidental, está vinculada a la subducción océano - continente que funcionó, de manera no permanente, desde el Cretáceo superior (90 Millones de años) hasta la aparición de la tectónica en extensión del "*Basin and Range*".

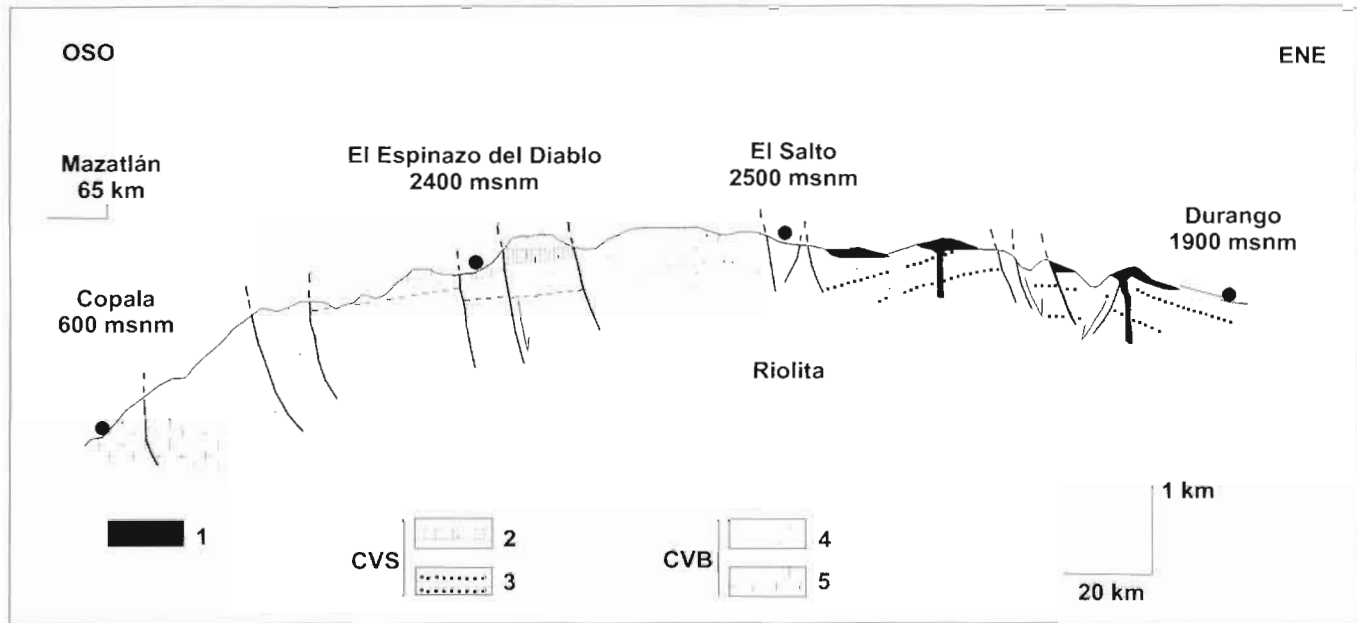


Figura 0.10. Corte geológico simplificado de la Sierra Madre Occidental a lo largo de la carretera Durango - Mazatlán (modificada según McDowell y Keizer, 1977). Tener en cuenta la exageración de las alturas con relación a las longitudes. 1: basaltos miocenos; CVS (Complejo volcánico superior) en que se distinguen: 2: secuencia de Durango con su estructura de caldera y 3: secuencia de Espinazo - El Salto; CVB (Complejo volcánico basal) que incluye 4: andesitas y 5: granodioritas.

La subducción fue la de la paleo-placa oceánica Farallon (que ocupaba la parte oriental del Océano Pacífico) bajo la margen continental de la placa Norteamérica. Iniciada desde el principio del Cretáceo superior, generó sobre el borde del continente, un arco volcánico y plutónico del que da prueba hoy el complejo volcánico básico de la Sierra Madre Occidental. Este régimen se acabó en el Eoceno mientras que México registraba los efectos de la Tectónica Laramiana, origen de la Sierra Madre Oriental.

El Eoceno es también el período durante el cual se registraron, por una parte, la reorganización del movimiento de las placas en el Pacífico y, por otra parte, la disminución de la velocidad de convergencia entre las placas Farallon y Norteamérica. Esta disminución de la subducción que implicó un énfasis del ángulo de inmersión de la placa Farallon, causó una distensión en el borde de la placa continental superior y, por consiguiente, permitió la emisión de magmas ignimbríticos característicos del complejo volcánico superior de la Sierra Madre Occidental. Este contexto se mantuvo hasta que, una vez desaparecida por subducción la placa Farallon, hace aproximadamente 20 Millones de años, al mismo tiempo que la extensión del *Basin and Range*, se instala la nueva frontera de la placa que transforma el origen del actual sistema de San Andrés.

Bibliografía citada

- Burrows R. H. 1949. Geology of northern Mexico. Bol. Soc. Geol. Mexicana, v. 7, p. 85-103.
- Hovey E. O. 1907. A geological reconnaissance in the Western Sierra Madre of the State of Chihuahua, Mexico. Amer. Mus. Nat. Hist. Bull., v. 23, p. 401-442.
- King, P. B. 1939. Geological reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental of Mexico. Geol. Soc. of Amer. Bull., v. 50, p. 1625-1722.
- McDowel, F. W. and R. P. Keiser. 1977. Timing of mid-Tertiary volcanism in the Sierra Madre Occidental between Durango City and Mazatlan, Mexico. Geol. Soc. of Amer. Bull., v. 88, p. 1479-1487.
- Ordoñez, E. 1900. Las riolitas de México. Inst. Geol. de México, Vol. 15, 76p
- Swanson, E. R., R. P. Keiser, J. I. Lyons and S. E. Clabaugh. 1978. Tertiary volcanism and caldera development near Durango City, Sierra Madre Occidental, Mexico. Geol. Soc. of Amer. Bull., v. 89, p. 1000-1012.

Swanson, E. R. and F. W. McDowell. 1985. Geology and geochronology of the Tomochic caldera, Chihuahua, Mexico. *Geol. Soc. Of Amer. Bull.*, v.96, p. 1477-1482.

PRIMERA PARTE

Medio natural y población dentro de la Sierra Madre Occidental

Introducción

La Sierra Madre Occidental, ¿Puede ser considerada como la fuente de agua del noroeste del país?

Ciertamente, pero todo es relativo y la pluviometría lo es más (ver Figuras 4.1 y 5.1) dentro de las cuencas que desembocan al océano Pacífico ahí donde el litoral recibe mayor cantidad de lluvia, al sur del Trópico de Cáncer (23°27' Norte). De hecho, algunos sitios registran más de 1500 mm de precipitación media anual, incluso en las estaciones costeras del litoral que reciben casi los 1000 mm. La estación seca es prolongada (7 a 8 meses), lo que da a esta planicie litoral las características de los trópicos secos (con vegetación de cactáceas y condiciones completamente secas a partir de diciembre), aunque la lluvia es suficiente para asegurar una buena cosecha de maíz y hasta de caña de azúcar sin riego en algunas localidades.

En contra parte, al norte del paralelo 26° Norte, la planicie costera se hace cada vez más árida; en Topolobampo se registra un promedio anual de 270 mm de lluvia, pasando progresivamente a los paisajes desérticos de Sonora, con su saliente en la península de California también árida. Lo mismo en las planicies interiores del altiplano norte central mexicano, la precipitación decrece rápidamente en relación a la que se presenta en la Sierra. Los sitios de registro más importantes se encuentran por encima de las isoyetas 800 o 1000 mm según su altitud (con bajas temperaturas que condicionan una evapotranspiración igualmente baja), mientras que en la depresión central, la precipitación anual es de 400 mm al norte (Chihuahua) y al sur (Zacatecas), aunque localmente se registran menos de 200 mm anuales en el fondo del Bolsón de Mapimí, al sur del desierto Chihuahuense.

En esas condiciones, aún sin importantes precipitaciones anuales, la Sierra Madre es el reservorio de agua tanto del noroeste como del noreste del país, ya que las aportaciones del río Conchos, afluente derecho del río Bravo (o río Grande), incrementa el gasto de éste cauce fronterizo con los escurrimientos provenientes de esta Sierra, permitiendo el riego en vastas áreas próximas al río, tanto del lado mexicano (220,000 hectáreas de los distritos de riego de Matamoros, Tamaulipas) como del lado norteamericano (en Texas).

Las grandes presas-reservorios (ver Cuadro 0.1) testifican la relativa abundancia del agua que desciende de la montaña. Se puede decir que el agua constituye actualmente el principal tesoro de la Sierra Madre Occidental.

Este estatus de montaña que provee de agua a sus flancos, se encuentra también en Sudamérica a las mismas latitudes. La famosa "diagonal árida" que va del litoral al interior del continente remontando en latitud, y que depende completamente de los Andes para su aprovisionamiento de agua, se encuentra también en el noroeste de México hacia el interior del oeste americano y de las depresiones áridas de las Rocayosas centrales. Ahí también las inmensas presas (Hoover y Glen Canyon, sobre el río Colorado, que almacenan cada una más de 30 km³ de agua) retienen agua con el propósito de regar y regular los gastos así como de proveer en agua a las grandes aglomeraciones de fuerte crecimiento de este cordón sur americano, que batan los récord mundiales de consumo de agua por habitante.

En otras partes del mundo, es sobre todo en solo una de las vertientes que las montañas aportan el agua necesaria para el riego; las aguas del alto Atlas marroquí, riegan el Haouz y el Tadra, del lado Atlántico, así como los oasis del pie-de-monte del Sahara con las importantes presas construidas sobre el Ziz y el Draa desde la independencia.

El Indus, los ríos de Asia central, los dos ríos que formaron Mesopotamia, y el río Huang Ho, fueron explotados antes que los ríos americanos o norteafricanos, para dar vida los desiertos y para permitir el riego en las zonas áridas o semiáridas que se dispersan por Asia central. Es de estas antiguas civilizaciones que Wittfogel (1957; 1974) forjó su concepto de "sociedad hidráulica", sociedad cuya duración estaría basada en el "despotismo oriental". Las grandes cunas de la agricultura de riego (Mesopotamia, bajo el valle del Indus, y más tarde el Huang Ho y Asia central) han sido el punto de partida de las grandes civilizaciones, ya que el control de las aguas suponía la puesta en marcha anticipada o simultánea de un Estado y de una policía para hacer respetar la gestión del agua, condición de una sobrevivencia de la sociedad "hidráulica". Más recientemente, Sandra Postel (1999) mostró en una apasionante historia del riego, que las sociedades hidráulicas pudieron ser puestas en dificultades por desestructuraciones del sistema social que aseguraba su sobrevivencia, aunque también en ciertos casos (Mesopotamia) por cambios climáticos que pudieron provocar salinización acelerada de los suelos, conduciendo a una

rápida caída de la producción agrícola y al desplome de la agricultura; lo que provocó el colapso de sociedades complejas, ciudades muy pobladas y antiguas civilizaciones del planeta. Esta autora señala a Egipto como el único caso donde se puede atestiguar la existencia de una agricultura de riego que tiene más de cuatro mil años, mientras que civilizaciones mesopotámicas y del bajo valle del Indus, más antiguas, fueron colapsadas por un desequilibrio de origen político y/o natural. En estos dos últimos casos, algunos siglos o milenios más tarde, se han visto resurgir sistemas de riego eficaces junto con ciudades y sociedades complejas que han dejado grandes herencias culturales.

Sandra Postel (1999) describe también las grandes "civilizaciones hidráulicas" americanas del valle de Tehuacán (actuales estados de Puebla y Oaxaca, en el sur de México), y del suroeste de los Estados Unidos (los sitios de Pueblos y Hupi). Dos mil años después de ellas, los españoles encontraron Tenochtitlán al llegar a la planicie del Anáhuac (Valle de México), siendo la más grande ciudad del mundo de entonces, poblada por más de un millón de habitantes. Ésta se encontraba controlada por un régimen muy dominante pero basado en el control de las aguas de las lagunas de Texcoco y de Tenochtitlán; ahí, el despotismo de los soberanos aztecas, que se apoyaba en sacrificios humanos cada vez más numerosos y desacreditados (¿Una manera de controlar el crecimiento demográfico en un espacio finito con recursos limitados?), no pudo ser soportado más por la gran mayoría de la sociedad, en el momento en que una "unidad nacional" habría sido indispensable para repeler al invasor (Gerber, 1992). Pero los españoles tenían una visión ambiciosa de la colonización; la situación actual donde parece perdurar una economía "minera" es una herencia quizá de lo que Brunhes (1910, retomado en 1947) nombraba "raptó económico".

El sur de México ha conservado sus "sociedades hidráulicas" a pesar de la desarticulación política y social impuesta por los conquistadores; el riego es practicado desde hace siglos y en algunos sitios desde hace tres milenios, en el Valle de Tehuacán, Anáhuac (estados de México e Hidalgo), en los estados de Michoacán y Guerrero.

El agua es ciertamente un determinante esencial para la aparición de numerosas sociedades, *a fortiori* en zonas caracterizadas por una marcada escasez de agua. Aunque en una gran parte de las montañas tropicales otro elemento es determinante, la fertilidad de los suelos. En efecto después de las "civilizaciones del agua" que florecieron en los valles del Tigris y del Eufrates, del Nilo o del Indus, ciertas zonas de montaña fueron sitios de ocupación importante que condujeron a verdaderas culturas nuevas, completamente adaptadas a la montaña; hubo ciertamente zonas tropicales (como las de la antigua cuenca mediterránea) y zonas costeras inhóspitas por el clima y el paludismo, que pudieron forzar a los habitantes a refugiarse en las montañas. Pero otro determinismo puesto en evidencia por Poulénard *et al.*, (2003), es el de la localización de los suelos ricos y fértiles constituidos sobre cenizas volcánicas; la mayor parte de esos suelos son andosoles y son ciertamente frágiles, muy sensibles a la erosión eólica y a la erosión hídrica. Su

dispersión en el mundo no ocupa más del 1 por ciento de la superficie de tierras emergidas, pero albergan 10 por ciento de la población mundial: Indonesia, Filipinas, las regiones más pobladas de África tropical (Rwanda, Burundi, una parte de Etiopía) y de América tropical (Andes peruanos, ecuatorianos y colombianos y toda la cadena volcánica centroamericana, del oeste de Panamá al suroeste de México). Tales suelos les permitieron transformarse en cunas de civilizaciones como en la isla de Java y en Bali, en Etiopía, al igual que el Imperio Inca y los Imperios Mexicanos (el Valle de Tehuacán y su cultura Mixteca, la zona montañosa del Imperio Maya, en la actual Chiapas y Guatemala). En la actualidad, estos suelos andosoles son objeto de estudios hidrológicos comenzados en el año 2002, en el sitio del valle alto del Cutzamala, México (ver Capítulo 13).

La Sierra Madre Occidental ha sido diferente a esas cunas de civilizaciones. Las etnias y sociedades indo-americanas son semi-nómadas y de implantación relativamente reciente (algunos siglos) en este medio donde ni la abundancia ni la escasez del agua han obligado al fuerte control del recurso; medio donde los suelos provienen de terrenos volcánicos más antiguos que no aportan los mismos beneficios de los suelos de cenizas recientes. Esas poblaciones marginadas y aisladas en las montañas (de sur a norte: Huicholes, Tepehuanos, Tarahumaras y Yaquis), no han sido jamás numerosas. Su ocupación del espacio ha sido bastante pobre y su marginación ha perdurado hasta nuestros días a pesar de la obra de construcción de los jesuitas interrumpida prematuramente. Se puede decir que el tipo de colonización de la Sierra Madre Occidental, a partir de fines del siglo XIX, se hizo como "frontera" a conquistar, como la frontera de los Estados Unidos. En este caso se trata, tanto en la montaña como en el desierto Chihuahuense, de un contexto de "país nuevo".

En tal contexto, es casi natural observar una vigorosa política de colonización de nuevas tierras, en un país de fuerte crecimiento demográfico donde la reciente revolución había puesto en evidencia el "hambre de tierra" por parte del campesinado numeroso y pobre. Esta política se acompañó de una Reforma Agraria en los años 1936 a 1940; la construcción de grandes presas destinadas a regar los nuevos distritos permitió la instalación de pequeños campesinos agrupados en "ejidos".

Queda por definir la montaña "Sierra Madre" en relación a su percepción en el contexto del norte de México; muy diferente de las montañas de Europa que pudieron parecer "repulsivas" según las épocas. Así, Vernex (2001) señala: *-por ejemplo, la montaña era percibida de manera horrible en la edad media. Se comparaban frecuentemente las plácidas planicies con las montañas horribles y peligrosas desde el siglo XVIII y hasta el siglo XIX. En cuanto a los habitantes de estas regiones, a menudo se les percibía como bárbaros, ladrones, cretinos o afligidos de enfermedades endémicas vinculadas a este medio hostil, por ejemplo el bocio que De Saussure atribuía "al calor y al estancamiento del aire" en el fondo de ciertos valles. Para algunos incluso existía "una graduación de la barbarie con la altitud"-.*

Actualmente es claro que en Europa, en América del Norte o en Asia Central, las montañas son zonas de entretenimiento y descanso, donde el aire es puro y las sociedades desarrolladas encuentran su recreación predilecta. Desde la mitad del siglo XIX *-el medio de montaña fue más frecuentado y percibido como un rico potencial natural para la industria donde se desarrollaron nuevas sensibilidades del hombre con la naturaleza. Imagen más positiva que hizo pasar como un héroe al promotor. La montaña se convierte entonces en paisaje turístico, se integra al territorio, se convierte en el lugar de nuevas experiencias. La imagen de una montaña higiénica y revitalizadora hará progresivamente pasar del estereotipo del "mal del bocio" al del "niño de bellas mejillas rosadas"; finalmente, la montaña es un reservorio de agua en la medida en que la temperatura disminuye con la altitud, el punto de saturación disminuye-* (Vernex, 2001).

Aquí se adhiere la percepción de la Sierra Madre Occidental en el norte de México, que pasó sin transición de un espacio no visto como repulsivo sino por la ausencia de colonización, a una zona relativamente atractiva por la calidad de sus pastizales, aunque muy alejada de las ciudades para transformarse en una zona de diversión. Sin embargo, esta montaña es considerada como poco segura por los mexicanos de las áreas urbanas. Es verdad que en ella subsisten zonas de acceso difícil y que es considerada como una de las grandes zonas de producción de marihuana.

Pero sobre todo, es percibida como la zona donde el agua y el bosque son inagotables. Es verdad que el bosque es muy extenso, pero tan solo se han requerido 30 años de explotación para reducirlo a la mitad. Todos los recursos renovables están actualmente explotados en la vasta Sierra y en numerosos casos, como en el distrito de riego 017 de La Laguna en la cuenca baja del río Nazas, el manto acuífero está sobre explotado ya que desde hace más de 50 años se bombean volúmenes de 3 a 5 veces superiores a la recarga natural según los años, provocando un abatimiento del manto de 1.75 metros por año en promedio desde 1950.

Esta primera parte: "Medio natural y población dentro de la Sierra Madre Occidental" aborda las relaciones entre el hombre y su medio, reposa sobre un tema eminentemente geográfico, porque el paisaje es el resultado del modelado de un medio natural por el hombre.

Los recursos hidráulicos en el centro norte de México: perspectiva histórica, objeto del Capítulo 1, es evidentemente la base de la situación actual, y nos permite, junto con la inserción sobre **Propiedad privada y pública**, comprender mejor el contexto que puede conducir a la explotación de los recursos de la Sierra Madre. La presión demográfica dista mucho de plantear un problema como en la mayoría de los países del Sur, ya que al contrario el abandono que se observa es importante, lo cual es objeto de estudio en el Capítulo 2, **¿Una montaña en vías del abandono?**, donde se introduce el aspecto humano al percibir que la montaña se deshabita muy rápidamente; el **Contexto demográfico** de esta región se compara con la de otros dos espacios agropastorales en una inserción específica. Aunque poco colonizada hasta el final del siglo XIX, esta Sierra no implica menos rastros de ocupación antigua, tema del Capítulo 3, último de esta primera parte, **"Un vistazo al pasado prehispánico de la Sierra Madre Occidental de Durango, México: el proyecto Hervideros"**. Finalmente, se termina con una pequeña inserción destinada a esclarecer el concepto de **indianidad**, no siempre muy preciso en México como en el resto de América.

Bibliografía citada

- Brunhes, J. 1947. *La géographie humaine*. Edition abrégée. Presse Universitaire de France, Paris, 353 p.
- Gerber, A. 1992. *Le jade et l'obsidienne*. Robert Laffont Ed. Paris. 391 p.
- Postel, S. 1999. *Pillar of Sand*. Norton Worldwatch Books, New York, 352 p.
- Poulenard, J., L. Descroix et P. Podwojewski. 2003. *Erosion des sols en montagne et activités humaines : conquête, surexploitation et déprise agricole (Andes septentrionales, Sierra Madre Occidentale, Préalpes du Sud)*. Séminaire CARTEL de la Station d'Hydrobiologie Lacustre (SHL) de, Thonon les Bains.
- Vernex, J. 2001. *Introduction à la géographie; cours de l'Université de Genève, Sciences Politiques et Relations Internationales*.
- Wittfogel, K.A. 1957. *Oriental despotism A Comparative Study of Total Power*, Vintage Books/Random House, New York, 1981 (reprint de la première édition de 1957).
- Wittfogel, K. 1974. *Le despotisme oriental, étude comparative du pouvoir total*. Paris, éditions de Minuit.

Capítulo 1

Los recursos hidráulicos en el centro norte de México: perspectiva histórica

David Viramontes Pereida

El norte centro de México es un territorio extenso donde sus habitantes debieron adaptarse a un contexto medioambiental frecuentemente difícil. El curso histórico presentado a continuación muestra cómo las sociedades se han disputado el suministro de los recursos naturales a tal punto que en la actualidad existe una condición crítica de sobreexplotación y posible agotamiento de los recursos hídricos.

Una población escasa y un espacio extenso en un contexto medioambiental a menudo difícil

Existen pocos conocimientos sobre los primeros habitantes del norte centro de México. La población indígena mesoamericana que habitó en estas regiones antes de la llegada de los españoles, estaba constituida de varios grupos diferentes a los Chichimecas, cuyo significado es el de “hombres perros” conocidos por su hostilidad y ferocidad. Según los escritos de los españoles de los siglos XVI y XVII, se trataba de varias tribus poco numerosas, salvajes, dispersas y nómadas.

Dado el contexto de aridez en casi todo el territorio, estas tribus nómadas seguían caminos específicos de acuerdo a la disponibilidad de los recursos naturales como a lo largo de los ríos donde pescaban, cazaban y recolectaban sus alimentos (Hernández, 1975; Barbot y Punzo, 1997). Así, la extensa superficie del territorio proporcionaba sustento a estas poblaciones sin un riesgo aparente de colapso ecológico.

Las ruinas de la ciudad de Paquimé, en Casas Grandes Chihuahua, son la excepción de una forma de civilización urbana en el centro norte de México. Sin embargo, esta civilización desapareció después de un gran incendio en 1340, mucho antes de la llegada de los españoles.

La colonización: las luchas indígenas y el establecimiento de la propiedad privada y de los grandes latifundios

Los tres siglos de soberanía española fueron caracterizados por la explotación indígena y la concentración de tierras y recursos naturales por los colonos.

Como consecuencia de la conquista española, los habitantes del territorio mexicano tuvieron que sufrir grandes cambios en su manera de vivir. Con el fin de poblar este extenso territorio, la corona española donaba tierras a sus soldados y aventureros nobles. Los sistemas de apropiación del espacio, llamados la "encomienda" y el "repartimiento", permitían a los colonos tomar tierras, recursos naturales e indígenas para su servicio. A cambio, se veían obligados a enseñar la doctrina cristiana, estableciéndose así el sistema de esclavitud de los indígenas por los colonos.

La ausencia de un sistema económico nacional integrador causó, durante la colonia, el desarrollo de las "haciendas" o "latifundios" en forma de unidades de producción periféricas a las economías regionales y con una relación de dependencia política con el poder central de España. Como resultado de esta apropiación del territorio, a fines del siglo XVII, más de la mitad de las tierras de cultivo y pastizales de México eran propiedad de los españoles. Simultáneamente al establecimiento de estas grandes propiedades, subsistieron zonas habitadas exclusivamente por poblaciones indígenas con distintas formas de desarrollo colectivo.

Durante el siglo XVII, el descubrimiento de los recursos mineros en las regiones alejadas llamó la atención de los colonos. Sin embargo, el norte de México con una escasa población indígena dispersa y "salvaje" no podía ser sometido por los conquistadores. Desde el principio de la colonia, los ataques de los indios "bárbaros" limitaron la expansión demográfica y el incremento de las zonas de ganadería (Harris, 1975; Barral, 1988; Barral

y Hernández, 1992). No es de asombrarse saber que es aquí, y no en las zonas de grandes civilizaciones indígenas, que se desarrollaron durante siglos las mayores batallas para la colonización (Hers, 1993).

Como consecuencia, casi todas las sociedades indígenas originarias de esta región desaparecieron durante los primeros siglos de la colonia española. Según Hernández (1975), las distintas tribus nómadas que vivían en La Laguna fueron aniquiladas durante el período colonial debido a las masacres organizadas por los colonos, a las enfermedades y a la miseria. No existen rasgos raciales de estas tribus en la población de esta zona. Los rastros indígenas en la población actual son consecuencia de posteriores migraciones.

Del siglo XVII a principios del XX, las luchas por la posesión de las aguas de los ríos entre los colonos y los indígenas se describen en algunos documentos. En 1842, los colonos de Matamoros sufrieron el ataque de los Apaches y los Comanches que venían de los Estados Unidos de América donde eran perseguidos. En 1850, durante la construcción de las primeras presas del río Nazas, Hernández (1975) describe la edificación de una torre de vigilancia contra los ataques de los indios. Esta torre es en realidad el origen del Rancho de Torreón, actualmente ciudad de Torreón en el estado de Coahuila.

Así, a diferencia del sur y del centro de México donde las grandes civilizaciones (Olmeca, Maya, Azteca) se encuentran bien identificadas, la historia del norte del país se asemeja más a la del oeste americano. La utilización del espacio por el hombre en actividades diferentes a las de los grupos de cazadores-recolectores, sólo tiene algunos centenares de años. En efecto, las actuales actividades humanas comenzaron durante el período colonial, asociadas en general a las actividades mineras.

La independencia y las guerras contra la invasión extranjera

Después del período colonial, México sufrió varias guerras para alcanzar y mantener su autonomía: la guerra por la independencia de la corona española (1810 - 1821), la guerra contra los Estados Unidos (1845 - 1848), la intervención francesa (1862 - 1867), además de guerras civiles entre los distintos grupos políticos y las rebeliones indígenas. El resultado de este período fue la pérdida de la mitad del territorio (tomada por los Estados Unidos), el endeudamiento y la crisis económica. Según Coatsworth (1976) citado por Kroeber (1994), México tenía dos problemas básicos: una red escasa y poco operativa de transporte, y una deficiente organización económica. Debido a estos problemas y a la escasa población en el norte de México, los recursos naturales se vieron poco afectados.

Sin embargo, entre los siglos XVII y XIX algunas presas de mampostería fueron construidas en los estados del centro del país (Pabellón, Saucillo, San Blas, El Aguacate y Loza de Padres, entre otras). Todas ellas fueron destinadas al riego agrícola.

El régimen de Porfirio Díaz. La reactivación económica del país y el beneficio de grandes latifundios

Bajo el gobierno de Porfirio Díaz (a fines del siglo XIX y principios del XX), la construcción de las vías férreas, la apertura de puertos, la nueva política de integración económica y el estímulo a las exportaciones crearon las condiciones para el desarrollo de un nuevo y dinámico mercado, orientado tanto al consumo interno como a la exportación.

La política hidráulica del Presidente Díaz favoreció la irrigación, dando preferencia a los grandes inversionistas de capital. Por el contrario, los pequeños productores agrícolas y las comunidades campesinas no fueron tomados en cuenta en este sistema de desarrollo (Kroeber, 1994). Las haciendas así como las empresas mineras, petroleras y forestales aprovecharon las facilidades del Gobierno para incrementar su producción y ganancias económicas. Sin embargo, los resultados sociales de esta política fueron la miseria, las enfermedades y la esclavitud de los campesinos en la producción de las haciendas.

Durante este período se observa por primera vez que ciertas zonas presentan problemas de sobreexplotación de recursos naturales. Según Ezcurra y Montaña (1988) y Simon (1998), la carga animal sobre las praderas próximas a las zonas habitadas en el centro de México se convirtió en un problema generalizado. Sin embargo, en el norte, la ganadería extensiva no existía más allá de las poblaciones debido al temor que ejercían los indígenas "salvajes".

Revolución mexicana y el período post revolucionario

La Revolución mexicana a principios del siglo XX provocó, de hecho, una sensible disminución de las cargas animales y la recuperación relativa de los pastizales dañados. La reocupación posterior de estas zonas, realizada con sistemas de explotación poco tecnificados y con criterios de "extracción minera", desembocó en la situación actual de degradación de los recursos y de baja productividad.

Durante el Gobierno de Lázaro Cárdenas (1934-1940), la explotación colectiva agraria encontró su institucionalización y su reconocimiento legal bajo la forma de "comunidades"

y "ejidos". Estos últimos se crearon tras las expropiaciones de las grandes haciendas. La política oficial del Presidente Cárdenas fue orientar el desarrollo preferentemente hacia las zonas agrícolas del país. Así, se inició la construcción de la presa Lázaro Cárdenas (del mismo nombre que el Presidente), y que se terminaría bajo el mandato de Miguel Alemán en 1946, dando origen al perímetro de riego de La Laguna. La falta de créditos y la necesidad de concentrar los esfuerzos sobre las zonas más pobladas y de producción más intensiva, provocaron que las zonas alejadas sin riego del norte de México se siguieran considerando relativamente menos prioritarias. En la actualidad, existen en esta parte de México zonas de riego altamente tecnificadas (La Laguna forma parte de ellas) y zonas mucho más extensas y sin riego que guardan los mismos sistemas tradicionales de producción (principalmente la ganadería extensiva y los cultivos de temporal donde el clima lo permite).

De esta forma, en la Sierra Madre Occidental y particularmente la cuenca alta del río Nazas, se crearon los ejidos entre 1948 y 1970. La nueva forma de producción comunitaria alentó a la población a incrementar la producción con miras a utilizar las especies de ganado más comerciales e incrementar la cantidad del mismo. Cada uno de los ejidatarios constituyó su hato que le garantizaba un determinado nivel de vida y a su vez, le proporcionaba un cierto estatus social dentro de la comunidad. De esta forma, la cría de cabras y ovejas, menos interesante desde el punto de vista comercial, disminuyó drásticamente, incrementándose por mucho la cantidad de ganado bovino.

Por otra parte, durante el siglo XX la construcción de grandes presas para el riego agrícola fue la forma de adaptación a las necesidades de alimento de la población mexicana. En 1926 se crea la Comisión Nacional de Riego la cual, durante los 20 años de existencia, construyó 136 presas con una capacidad global de almacenamiento de 11,160 millones de metros cúbicos de agua (11.16 km³ de agua). Esto permitió la apertura de grandes zonas de irrigación con un potencial de riego calculado en un millón de hectáreas. Por otra parte, la Comisión Federal de Electricidad, fundada en 1937, construyó más de treinta grandes presas que añadieron una capacidad de almacenamiento de 50,000 millones de metros cúbicos (50 km³). Hoy en día, las construcciones de nuevas presas continúan. Actualmente, México tiene un potencial de riego de siete millones de hectáreas aproximadamente (Oliva, 1999; Vega Argüelles, 1999).

La época actual. Una población en plena expansión pero los habitantes del campo disminuyen

Actualmente México hace frente a una dificultad demográfica. La población mexicana registró un fuerte crecimiento: de 26 millones de habitantes en 1940, pasó a 67 millones en 1975 y más de 100 millones en la actualidad. Aún hoy en día, existe una alta tasa de

crecimiento demográfico que alcanza el 2 por ciento anual.

A estos problemas solamente cuantitativos se agregan los problemas de crecimiento desproporcionado de las principales ciudades del país. Mientras que el campo se desertifica, las necesidades de alimento de las poblaciones urbanas se incrementan sustancialmente. La ciudad de México, capital del país, con veinte millones de habitantes es una de las ciudades más pobladas del mundo. En el centro septentrional del país la zona urbana de La Laguna pasó de 578,176 habitantes en 1960 a 1'097,052 habitantes en 1990 (Santibañez, 1992). Es fácil pues suponer los problemas que tal aumento puede provocar.

No obstante, si las ciudades crecen sin o con muy poco control, la población en el campo disminuye. En el caso de la Sierra Madre Occidental, la población se incrementó hasta los años 1970 - 1980, posteriormente comenzó a disminuir, a pesar de una elevada tasa de natalidad. Esto se debe a que una alta proporción de jóvenes decidió emigrar de sus comunidades para dirigirse, en su mayoría, a los Estados Unidos. Muchos de ellos ya no retornan a sus comunidades, y si lo hacen, sólo regresan para el período vacacional. Por lo tanto, la población de la zona disminuye sensiblemente. En el Cuadro 1.1 se observa la disminución de la población en cuatro municipios serranos dentro del estado de Durango. Esta disminución es muy drástica si se toman en cuenta las altas tasas de natalidad que se presentan en el medio rural. Al considerar cuatro ejidos de la misma zona, los cuales fueron sujetos de estudio dentro del proyecto de colaboración INIFAP-IRD, aunque no se tienen estadísticas precisas el conocimiento adquirido *in situ* indicó una disminución de más del 100 por ciento en el número de profesores de las escuelas primarias. Esto debido a la falta de alumnos entre 1985 y 1998 dentro de los cuatro ejidos. Además de esto, en el caso de los hogares de estas comunidades, más de la mitad de ellos se encontraban vacíos en el año 2000 (Inard Lombard, 2000).

Cuadro 1.1. Evolución de la población de cuatro municipios de la cuenca alta del río Nazas.

Municipio	1980	1990	1995	2000
El Oro	18,461	14,815	13,516	12,247
Guanacevi	12,821	11,925	11,447	10,794
San Bernardo	7,563	5,629	4,883	4,147
Tepehuanes	14,740	14,942	13,588	12,937
Total	53,585	47,311	43,434	40,125

Fuente: INEGI, 1990; INEGI, 1998; INEGI, 2000

Sin embargo, la migración de la gente no detiene la producción. El Cuadro 1.2 muestra la evolución del número de cabezas de ganado en el estado de Durango y los municipios de la zona de estudio. Entre 1970, 1980 y 2000, se incrementó el número de cabezas de ganado en el estado de Durango. Los municipios de la Sierra, Guanaceví, Tepehuanes y San Bernardo incrementaron significativamente el número de cabezas de ganado, por el contrario, los municipios de El Oro y Santiago Papasquiario disminuyeron la carga de ganado.

Cuadro 1.2. Número de cabezas de ganado en el estado de Durango y los municipios de la cuenca alta del río Nazas.

	1970	1990	2000
Estado de Durango	1'037,857	1'102,045	1'429,905
Guanacevi	39,035	29,663	58,400
Tepehuanes	23,818	28,247	37,050
Santiago Papasquiario	64,699	69,971	61,751
San Bernardo	28,002	25,710	41,984
El Oro	82,250	51,082	61,345

Fuente: INEGI, 1970; INEGI, 1990; INEGI, 2001

La política actual del Gobierno justificada por el deseo de incrementar la producción y de promover el sistema capitalista, incita a los campesinos a emigrar hacia las ciudades mexicanas o, en la mayoría de los casos, hacia los Estados Unidos. Sin embargo, los habitantes que permanecen en las comunidades reciben ayuda económica de los que emigraron, con la finalidad de resguardar los hatos que son, por así decirlos, subsidiados por las familias que habitan en Texas, Nevada, California o Illinois (principales destinos de los emigrantes de esta zona en los Estados Unidos).

Política agrícola actual

A principios de los años 1980, el Gobierno mexicano emprendió un programa de reformas estructurales muy profundas de su economía. Menor participación del Estado, apertura comercial (Tratado de Libre Comercio) y la regulación de competencias fueron las

principales políticas impulsadas con un importante impacto en el sector agrícola y el medio rural.

Esquemáticamente, el proyecto de modernización de la agricultura promovió la eficacia del sector capitalista. Los textos reglamentarios de referencia son: la Reforma Agraria de 1992, la ley de Aguas Nacionales de 1992 y las leyes de aguas y ecología de los distintos estados federativos así como las normas de los municipios. La Reforma Agraria permitió la formación de empresas agrícolas que compraron las tierras de los ejidos. El acceso a la propiedad, según los economistas, fomenta las iniciativas constructivas y la producción.

Sin embargo, estos últimos cambios sociopolíticos a nivel nacional no modificaron la forma de explotación “minera” que utiliza el espacio hasta el agotamiento de los recursos. La política agrícola actual fomenta la producción, aunque muestra poco interés por la explotación sustentable de los recursos.

En la Sierra Madre Occidental actualmente el paisaje se conforma de cercos que delimitan parcelas individuales. Los ejidatarios no piensan ya como una comunidad, se utilizan las áreas de pastizal y de bosques en función a la ley del más fuerte (entre más ganado se tiene más espacio se utiliza). Si se considera que se trata de una forma de explotación extensiva, el fraccionamiento de tierras y la demanda por parte del ganado plantean nuevos problemas y una presión aún mayor sobre los recursos naturales e hídricos.

El Gobierno del Presidente Fox lanzó una iniciativa llamada “Cruzada Nacional por los Bosques y el Agua”. El objetivo de esta cruzada consiste en llegar a una forma de explotación duradera que permita apoyar la producción forestal y el uso de los recursos hídricos en su conjunto. En esta lógica se formó la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) la cual, junto con la Comisión Nacional del Agua (CNA), podrían tomar en sus manos y solucionar los graves problemas de sobreexplotación de los recursos del país. Sin embargo, la lógica económica productivista sigue siendo la misma. Se consideran poco los aspectos sociales y menos aún las consecuencias sobre el medio ambiente en su conjunto.

En las condiciones del sistema económico actual, la sobreexplotación de los recursos naturales es una característica “normal” de supervivencia de la población y las empresas. Queda por saber si la tecnología y el nuevo orden que se instala podrán hacer frente al continuo incremento de las necesidades de recursos naturales. En este contexto, la prospección futura de los recursos hídricos en el centro norte de México resulta crítica.

Bibliografía citada

- Barbot, Ch. y J. L. Punzo. 1997. Antiguos caminos en el noroeste duranguense. Supervivencia de una tradición prehispánica. TRACE No. 31. p. 22 - 34.
- Barral, H. 1988. El hombre y su impacto en los ecosistemas a través del ganado. En Montaña Carlos (Ed.) Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua en la Reserva de la Biósfera de Mapimí. Ambiente natural y humano. México, D.F. Instituto de Ecología de México - M.A.B. p. 241 - 261.
- Barral, H. y L. Hernández. 1992. Reseña del poblamiento y de la ganadería en el Bolsón de Mapimí. In Delhoume et Maury (Ed.) Actas del Seminario Mapimí. Instituto de Ecología A.C. - ORSTOM - CEMCA. México, D.F. p. 257 - 269.
- Ezcurra, E. y C. Montaña. 1988. La evolución del uso de los recursos renovables en el norte árido de México. En Montaña Carlos (Ed.) Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua en la Reserva de la Biósfera de Mapimí. Ambiente natural y humano. México, D.F. Instituto de Ecología de México - M.A.B. p. 269-277.
- Harris III, C.H. 1975. A mexican family empire. The latifundio of Sanchez Navarro, 1765-1867. University of Texas, Press. Texas.
- Hernández, A. P. 1975. ¿La explotación colectiva en la Comarca Lagunera es un fracaso? B. Costa-Amic Editor. 353 p.
- Hers, M.A. 1993. Investigaciones arqueológicas en Hervideros, Durango: primeros avances. Transición No. 13. p. 4 - 12.
- Inard Lombard, B. 2000. Les causes et conséquences de l'émigration de la population de quatre communautés rurales de la Sierra Madre Occidentale (Nord Mexique). Mémoire de maîtrise de géographie, Université Joseph Fourier, Grenoble, 118 p
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 1970. VII Censo General de población y vivienda. México, D.F.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 1990. XI Censo General de población y vivienda. México, D.F.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 1998. Anuario estadístico del Estado de Durango. INEGI - Gobierno del Estado de Durango. Aguascalientes, México.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 2000. XII Censo General de población y vivienda. México, D.F.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 2001. Anuario estadístico del Estado de Durango. INEGI - Gobierno del Estado de Durango. Aguascalientes, México.
- Kroeber Clifton, B. 1994. El hombre la tierra y el agua. Las políticas en torno a la irrigación en la agricultura de México, 1885 - 1911. IMTA - CIESAS. 274 p.
- Oliva, C. 1999. Estado actual de las presas. Breve reseña histórica. En: El desarrollo de las presas en México - Avances en Hidráulica 5. pp. 33 - 37.

- Simon, J. 1998. México en riesgo. Primera edición. Ed. DIANA. México, D.F. 302 p.
- Santibañez. 1992. Ensayo monográfico de La Laguna. Monografía publicada a cuenta del autor. Torreón, Coah. México, 240 p.
- Vega Argüelles, O. 1999. El desarrollo de las presas en México. En: El desarrollo de las presas en México - Avances en Hidráulica 5. p. 167 - 178.

Un contexto demográfico y económico de transición

Demografía de la Sierra Madre comparada con otras dos regiones agro-pastorales

Luc Descroix

El medio influido por la actividad humana en el cual se interesa esta inserción, se encuentra actualmente en una situación única de transición demográfica y socioeconómica. La emigración deshabitó los pueblos y más aún los despojó de su fuerza de trabajo, sin embargo la sobreexplotación del espacio persiste, e incluso se agrava como consecuencia de la presión del pastoreo. ¿Será representativa, este tipo de sobreexplotación del pastizal, de la región o del período? Es interesante ver lo que pasa, o pasó, en otras zonas en un pasado más o menos reciente. En algunas regiones, la sobreexplotación del espacio forma parte del pasado y los paisajes muestran señales evidentes de degradación provocadas por el abandono; en otros casos, se observan actualmente solo los primeros signos de sobrecarga animal. El acceso al agua y a los pastizales es definitivamente un problema permanente en estas regiones.

A continuación se sitúa esta región en un contexto global (la globalización aceleró las migraciones y las mutaciones de los espacios debido a causas externas), haciendo la comparación con dos regiones de economía agro-pastoral, en otros dos continentes:

- una región donde terminó, desde hace tiempo, la "transición demográfica" y donde el abandono rural es actualmente el origen de la mayoría de los problemas de gestión: la región francesa de los Prealpes del sur (*Préalpes du Sud*).
- una región donde la natalidad y el crecimiento demográfico son aún muy elevados y donde el espacio se encuentra ocupado al 100% desde hace algunas décadas, resultando delicado un incremento en la demanda de los recursos: el *Boundou*, región agro-pastoral del Senegal Oriental (Descroix, 2002).

Sobreexplotación o mala gestión del espacio: de la crisis de propiedad de la tierra al abandono

En los Prealpes del sur

A partir del siglo XVI, se pueden encontrar las evidencias en los archivos de las parroquias rurales de los Alpes del Sur, en los registros de denuncias o solicitudes de los responsables y de los habitantes, señalando la responsabilidad de los hatos en la exacerbación de la erosión y torrenciales.

En el siglo XIX, los ingenieros de la escuela de Ingeniería Rural, de Aguas y Bosques (*Génie Rural et des Eaux et Forêts*) señalaron al ganado ovino y caprino como el "destructor de los bosques" y consideró la reforestación como el remedio ideal para afrontar la intensidad de las devastaciones ocasionadas por los escurrimientos: poco a poco se fueron prohibiendo grandes extensiones territoriales a los hatos ganaderos, aprovechando la mano de obra disponible de los campesinos para efectuar la reforestación en las partes más deterioradas de las vertientes. Sin embargo, la formidable progresión de los bosques se debe en un 80-90%, al crecimiento espontáneo de las malezas, posteriormente los arbustos y finalmente los árboles (pinos esencialmente) en las áreas de cultivo abandonados por el ganado.

El debate suscitado en el siglo XIX sobre el papel del ganado en la degradación de las tierras de montaña, continuó a lo largo del siglo XX, alentado por geógra-

fos, silvicultores, administradores, historiadores; unos defendiendo los hatos, otros pidiendo su desaparición. No obstante, queda claro que hubo sobreexplotación del territorio: pastoreo excesivo, práctica de roza y quema del bosque y numerosos aclareos, todo ello bajo el efecto de la presión demográfica y la necesidad de tierras. Es cierto que en este caso se trata, algunas veces, de establecer nuevos pastizales.

Las cárcavas en las "tierras negras" se encuentran muy extendidas y son los signos omnipresentes de sobreexplotación del espacio de este período. Esas cárcavas siguen siendo funcionales (las margas negras de las *bad-lands* de los Alpes del Sur presentan una ablación de 5 a 10 mm/año). Sin embargo, lo que es más preocupante en la actualidad es el abandono de los terrenos, terrazas, canales, caminos y setos, que provoca problemas de estabilidad en las vertientes vinculados a la solifluxión, además de la degradación de un paisaje que ha sido reconstruido. La falta de mantenimiento de los canales y drenes de desagüe y el incremento de los coeficientes de infiltración debido a las abundantes malezas, son actualmente el principal problema planteado a los administradores de los Prealpes del sur, despoblados y desertificados (incluso en el valle de *Barcelonnette* donde se observa la reinstalación de algunos pobladores emigrantes, a veces enriquecidos, en particular "mexicanos"). Sin embargo, se continúa practicando la ganadería ovina tradicional en esta región mediante la trashumancia de manadas según la altitud, hacia los Alpes en verano y, en los sectores más elevados, hacia las planicies. La carga animal (definida como el número de unidades animal (UA) pastoreando una superficie conocida a través del año), aunque localmente se ha incrementado en estos últimos años, es menor que en el siglo pasado y aún más si se compara con el del Antiguo Régimen, cuando las comunidades rurales rentaban sus tierras a los ganaderos de *Provence* para obtener más ingresos. La ganadería se efectúa sobre todo en los terrenos abandonados por la agricultura y no en terrenos con mayor pendiente que distinguen la región. La carga animal pasó de 1-2 ha a 2-4 ha/UA/año en un siglo. De ahí la creación de «contratos territoriales» con los ganaderos, con la finalidad de que éstos mantengan el espacio abierto (Allaire *et al.*, 1996).

En la cuenca alta del Nazas

En estos terrenos mucho más resistentes (riolitas en particular), la misma sobreexplotación de los pastizales en la Sierra Madre Occidental no ha implicado las mismas consecuencias. De hecho aparecen recientemente: si las grandes haciendas practicaron en general la ganadería bovina (y a menudo también la ganadería ovina), todo indica de acuerdo a los testimonios recogidos entre los habitantes, que

es a partir de la instauración de los ejidos que comenzó a presentarse, poco a poco (sin que se pueda determinar la causa entre una mala gestión de los pastos y una verdadera sobrecarga animal), una disminución de las reservas forrajeras y, cada vez con mayor frecuencia la erosión de los suelos. Esta erosión se aprecia sobre todo al comienzo de la temporada seca en grandes amplitudes a menudo desnudas cada vez más cercas de los poblados, mientras que a una distancia de 2 ó 3 kilómetros de éstos, los pastizales con potencial siguen siendo desaprovechados. Las cárcavas no son muy frecuentes en el paisaje y su presencia parece deberse a las concentraciones de los escurrimientos (conductos, tubos de desagüe) relacionados con la construcción de las carreteras o bien, a la cultura del pastoreo excesivo.

Como el caso de los Alpes (sobre todo fuera de los Préalpes), el pisoteo del ganado se traduce en la formación de pequeñas terrazas paralelas, llamadas comúnmente terracitas (Derruau, 1974, describe de manera muy clara el concepto de este término), sobre las vertientes con pendientes de más de 20° alcanzando en ocasiones hasta los 45° (como en la Posta de Jihuites). Se les encuentra incluso en sectores que actualmente no parecen sobrepastoreados, dando prueba quizá las pasadas sobrecargas de los pastizales.

Se observa también a los costados de las carreteras (entre el borde del revestimiento y los cercos de los potreros), un mejor desarrollo de los pastizales debido principalmente a la ausencia de ganado en estas áreas además de una mayor disponibilidad de humedad producto de los escurrimientos provenientes del revestimiento carretero hacia sus costados.

Por otra parte, a menudo en los límites de los ejidos, o incluso dentro de los propios ejidos en los límites de sus potreros (superficie cercada que corresponde a una porción del agostadero), se aprecia claramente la diferencia de producción de los pastizales, de un lado mostrando un suelo casi desnudo a causa del pastoreo excesivo, y del otro un pastizal abundante y bien desarrollado.

Actualmente, el sobrepastoreo parece continuar, el número de cabezas de ganado se mantiene sin que exista una ampliación en la superficie de los agostaderos o una modificación en la gestión del ganado. Hay que señalar que algunos ejidos (como el ejido Pilitas) son suficientemente extensos lo cual permite a los ganaderos pasar los meses de la temporada de lluvias en un "rancho" localizado en una parte alejada del ejido, dejando descansar los pastizales próximos al pueblo, según el mismo principio que los pastos de montaña en los Alpes, aunque sin diferencia en altitud. De esta manera son aprovechados los pastizales más distantes del pueblo, aunque el recorrido lleva más de un día de marcha. La carga animal teórica es en promedio de 5 ha/UA/año, pero la falta de abrevaderos al interior de los agostaderos obliga frecuentemente a concentrar grandes cantidades de ganado

en los alrededores de los poblados y corrientes naturales de agua.

Además, el bosque, sin retroceder (los aclareos y la roza y quema están prohibidos en México), pierde una gran parte de su valor económico y en inmensos sectores el bosque de pinos, orgullo del estado de Durango, es de 5 a 10 veces menos denso que en su estado natural. En cambio, en los sectores sobrepastoreados (savana con encinos), se presenta un claro incremento en el número de árboles que pudieron multiplicarse de 2 a 4 veces de 1974 a 1994: aunque este incremento solo involucra a los pinos jóvenes y no a los encinos que representan la formación climax; esta reconquista muy rápida por los pinos sería en realidad una señal de degradación del ecosistema, los pinos jóvenes, sin valor para el ganado al no tener competencia de la vegetación herbácea disminuida, pueden desarrollarse mientras que los encinos son ramoneados muy rápidamente.

Una serie de años secos y muy secos (1994, 1995, 1997, 1998, 1999, 2000 y 2001) y la Reforma Agraria de 1992 (que restablece la propiedad privada en todas las zonas rurales), aceleró el proceso migratorio (véase Capítulo siguiente).

La sobreexplotación parece establecida desde hace décadas, y el estado de los suelos (ver tercera parte) deja poca duda de ello; existen otras regiones donde los rastros de sobreexplotación de los pastizales son recientes (en ocasiones debido a la sequía), pero que podrían también conducir a graves modificaciones del medio. Es precisamente en otro sistema agropastoral tropical en, el Sahel, donde el crecimiento demográfico, superior al 3 por ciento anual en zonas rurales, exacerba los conflictos por el espacio y los recursos.

En el Boundou

En este caso se toma el ejemplo del antiguo reino del Senegal Oriental, situado en los límites del valle del *Falémé*, afluente izquierdo del río Senegal y que marca la frontera con Malí. Su economía pastoral se enfrenta cada día más a la disminución de las superficies de pastizal, en favor de los cultivos.

Por estar instalados en planicies extremadamente planas, los pueblos del Boundou considerados en este caso (Goudiry Foulbé, Sinthiou Boubou, Sinthiou Alassane, Doulouyabé, Dakaba con una población entre 50 y 350 habitantes), también tienen problemas en relación a la degradación de los suelos, en parte vinculados a la gestión del ganado. La carga animal de bovino es de 5-6 ha/UA/año; durante el invierno (temporada de lluvias de julio a octubre), el ganado se encuentra

en los poblados; de finales de octubre a febrero (temporada seca fresca), los hatos realizan una pequeña trashumancia de 5 a 30 km hacia el sureste (en dirección del valle del Falémé). De marzo a junio (temporada seca caliente), un 30% de la manada realiza una gran trashumancia de 50 a 130 km hacia el sureste, permaneciendo el resto de los animales en los poblados. Los abrevaderos son muy escasos, y por lo tanto, la concentración del ganado es mayor en sus alrededores: las fotografías aéreas de la región del Sudan y Sahel muestran la convergencia de los senderos del ganado hacia los abrevaderos, y las huellas de suelo desnudo, a veces de varios km², que las rodean como consecuencia de la sobrecarga animal. Los hechos más importantes entre 1953 y 1982 son los siguientes:

- la progresión (casi proporcional al crecimiento demográfico) de 50 al 100 por ciento de la superficie de las tierras campesinas: terrenos de caza y sobre todo de sus poblados;
- la estabilización, o incluso la regresión de la superficie de la vegetación de arbustos (abiertos por aclareo cada 2-3 años y abandonados posteriormente durante varias décadas para su recuperación, -llamada esta práctica localmente *barbecho largo*-)
- la rápida extensión de las cárcavas en los alrededores de los poblados, sobre todo en los bordes de las planicies donde el ganado se desplaza diariamente hacia los abrevaderos situados, evidentemente, en las partes más bajas

La sobrecarga animal no es importante en condiciones normales, existe de manera global un equilibrio entre los recursos y el ganado. Sin embargo, dado el número de años secos que se incrementaron considerablemente en las últimas décadas, se aprecia claramente una sobreexplotación de los pastizales. Las altas tasas de mortalidad vacuna fue la primera consecuencia después de los años más severos de sequía, aunque el ganado se reconstituyó rápidamente gracias al dinero que regresa a los poblados producto de la emigración. Esta degradación se observa por todas partes en la región del Sahel, aunque es más drástica cuando a los sectores donde pasta el ganado se les agrega la tala de los árboles para abastecer la demanda de leña para cocinar (sobre todo en los alrededores de Dakar o de Niamey).

El punto común de los tres tipos de explotación y de las degradaciones observadas en el espacio rural es de manera evidente el pastoreo excesivo. De

hecho, la ganadería extensiva es la actividad común y dominante de las zonas rurales poco pobladas; pero en la fase previa a la transición demográfica, las sociedades rurales presentan un incremento de las densidades de población que se traduce en una intensificación de un sistema a menudo antiguo pero adaptado a bajas densidades. Esta evolución se traduce muy rápidamente en una disminución de la productividad de los pastizales.

Consecuencias del abandono y la mala gestión del espacio

La degradación del medio rural y los ecosistemas son consecuencia tanto de la sobreexplotación como, en algunas ocasiones, de su abandono. Si la situación de los Prealpes del sur confirma una evolución biostática creciente, producto de su fuerte desarrollo arbóreo, esto no puede ocultar los problemas de estabilidad de los terrenos y la manifestación de algunas formaciones vegetales secundarias, cuya presencia está vinculada al abandono agrícola. ¿La evolución hacia las formaciones primarias o climax está garantizada, no se va hacia un aumento de la población de pinos que podría aportar otros desequilibrios (incendios, plagas, fauna, etc)? Sobre todo, la progresión rápida de la cobertura forestal y las malezas parecen ir de la mano con los desequilibrios del terreno. Esto se vincula a la vez con la falta de mantenimiento (drenes de desagüe, canales, tapias, etc) y con la progresión de la cubierta vegetal que favorece el incremento de las tasas de infiltración. Estos procesos también fueron observados en los Alpes del Norte

El abandono es aquí total (a pesar de un renacimiento demográfico constatado desde hace veinte años, vinculado con el desarrollo de las actividades de recreación): disminución de la población, un importante decremento del ganado, deficiencias en el mantenimiento del territorio y la reconquista del bosque; no obstante, el abandono se traduce también en la desestabilización de las vertientes.

En la Sierra Madre Occidental, los desequilibrios se hacen presentes desde hace algunas décadas, encontrándose en una fase de sobreexplotación del espacio: pastoreo excesivo y la tala masiva implican (como en el siglo pasado en Francia y al parecer, en este caso también, en el momento del máximo demográfico) una degradación de los suelos que por si misma dificultará la reconstitución de los recursos forrajeros o forestales. La progresión del número de árboles en el paisaje (al igual que la formación de terracitas por sobrepastoreo) es en realidad una señal de degradación, ya que da testimonio de la falta de competencia de la vegetación herbácea ante el rápido crecimiento de los pinos jóvenes: los recursos económicos

que proviene del exterior permiten un mejor nivel de vida, evitando hasta ahora una abierta crisis debido a la falta de recursos renovables.

En este caso, el abandono es parcial; se presenta una fuerte disminución de la población por emigración (en algunos pueblos, tres de cada cuatro viviendas se encuentran deshabitadas), sin embargo, los hatos ganaderos se mantienen y con ellos el pastoreo excesivo, incluso llegando a empeorar debido a que los pastizales son cada vez menos administrados por falta de mano de obra.

En Senegal Oriental, es la conjunción del crecimiento demográfico aún elevado y la manifestación de los años de sequía lo que provocó el desequilibrio del sistema agrario tradicional, basado en la ganadería extensiva, la agricultura de subsistencia y la agricultura de roza y quema: el tiempo de recuperación de los terrenos agrícolas de roza y quema debió acortarse, los hatos se incrementaron poco a poco, antes de la aparición de la devastadora sequía de los años 1968-1985. Todo esto se tradujo en una mayor presión de explotación en un sistema cuya producción primaria decrece por razones climáticas: la degradación de las formaciones vegetales son difíciles de cartografiar, aunque las extensiones de las zonas erosionadas, al borde de las mesetas en particular, son visibles en el paisaje. Este es el signo de la sobreexplotación que quizás no se hubiera manifestado de forma inmediata a no ser por las críticas condiciones climáticas de estas últimas décadas.

La presión sobre el medio se mantiene y aumenta incluso localmente, a causa del crecimiento de la población (y del ganado); el pastoreo excesivo y la sobreexplotación continuarán en los próximos años con un alto riesgo de crisis social, en particular si se presenta un nuevo episodio de sequía.

Se pueden diferenciar claramente las tres regiones tomadas como ejemplo en este caso para ilustrar la evolución en términos de ocupación del espacio donde se encuentran ubicadas. Para ello, se puede referir a la Figura 1.1 donde se ha esquematizado esta evolución, y donde se han colocado las regiones anteriormente descritas: el Boundou (representado con la cifra 1) apenas comenzó su transición demográfica y la utilización del espacio es regulada por la necesidad de abastecer un número creciente de habitantes: el espacio cultivado crece, aunque de manera muy moderada; lo que no se aprecia es la aceleración en la rotación de los cultivos y la reducción de los rendimientos agrícolas concomitantes.

En cambio, la Figura 1.1 pone de manifiesto claramente que la presión sobre el espacio se traduce en una degradación de los suelos (aumento de los sectores erosionados). Las comunidades de la Sierra Madre (representadas con la cifra

2) han comenzado desde hace dos o tres décadas su transición demográfica; emigrando rápidamente una gran parte de sus habitantes, lo que no impide el mantenimiento del pastoreo excesivo y la rápida deforestación (la venta de los derechos de explotación de madera provee de ingresos suplementarios a los campesinos). "Las piedras crecen", así se expresan los habitantes de la Sierra ante la pérdida de los suelos vinculados al sobrepastoreo. Esta expresión también era común en el siglo XIX en los Alpes del Sur (representados por la cifra 3), región donde ya ha terminado la transición demográfica y donde los problemas de estabilidad de los terrenos, vinculados frecuentemente a la falta de mantenimiento, sustituyeron la formación de cárcavas y lo torrencial de sus cauces que ocuparon a las generaciones de campesinos hasta principios del siglo XX. La reforestación, sobre todo espontánea es la consecuencia más visible del abandono.

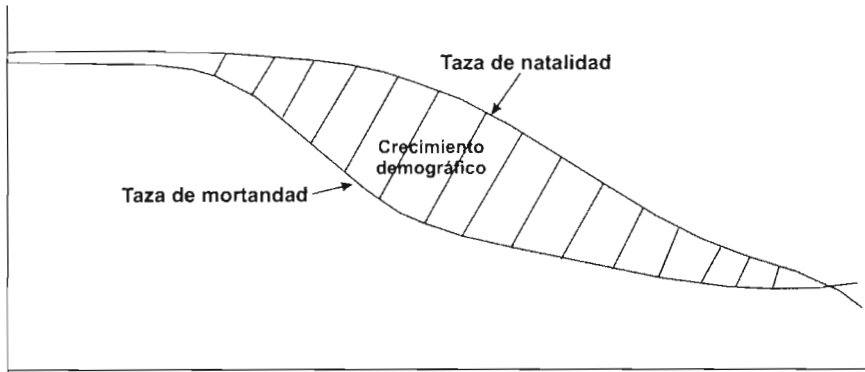
Conclusión

El empleo del espacio y el equilibrio de los recursos agua-suelo-vegetación que resulta, dependen obviamente de las condiciones naturales y de las condiciones de explotación del medio. Dependen en mucho de la manera en que la utilización del espacio se desarrolla en función de las condiciones naturales. A este respecto se puede fácilmente distinguir:

- un México del norte "nuevo", antigua "frontera" donde el hombre mantuvo, en algunas ocasiones, el espíritu pionero que hace que el recurso (espacio, suelo, vegetación, agua, riqueza mineral, etc) a menudo sea apropiado por el primero que lo utiliza (como en el caso del modelo del oeste americano);
- un México del centro y del sur donde las antiguas civilizaciones (con vestigios del riego desde hace más de 3000 años en el valle de Tehuacán en los estados de Puebla y Oaxaca, y de agricultura desde hace más de 2000 años en los alrededores de la ciudad de México) trabajaron a la vez los paisajes y permitieron a los campesinos y a los habitantes adaptar los sistemas culturales a las condiciones naturales: los suelos Andosoles son a la vez muy ricos y muy frágiles y requieren de prácticas que demandan una gran cantidad de mano de obra por hectárea, con el fin de preservar las buenas condiciones naturales.

La Sierra Madre Occidental está incluida hasta ahora típicamente en el primer grupo, ya que las poblaciones amerindias que la ocupan, varias de ellas desde hace algunos milenios, solo se hicieron sedentarias recientemente. Aparte de los enclaves mineros (las que no se convirtieron en ciudades fantasmas se transformaron en grandes explotaciones a cielo abierto), la colonización "mexicana" es muy reciente (un siglo a lo máximo en forma de haciendas, y cincuenta años de sistema "ejidal") y solo fue necesario de una a dos generaciones para llegar a la sobreexplotación del espacio.

Transición Demográfica



Transición Espacial del Espacio Rural

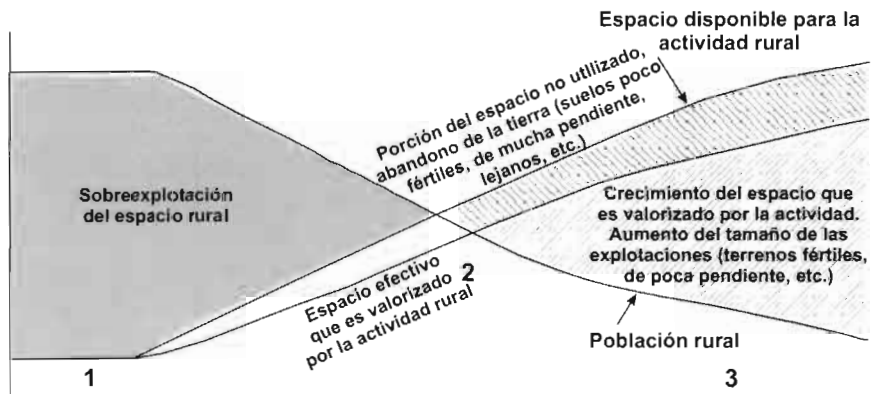


Figura. 1.1. Transición demográfica y transición espacial de la utilización del área rural.

Bibliografía citada

Derruau, M. 1974. Pr ecis de g eomorphologie. Masson, Paris, 452 p.

Descroix, L. 2002. Le r ole de l'homme dans l'entretien et la d egradation des sols des r egions  a faible densit e de population; analyse  a travers trois cas de figures. *Revue de G eographie du Qu ebec*, (46), 128: 215-235.

Allaire, G., B. Hubert, A. Langlet (Editeurs). 1996. Nouvelles fonctions de l'agriculture et de l'espace rural. Enjeux et d efis identifiées par la recherche. INRA-DIC, 1996/12, 313 p. (Actes du colloque final de l'Action Incitative Programm ee 1993-1995) Paris.

Propiedad privada y pública, gestión colectiva: ¿Y la política patrimonial?

Luc Descroix

En la reflexión sobre las causas del sobrepastoreo que se observa en toda la Sierra Madre Occidental y en casi todo el norte México, se dibuja el contraste del cambio de régimen de la propiedad a partir de la derogación, en 1992, del artículo 27 de la Constitución Mexicana, artículo que instauró la Reforma Agraria en 1936. Si esta derogación fue una condición *sine qua non* impuesta por los norteamericanos para la adhesión de México al Tratado de Libre Comercio (TLC), es necesario ver también un principio de adhesión de gran parte de los responsables políticos y técnicos del ámbito rural al "pensamiento único" que representa el "consenso de Washington", esta especie de ideología divulgada por la prensa mundial que desea a largo plazo la privatización de todo para garantizar un mayor bienestar para las poblaciones. No se trata aquí de decir si el liberalismo provoca o no el descarrilamiento de trenes, causa o no cortes de energía eléctrica en los Estados Unidos, hace desaparecer o no, de un solo golpe, las clases medias de tal o cual país de América Latina, o implica o no la muerte de millares de niños diariamente a causa de la desnutrición.

Existe claramente, durante la última década en México, un cambio de mentalidad política del PRI (Partido Revolucionario Institucional que se mantuvo en el

poder en México de 1929 al 2000) hacia una política que poco a poco se fue alineando neoliberalismo....

Percibido por las elites políticas y en parte por los intelectuales como un beneficio, esta liberalización ya tuvo consecuencias sociales (desaparición progresiva de los servicios de seguridad social, disminución de ayudas a los campesinos), acelerando la marginalización de la gente que solo sobrevive en la economía informal (¿La mitad de los Mexicanos?), empobreciendo a otros (que cuentan con una pensión del Seguro Social pero que ven como la inflación se incrementa más rápido que sus salarios, solo para que México conserve sus "ventajas comparativas" respecto al exterior) y enriqueciendo considerablemente a las elites económicas a tal grado que México es el tercer país del Mundo con un mayor número de multimillonarios (después de los Estados Unidos y Arabia Saudita). México es, hoy más que nunca, un país rico poblado de gente pobre.

Pero entonces, ¿cómo puede influir el régimen de propiedad, en la conservación de los recursos naturales? Aquí se unen los debates de la famosa "Teoría de Hardin" sobre la "tragedia de los comunales" (Hardin, 1968).

En efecto, fuera del mundo actualmente llamado "occidental", la propiedad privada era aún la excepción a principios del Siglo XX. Le Roy (1993) señala: *-La colonización del Siglo XIX introdujo en África el derecho escrito, que se sobrepuso a las prácticas tradicionales. En los años de 1930, consideradas vacantes y sin dueño, las tierras fueron objeto de un texto que instituye las divisiones del espacio a menudo establecidas sin considerar las prácticas existentes. El bien forestal se convirtió en bien del Estado. El derecho al desarrollo de los años 1960 tenía por objeto simplemente adoptar un derecho moderno, inspirado en el modelo occidental, al cual las sociedades debían adaptarse. Las tradiciones debían desaparecer si éstas obstaculizaban el Estado de derecho. Así las comunidades indígenas tribales y montañeses del subcontinente Indio (Sarin, 1995) y las comunidades rurales de África (en particular las francófonas) se vieron privadas de sus prerrogativas de gestión colectiva de los recursos del espacio forestal en beneficio, inicialmente, del Estado colonial, y posteriormente del Estado independiente. Esta enajenación implicó conflictos que persisten aún en ciertas regiones y frecuentemente también una destrucción de los bosques ante la incapacidad de la administración para hacer respetar estos nuevos derechos. Este fracaso pone ante todo las tierras como fuente del problema y se también, se espera, como fuente de solución. La visión jurídica se renovó profundamente. La regulación por el Estado único mostró su insuficiencia. Se habla actualmente de un asunto multijurídico para traducir el hecho de que cada individuo es parte involucrada, en su vida familiar, profesional o pública, de múltiples grupos donde las normas reglamentadas, prácticas o de tradición se le imponen de manera más o menos uniforme-. Pero el biólogo Hardin*

(1968) trat  de mostrar que la propiedad y la gestión colectiva conducian a la pérdida de los bienes colectivos (bosque pastos, etc): *-Ante la ausencia de normas y control del acceso, es decir cuando el acceso es libre, los recursos sufren una sobreexplotación que implica su degradación, o incluso su desaparición. Esta dinámica de acceso libre se conoce bajo la denominación de "tragedia de los comunales"*. Otros autores asumen una opinión distinta a la de Garrett Hardin; así, según Berkes *et al.*, 1989, *-en la actualidad esta demostrado que el recurso común no es de ninguna manera sinónimo de acceso libre y que numerosos recursos en propiedad común fueron y son administrados de manera viable a largo plazo-*.

La privatización de los recursos naturales, y de las tierras en particular, cada vez más a menudo es considerada por los inversionistas, guiados en esto por el Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional, como una condición previa para una asignación eficiente de los recursos y para dar una posibilidad de éxito al desarrollo (Bellefontaine *et al.*, 1997). Pero si bien existe un consenso ideológico; es exactamente este tipo de principio que la prensa se apresura a retransmitir de tal modo que esto no aparezca ya como un dogma sino como un hecho establecido y tan natural que puede convertirse en una base de reflexión. Estos mismos autores tienen conciencia de esto, puesto que afirman: *-Estas consideraciones pueden parecer simplificadoras y molestas. En efecto, se demuestra que la propiedad privada, si es eficiente desde un punto de vista comercial, puede muy bien conducir al saqueo de los recursos cuando el capital es móvil o en caso de una sobre inversión-*.

En las cuatro comunidades rurales de la Sierra Madre Occidental estudiadas aquí, y que son representativas del conjunto de la cadena, se constata sobre todo que hay un consenso para intentar preservar el futuro de los pastizales, incluso si los ejidatarios est n conscientes que por el momento, la degradación continúa. Ellos frecuentemente han constituido, como en Boleras, algunas zonas de "reserva" donde está prohibido llevar al ganado durante la temporada de las lluvias; éstas se abren en el momento en que, al faltar el agua en las proximidades de los pueblos y en los abrevaderos habituales, es prudente llevar las manadas más lejos, dispers ndolas sobre el conjunto de esta reserva (en Boleras, esta representa el 40 por ciento de la superficie del ex-ejido, lo que representa del 55 al 60 por ciento de las zonas de pastizal). Al contar estos pastizales con toda la temporada de las lluvias, esta reserva representa en el otoño un gran volumen de forraje disponible; al mismo tiempo, el distanciamiento de la manada permite limitar la concentración de los animales en los alrededores de los pueblos durante la temporada seca cuando el suelo queda poco protegido.

No obstante, es necesario tratar de introducir la idea de "bienes comunes" como se les llama a menudo en nuestro mundo cada vez más globalizado, y son

también generalmente "bienes colectivos" (la tierra, el aire, el agua, los océanos). Y es ahí donde los aparejos aprietan: ¿Hasta donde se puede utilizar un bien común? En 1999, un estudio publicado por un sindicato de intereses privados tenía en cuenta: *-Cuando los bienes medioambientales pertenecen a todos y que su utilización no es objeto de ninguna competencia, se califican de bienes colectivos. El aire constituye un buen ejemplo: nadie puede apropiárselo, y el consumo de un usuario en ningún caso interfiere en el consumo de los otros usuarios. Un bien colectivo es definido entonces por dos características:*

- la no rivalidad, es decir, el hecho de que el consumo de este bien por un individuo no pueda disminuir el consumo de este mismo bien por otros individuos;
- la no exclusión, es decir, el hecho de que no se pueda impedir el consumo por la instauración de una prohibición.

Pero el uso que se hace de un bien colectivo por distintos individuos puede conducir al paso de un límite máximo de saturación (fenómenos de estorbo). El uso de cada uno que obstruye entonces el consumo y el disfrute de los otros, una rivalidad para la utilización del bien en cuestión comienza a realizarse. No se trata ya entonces de un bien colectivo, sino de un bien común, cuyo uso es objeto de una competencia, conduciendo al agotamiento del bien y a la aparición de efectos externos en su utilización-.

En este punto se retorna la famosa Teoría de Hardin, ya que los autores de este estudio concluyen: *-La competencia por explotar esos bienes comunes se traduce en numerosos casos por su agotamiento, situación calificada de "tragedia de los comunales" por el biólogo Garret Hardin en 1968. La definición de derechos de propiedad sobre estos bienes representa, cuando esto es posible, un medio de administrarlos-* (Solagral, 1999).

A partir de los trabajos de Hardin, que constataba el callejón sin salida del crecimiento de la demanda ante una oferta del recurso que permanece estática, se construyó otra teoría. Ésta, desarrollada por Ostrom (1990), indica que los nuevos métodos de gestión de los bienes comunes deben organizarse. Se trata de escapar a la privatización afirmando el carácter indivisible del recurso e imaginando modalidades de gestión comunes de los recursos naturales. Esto es posible mediante la descentralización del nivel de organización, y mediante normas tradicionales en lugar de normas centralizadas establecidas por el Estado.

Esta escuela de pensamiento apareció sobre todo como una reacción ante los repetidos fracasos de los proyectos de desarrollo concebidos sin las comunidades locales. Concieme sobre todo a los países en desarrollo donde se han implantado numerosos proyectos sin considerar los métodos tradicionales y seculares de gestión de los recursos (Solagral, 1999).

Este estudio se termina con el debate sobre el papel de la autoridad pública, que se percibe sobre todo a través de los desaciertos de sus intervenciones. La propiedad pública sobre un bien medio ambiental implica que el Estado pueda excluir a cualquiera del uso de un recurso en función de una reglamentación de origen político que precisa que tiene el derecho de uso y el derecho de acceso. Ahora bien, la capacidad del Estado para velar por esta exclusión puede a veces resultar demasiado costosa, conduciendo ineludiblemente a la tragedia de los comunales. ¿El papel del Estado solo se limitaría únicamente a la formulación de reglamentos destinados a limitar los derechos de propiedad?

Y en este caso todavía, se puede concluir, volviendo de nuevo al ejemplo mexicano, recordando que hay (o había) culturalmente dos Méxicos:

- uno, al sur donde las comunidades indígenas se encuentran en este lugar desde hace siglos, algunas de ellas desde hace varios milenios, y donde la gestión colectiva de sus tierras en gran parte sobrevivió a la derogación del artículo 27, ya que esta gestión se realiza desde generaciones y la autoridad de los consejos de pueblo es admitida desde sus orígenes. La densidad de algunos sectores puede hacer recordar a las "sociedades hidráulicas" de *Wittfogel*, ya que la supervivencia de todos depende del trabajo de cada uno y de la aceptación de las reglas por todo individuo;
- otro, al norte, un país "nuevo" donde la gestión del espacio es más bien tradicionalmente individualista, y donde se pudieron disolver todos los ejidos en algunos años después de 1992, conservando al mismo tiempo la mayor parte del tiempo un consejo ejidal y algunos ámbitos colectivos. En Bolerias por ejemplo, se mantuvo la "reserva" de pastizales, y el sistema de extracción de agua potable sigue siendo administrado por este consejo.

Así, incluso durante el tiempo de los ejidos, se veían frecuentemente actos contrarios a una buena gestión común: pastores que llevaban su hato de noche a la reserva y que a espaldas del consejo ejidal lo dejaba algunos días fuera del periodo de apertura previsto; contratistas que engañando a los "indígenas" los forzaban a sembrar *Cannabis sativa indica* por su cuenta; "pistoleros" abusando del temor que inspiran sus armas para utilizar el agua potable para irrigar su maíz; jóvenes

inmigrantes de regreso durante las vacaciones que va a cazar de noche, con la ayuda de linternas y rifles, etc. Dentro del nuevo país, los reglamentos y convenios no quedan aún bien asentados y a menudo deben de ser construidos. Es todavía algunas veces el caso en la Sierra Madre Occidental. El regreso a la propiedad privada integral después de solo una o dos generaciones de vida "ejidal" no ayudará seguramente al desarrollo de reglas patrimoniales.

Bibliografía citada

- Bellefontaine, R., A. Gaston et Y. Petrucci. 1997. Aménagement des forêts naturelles des zones tropicales sèches. Cahier FAO, Rome, série Conservation n°32, 170 p.
- Berkes, F., D. Feeny, B.J. McCay and J.M. Acheson. 1989. The benefits of the Commons. *Nature*, (340) 91-93.
- Hardin, G. 1968. The Tragedy of the Commons. Garrett Hardin. *Science*, 162(1968):1243-1248.
- Le Roy, E. 1993. Les recherches sur le droit interne des pays en développement. Du droit du développement à la définition pluraliste de l'Etat de droit. In: Choquet et al.: 75-86.
- Ostrom, E. 1990. *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. 253 p. New York: Cambridge University Press.
- Sarin, M. 1995. Cogestion des forêts en Inde: réalisations et défis. *Unasylva*, 46 (180) 30-36.
- SOLAGRAL. 1999. *Commerce et environnement. étude Solagral*. 1999, éditeur © Solagral.

La indianidad y el indigenismo en México y en la Sierra Madre Occidental

Luc Descroix

Los indígenas forman el pueblo de México ya que 90 por ciento de la población tiene origen indígena. Solo una minoría de la población tiene origen europeo (pero también árabe o japonés) sobre todo en el norte del país.

La cultura mexicana es un sincretismo básicamente de las tradiciones indígenas y las contribuciones europeas, lo que supone que todo el arte, el folclore, la artesanía, la arquitectura, la cocina, y también los espectáculos, el cine, etc., son a la vez muy ricos y muy variados. México es innegablemente uno de los países donde la riqueza y la diversidad cultural son de las más grandes a escala mundial.

Sin embargo, esto es menos cierto en el norte del país, que esta menos poblado (10 a 30 habitantes/km² según los estados) comparado con la media nacional de 50 habitantes/km². En general los mexicanos llaman indígenas a la gente cuya lengua materna no es el español-castellano sino una lengua indígena de México. Sin embargo actualmente existen muy pocos habitantes que no hablan el español-castellano como consecuencia del enorme esfuerzo de escolarización llevado en México desde su Revolución.

Un informe difundido en agosto del 2003 por el periódico francés *Courrier International*, hace hincapié en la segregación de las poblaciones indígenas de México, basándose en encuestas realizadas en todas las etnias importantes; en lo referente a la Sierra Madre, esta investigación considera los pueblos Yaqui, Tarahumara, Tepehuano y Huichol. Para conocer la evolución general de la sociedad mexicana que heredó de las tradiciones amerindias y europeas, una sólida tradición democrática, con un fuerte impacto de las peticiones, manifestaciones, plantones, etc. La lucha de los "zapatistas" en Chiapas y Guerrero es resultante también de esta tradición, y a pesar de los choques violentos y las masacres que caracterizaron esa lucha, nunca hubo una verdadera intención del Estado federal de aminorarla; ya que se puede suponer que tenía los medios para hacerlo...

En la Sierra Madre, no hubo problemas de apropiación de tierras ya que las etnias eran seminómadas y poco importantes respecto a su número. Pero innegablemente, se puede hablar de condescendencia o segregación por parte de la mayoría de los habitantes (que aun tienen origen indígena). A veces son aislados en su propio pueblo, en donde nadie va a vivir; cuando piden instalarse en un Ejido, tienen en principio el derecho de adquirir un terreno si ya se habían instalado anteriormente en el territorio del Ejido.

Mismo si hablan español, continúan sufriendo una falta de instrucción y apertura a la economía comercial. Frecuentemente sufren abusos de traficantes, que les ofrecen cantidades ridículas de dinero para convencerlos, sin dificultad por lo general, de establecer cultivos de marihuana o amapola. Y son denunciados por los propios contratistas sin escrúpulos y deseosos de alejar las sospechas de ellos mismos.

Los habitantes del poblado Ciénega de Quelites, cerca de la Posta de Jihuites (Figura 2.3 en el Capítulo 2), durante mucho tiempo sembraron la marihuana por cuenta de los negociantes de los pueblos y ciudades a sus alrededores, que aprovechaban el relativo aislamiento del poblado (3 horas de pésima terracería a partir de Santa María del Oro). En 1995, el ejército mexicano intervino, quemó todos los cultivos ilícitos, y ocupó el pueblo durante toda la temporada de lluvias para evitar las resiembras. Los hombres se ocultaron todo el verano en el bosque, abastecidos, por la noche, con frijoles, tortillas y agua por sus mujeres al abrigo del bosque. Los 2 años siguientes, un programa del INI (Instituto Nacional Indigenista) tuvo por objeto sustituir la marihuana por otros cultivos, en este caso por verduras; a falta de mercado *in situ* y de medios de transporte, estas verduras resultaron "invendibles". A partir de 1998 en la Ciénega de Quelites se volvió a sembrar la marihuana...

Los contratistas no arriesgan nada; el hijo del caballerango del pueblo vecino fue arrestado durante este mismo verano de 1998 con un camión de redilas lleno

de hierba fresca de marihuana; a partir del pago de la fianza, fue liberado y no volvió a ser molestado.

Por otra parte las tradiciones perduran, la poca gente que asesina a los indígenas (por lo general los contratistas que a menudo mandan suprimir a los campesinos empecinados, demasiado habladores o demasiado codiciosos), por lo general nunca son perseguidos.

Capítulo 2

¿Una montaña en vías del abandono?

Béatrice Inard Lombard

Éxodo rural trans-fronterizo

Actualmente, una gran parte de la zona rural mexicana se despuebla rápidamente debido a las nuevas leyes agrarias y, localmente, a la sequía recurrente, que se empalma a la dinámica clásica del éxodo rural. En el sur del país, el movimiento es clásicamente un éxodo rural. Los campesinos van a buscar trabajo y mejores condiciones de vida esencialmente a las ciudades más grandes como: México, Guadalajara y Puebla. Al norte (todo lo que se encuentra en las planicies altas al norte de Aguascalientes y hasta la frontera americana), esta migración tiene formas diferentes. Los emigrantes no se dirigen hacia el sur sino al norte, es decir hacia la frontera o hacia los Estados Unidos. El éxodo hacia la frontera lo realizan más las gentes de las ciudades, el éxodo a los Estados Unidos corresponde a las personas de las zonas rurales (Arroyo y Papail, 1996). La frontera y los Estados Unidos atraen. De hecho las ciudades mexicanas fronterizas donde existen más facilidades para encontrar trabajo rápidamente (en el año 2000) son: Tijuana, Ciudad Juárez y Nuevo Laredo, y secundariamente Nogales, Ojinaga, Matamoros y otras ciudades menos importantes (Combesque, 1999); el fuerte crecimiento económico al norte de México, impulsa el mercado en los Estados Unidos.

Éxodo directo

Se pudo constatar en los apartados anteriores que esta región, colonizada a nivel agrícola desde hace poco (la ganadería extensiva es la principal actividad), sufre de un aprovechamiento de los pastizales de tipo “minero” que condujo a un sobre pastoreo muy agudo (Figura 2.1).



Figura 2.1. “Terracitas” en Vertiente cerca de Boleras (Bollery, 1999).

El propósito de este capítulo es mostrar la originalidad de esta migración de una zona rural del sur hacia las ciudades del norte, e insistir sobre la permeabilidad de la única frontera terrestre entre esos dos conjuntos geopolíticos. Se trata de mostrar como el norte de México se transformó naturalmente en un proveedor de mano de obra para los Estados Unidos, el viaje hacia “el otro lado” se percibe como una forma de salir del ambiente pueblerino, más que de salir adelante, y también como un rito de iniciación.

Un ejemplo representativo de la Sierra Madre Occidental

Este estudio sobre la dinámica migratoria fue realizado en cuatro poblados pequeños de la Sierra Madre Occidental, situados en el norte del estado de Durango (Figuras 2.2 y

2.3). Esos cuatro poblados de 100 a 250 habitantes forman parte de dos municipios: La Ciénega de Escobar es una comunidad rural del municipio de Tepehuanes, mientras que Escobar, Boleras y la Posta de Jihuites son ejidos del municipio de Guanaceví.

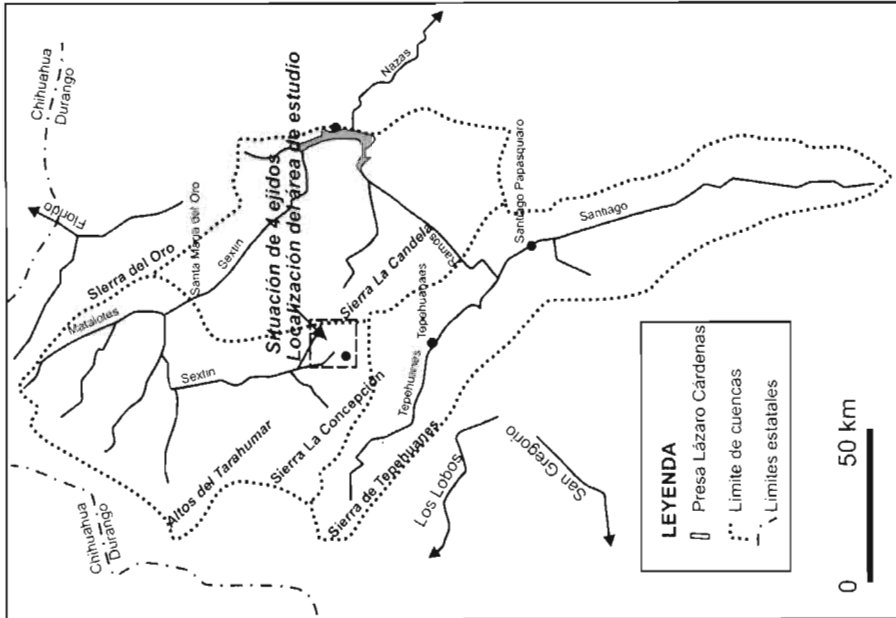
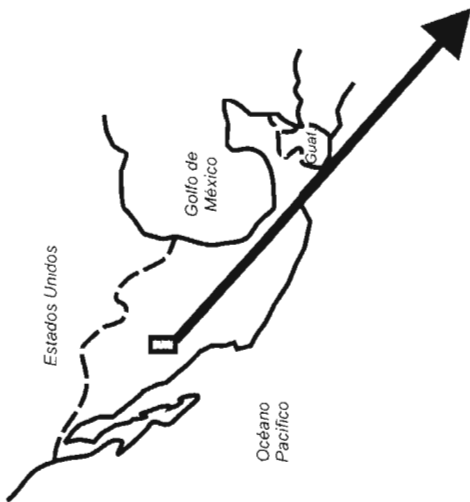


Figura 2.2. Localización del sitio de estudio.



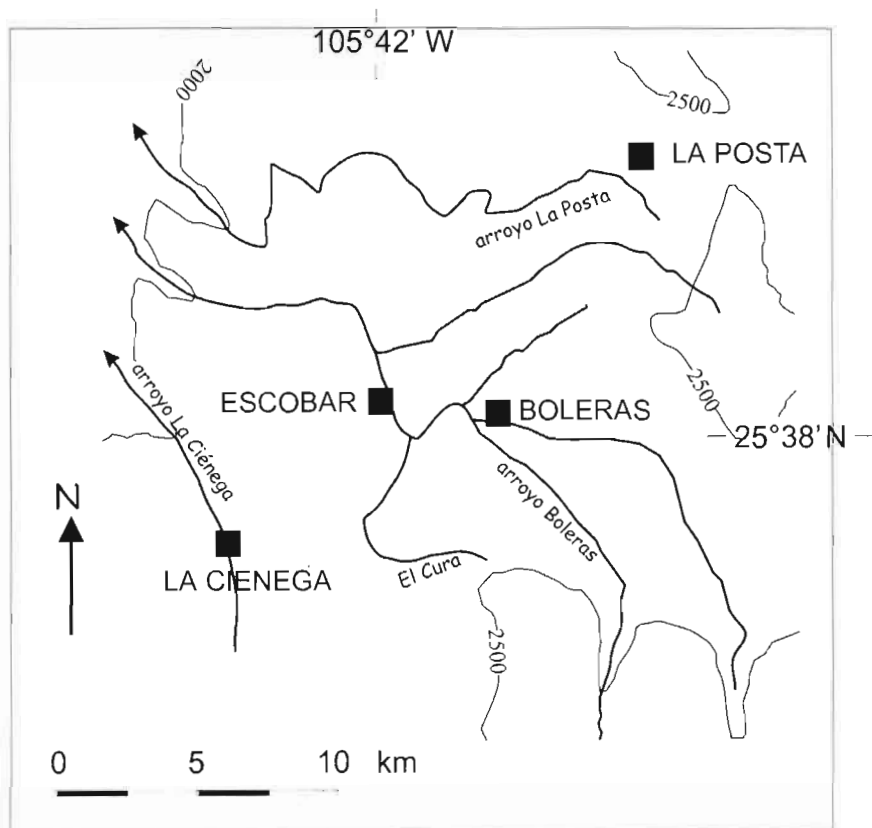


Figura 2.2. Localización de los cuatro ejidos.

Esta zona es representativa de las zonas rurales de la Sierra Madre Occidental que tienen un fuerte éxodo (las ciudades, en la zona de montaña, tienen una población que no supera los 100,000 habitantes), aunque sea una región favorecida por las condiciones naturales (en particular por el recurso agua), al contrario de las planicies y altiplanos áridos del norte de México.

Análisis fundamentado en encuestas

El método de trabajo consistió en una encuesta sistemática a los habitantes, lo cual se facilitaba por el tamaño pequeño de todas las comunidades (Figura 2.4). Como de costumbre, este trabajo fue difícil de realizar al principio, por la desconfianza de la gente, a pesar de que ellos están acostumbrados a ver a los investigadores hidrólogos en su

territorio. Sin embargo, al cabo de algunos intercambios, se instauró un clima de confianza y fue posible llevar a cabo el trabajo y cuantificar las informaciones no explícitas y las expresiones locales difíciles de comprender para una extranjera. Gran parte de las encuestas requirió un enorme trabajo de reinterpretación posterior, a pesar de que todas las personas encuestadas, salvo dos personas, hablaban perfectamente español (la mayor parte de los indígenas Tarahumaras van a la escuela desde hace más de una generación).

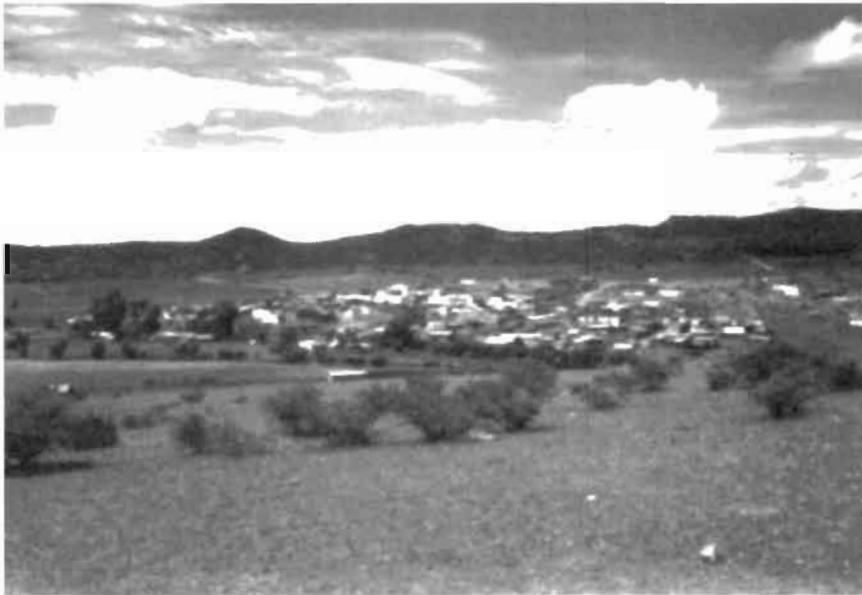


Figura 2.4. Poblado de la Ciénega de Escobar en 1999.

Causas y formas de la migración

Una constatación inmediata se puede hacer cuando se ven las numerosas áreas abandonadas de los pueblos y las casas vacías de manera sombría en la Sierra Madre Occidental. Las poblaciones dejaron sus casas para ir a buscar mejores ingresos a otros sitios (Cuadro 2.1). Este exilio voluntario fue hecho hacia un destino preciso: los Estados Unidos (llamado aquí “el otro lado” -de la frontera-). Esta emigración de poblaciones rurales de la Sierra Madre Occidental hacia los Estados Unidos (esencialmente Illinois, California y Nevada), existe desde hace varias décadas.

Las aspiraciones a un mejor futuro alientan a las poblaciones rurales a dejar su región para trabajar del "otro lado".y son aceleradas por el rápido éxito social de los que se van. Se trata de un verdadero éxodo rural, sobre todo de la población activa, de la Sierra Madre Occidental hacia los Estados Unidos (Cuadro 2.2).

Cuadro 2.1 Evolución de la población de 1990 a 1995 en los ejidos incluidos en la zona de estudio y los municipios de los cuales forman parte, así como los de Santiago Papasquiario y Santa María del Oro.

Ejidos	1990	1995	Estimaciones 1999
Escobar	220	134	120
Boleras	215	143	100
Posta	283	217	198
Mun. de Tepehuanes	14942	13588	12937
Mun. de Guanacevi	11925	11447	10794
Mun. de Santiago P.	42150	42993	43517
Mun. de Santa María	14815	13516	12245

Fuente: Dufeu, 1998; Inard Lombard, 2000; INEGI, 2001.

Cuadro 2.2. Repartición en 1997 de 234 jefes de familia censados en la comunidad de la Ciénega de Escobar en 1967.

	Trabajan en la comunidad	Viven en los Estados Unidos	Fallecidos	Otros
Número	51	127	32	24
Porcentaje	22 %	54 %	14 %	10 %

Fuente: Dufeu, 1998

Motivos para irse

El llamado de familiares o amigos ya emigrados

La implantación de familias de la misma nacionalidad en un mismo territorio existe desde hace mucho tiempo, así la migración provoca migración. La existencia de una red de informaciones familiares o de amistades en una ciudad americana facilita la llegada de individuos a esta ciudad. Una red de solidaridad se pone en práctica poco a poco y se hace más grande con cada nueva llegada. Las personas nuevas son acogidas y dirigidas hacia los servicios administrativos. Algunos ya tienen trabajo incluso antes de atravesar la frontera. Algunas personas llaman por teléfono regularmente a los miembros de sus familias que se han quedado en el país para informarles que un trabajo les espera en los Estados Unidos. Una familia el poblado de Bolerías envió por primera vez a un miembro de ella para trabajar en un restaurante de Hollywood. Actualmente diez miembros de esa familia han partido para trabajar inicialmente en el mismo restaurante y en algunos casos el patrón los ha ayudado a regularizar su situación migratoria.

Un trabajo temporal que luego llega a ser definitivo

La migración temporal se establece generalmente con el principio de ir y venir sin asentarse definitivamente. Corresponde a personas que rechazan vivir de manera permanente en el territorio americano. Estas prefieren ganar dinero para después invertir en su pueblo natal. Esta migración puede ser calificada como temporal para realizar trabajos agrícolas o intermitente para trabajos en la industria o ligados a los restaurantes. Muchos jóvenes y adultos son contratados para la cosecha de legumbres (en Texas o en Carolina del Norte la mayor parte del tiempo) por varios meses de manera continua; muchos de ellos que son contratados en los restaurantes van solo por algunos meses y luego vuelven, repitiendo ese movimiento "pendular" cada año, o cada dos años, en función de las necesidades de dinero de la familia. La ida es considerada como voluntaria y temporal. Si la migración es definitiva ésta se debe a factores de orden económico y a la elección de instalarse en otra parte. Esta elección es con miras a encontrar mejores condiciones de vida en algunos casos, pero actualmente el nivel de vida en la Sierra es bastante elevado (por las aportaciones de los emigrados), así que es más una necesidad urgente de liquidez, el deseo de independencia frente a la familia, la curiosidad de conocer los Estados Unidos, y también, hay que decirlo, un especie de rito. Las personas que se van por primera vez (a los dieciocho años en general y sin documentos), dejan sus poblados para pasar la frontera el 3 de julio o el 24 de diciembre por la noche, según el semestre escolar cursado, de manera a pasar cuando la vigilancia es menos estricta por las festividades.

Causas de las partidas

La historia de la migración de los habitantes de la Sierra Madre Occidental se divide en dos fases.

En la primer fase, la migración esta destinada a los jefes de familia que van a trabajar por algunos meses para ahorrar dinero y volver al poblado. Con el tiempo, la demanda de mano de obra femenina aumentó y fueron las mujeres mexicanas las que emigraron también al otro lado de la frontera.

La segunda fase consiste en la migración de la segunda generación, es decir de jóvenes de aproximadamente dieciocho años (eso se observó en todos los poblados) que se van para reunirse con sus parientes en el otro lado; estos jóvenes, por no haber pasado su infancia en los Estados Unidos, constituyen de hecho una segunda "primera generación". Sus parientes que generalmente son ilegales no tienen la posibilidad de hacerlos migrar legalmente alegando una reunificación familiar.

A continuación se presentan los resultados de las encuestas llevadas a cabo durante el verano de 1999 en las casas habitadas de los cuatro poblados. Los resultados de las encuestas están clasificados por temas ya que así se aprecia más la riqueza geográfica y sociológica, y además corresponden a las respuestas más confiables que se obtuvieron de las personas que participaron en la colecta de información.

- Los individuos emigran esencialmente (77.8 por ciento) para encontrar un trabajo que les permita ganar dinero. Las razones dadas sobre el trabajo y el dinero son expuestas de manera muy espontánea y con una convicción determinada.
- Otra causa de partida esta ligada a la voluntad de una reunificación familiar. Las personas de edad que no tienen familia en el poblado tienen una tendencia a reunificarse con los miembros de sus familias que viven en los Estados Unidos.
- Como última causa está la necesidad de rembolsar un préstamo. La costumbre de solicitar un préstamo para construir su casa o comprar herramientas de trabajo anima a los individuos a irse a buscar dinero a otra parte cuando están muy endeudados.

Durante el periodo de la encuesta, numerosas personas de los cuatro poblados se fueron para ir a buscar trabajo al "otro lado". La migración de los mexicanos de la Sierra Madre Occidental se aceleró considerablemente durante el verano de 1999, ciertas casas fueron abandonadas completamente. La sequía del verano en ese año fue sin duda un

factor de aceleración del proceso migratorio.

Migración de trabajo

La Figura 2.5 permite observar que los emigrados de la primera generación trabajaron esencialmente en los restaurantes y en la industria. La economía de los Estados Unidos tiene una importante demanda de mano de obra, de ahí que se contrate a gran número de trabajadores mexicanos. Los restaurantes ha sido siempre un lugar propicio para los trabajadores ilegales ya que es relativamente fácil ocultar en las cocinas a las personas que trabajan clandestinamente. Muchos trabajan en la cocina durante 4 o 5 años, posteriormente el patrón les facilita el acceso a los documentos de residencia; luego pueden llegar a ser meseros. El trabajo en la agricultura es temporal como en las vendimias de los viñedos o en la pizca de frutos o de algodón.

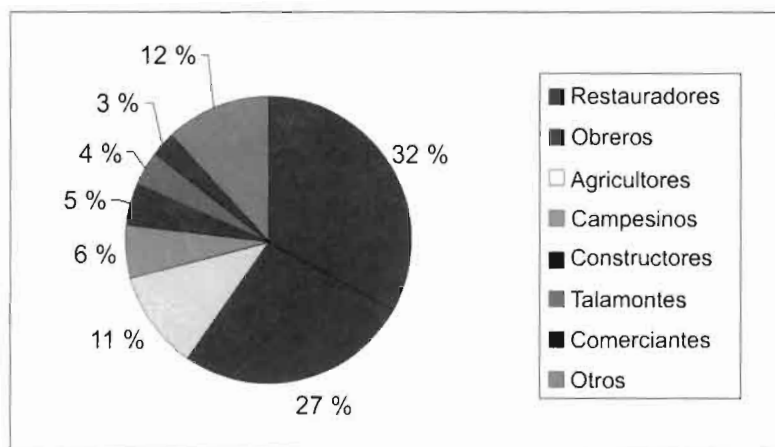


Figura 2.5. Repartición profesional de los emigrados mexicanos de la primera generación.

La segunda generación trabaja generalmente en los mismos sitios (Figura 2.6) pero invierten su importancia relativa en ellos; la industria es más importante, luego los restaurantes. Eso refleja claramente la necesidad creciente de mano de obra en los Estados Unidos (al menos hasta el momento de estas encuestas).

La mitad de los emigrados de la segunda generación trabaja en la industria, que consiste básicamente en trabajar como obrero en la cadena de producción de las fábricas de montaje. Ese porcentaje de individuos que trabaja en el sector de la industria es, sin duda, más elevado si se considera la gran cantidad de personas a quienes no pudimos determi-

nar su ocupación (porque sus papás no la conocen). Para los mexicanos, trabajar en una fábrica o en un restaurante representa un buen escalafón en la jerarquía profesional. El aumento de salario representa un buen incentivo, a pesar de las duras condiciones de trabajo.

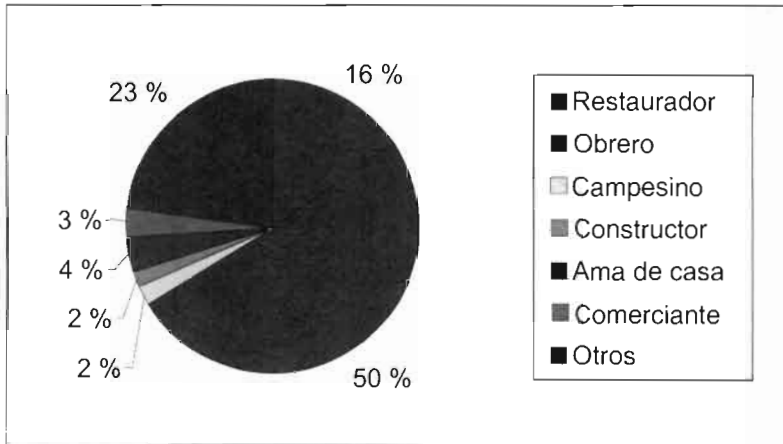


Figura 2.6. Repartición profesional de los emigrados mexicanos de la segunda generación.

La fuerte atracción de Chicago

La primera generación de emigrados de la encuesta eligió principalmente el estado de Illinois y después el estado de California como lugares de emigración. Casi tres cuartas partes de los emigrados de la segunda generación originarios de los cuatro poblados mexicanos se instalaron en el estado de Illinois. Así, esta segunda generación reproduce el mismo esquema de la primera. Las personas que escogen el estado de Illinois son cada vez más numerosas. Un efecto de moda se produce al elegir un sitio común para instalarse en los Estados Unidos.

Parece como si existiera una relación que empuja a la mayor parte de los habitantes de estos cuatro poblados de la Sierra Madre Occidental a elegir Illinois y más precisamente la ciudad de Chicago. El reencuentro familiar es un dato muy importante en la elección del sitio de emigración de los mexicanos de la Sierra Madre Occidental. Si los individuos se van todos juntos se encuentran generalmente en un lugar preciso. Además los familiares son numerosos (el número de primos y primas en un mismo poblado es muy alto), muchos de ellos se reencuentran finalmente en la misma ciudad incluso en un mismo barrio. En 1990 la población total de emigrados mexicanos representaba alrededor de 13.2 por ciento de la población total de la aglomeración de Chicago.

Una migración particular: mantenimiento de los lazos afectivos, culturales y económicos

Como se dijo antes, los habitantes emigran de sus poblados mientras que el número de vacas disminuye muy poco debido ciertamente a los últimos períodos de sequía. El emigrante mantiene así los lazos con su tierra. Por otro lado, las bodas son la oportunidad para volver al pueblo. No es raro observar que las jóvenes parejas de recién casados emigren a los Estados Unidos pocos días después de contraer matrimonio. Para la mayoría de las jóvenes solteras, dejar México de manera individual y a solas no es respetable ni deseable. Por el contrario, cuando toda la familia decide emigrar, ya sean mujeres u hombres, los hijos siguen a sus padres quienes nunca los dejan solos en México.

Una región nueva que se vacía

Hasta el siglo XIX, esta región de México estaba habitada por indígenas Tarahumaras y Tepehuanos que vivían en pequeños poblados diseminados en la Sierra Madre Occidental. Al final de ese siglo, las poblaciones extranjeras de ganaderos vinieron a colonizar las tierras. Esos ganaderos practicaron luego una ganadería extensiva en inmensas propiedades privadas. Los grandes propietarios tenían una lógica de explotación particular que consistía en explotar la tierra sin buscar la permanencia del modo de explotación. La primer Reforma Agraria de 1936, impulsada por el presidente Lázaro Cárdenas cambió esta lógica. Las comunidades de campesinos, antes bajo la tutela de los grandes propietarios reivindicaron su derecho a la tierra. Es el nacimiento del ejido. El principio de esta nueva forma de aprovechamiento de la tierra consistió en atribuir las tierras colectivas a un grupo de agricultores que se comprometieron a valorarlas y a respetar ciertas reglas establecidas por la comunidad para evitar su desmantelamiento (Musset, 1990).

Esta región de México recientemente poblada se queda hoy en día precozmente desierta al mismo tiempo en que se desmantelan sus ejidos.

¿Que futuro para la Sierra?

Las ruinas de varias casas diseminadas en los poblados son testimonios de la ocupación antigua. Pronto, las casas abandonadas serán tan numerosas como las habitadas (Figuras 2.7 y 2.8). La salida de familias enteras y el abandono de las tierras no dejan presagiar el retorno al poblado. Las tierras cultivables dejadas en barbecho plantean el problema del abandono del medio físico. La combinación de esta situación con la Reforma

Agraria, provoca un cambio radical para su administración. Los ejidos están por desaparecer, disueltos por la privatización de las tierras y así cada propietario cultivará su parcela independientemente de los otros. Actualmente las personas tienen derecho de elegir entre comprar o vender las tierras, o bien quedarse en el sistema ejidal. Pero en este último caso (muy poco representado en el norte de México), si los ejidatarios se ausentan de sus tierras entonces pierden su derecho al cultivo de tierras ejidales. Por consecuencia, las personas emigradas que deseen volver a su poblado deberán invertir comprando tierras para poder trabajarlas. Eso representa un desembolso importante. Además, las tierras no cultivadas durante varios años sufren cambios por lo que requieren mayor inversión de insumos para cultivarlas de nuevo. Todos esos aspectos no favorecen verdaderamente el regreso de emigrantes.

La poca gente que se queda puede vivir decentemente porque agrupan superficies de tierra suficientes para hacer frente al mercado económico norteamericano; también reconstruyen las grandes propiedades contra las que pelearon las generaciones de sus padres o abuelos durante los años 1950 y 1960.

Los flujos de capital que provienen de los Estados Unidos se aprecian en el paisaje, y hacen que el nivel de vida sea netamente superior al promedio en las zonas rurales de México, sobre todo para una zona de montaña con fuerte proporción de población "indígena"; según Habel (1999), "*millones de mexicanos envían cada año cerca de 5,500 millones de dólares a México para atenuar su ausencia a los familiares que se quedaron*". Los emigrados de la Sierra Madre Occidental (sobre todo los de la segunda generación) parecen estar más cómodos en la sociedad americana que los "*chicanos cuya comunidad busca sus raíces y lucha por definir su identidad, formada a partir de su origen mexicano y de los procesos de adaptación y de asimilación de la cultura americana*" que evocan Castillo y Bustamante (1989). Esto puede ser por la relativa proximidad del poblado con respecto a la frontera, su vida no parece ser la "*prisión de oro*" de la que habla Durand (1996) para describir las condiciones de vida. Pero es verdad que muchos, por orgullo, no dirán en su poblado lo duro que es la vida al "*otro lado*".

El futuro de estos cuatro poblados es pues incierto en relación a la cantidad de personas que los habitan. Solo un cambio socio-económico y la oferta de empleos correctamente remunerados podrían hacer que se quedaran los que han de irse. Pero entonces los salarios tendrían que alinearse a los de los Estados Unidos. Esta posibilidad se ve aun lejana por lo que la emigración se impone actualmente.

Comparación del proceso migratorio en Europa con el proceso migratorio en los Estados Unidos

La presencia de una frontera terrestre entre un país del norte (el más poderoso del mundo) y un país del sur, es un caso único. Pero Europa, a pesar de la presencia del mar Mediterráneo tuvo y tiene todavía una corriente migratoria importante proveniente del sur, principalmente de los países de África del Norte, de acuerdo a los tres países más grandes del sur de Europa (Francia, Italia y España). Esas dos migraciones (en América y en Europa) se pueden comparar por la antigüedad del fenómeno migratorio, y por el hecho de que las dos tienen la influencia de factores económicos o sociales.

Principales diferencias

A parte de las consideraciones culturales (casi toda América es cristiana, con algunos ritos prehispánicos que sobreviven de manera muy intensa en México y en los países andinos; en oposición a la gran mayoría de emigrantes africanos en Europa que son musulmanes o animistas), dos puntos esenciales hacen diferir las migraciones hacia Europa y hacia los Estados Unidos.

La frontera obstáculo físico

La presencia de un mar hace delicadas las condiciones de paso, y forzosamente más para el ilegal; pero los obstáculos físicos puestos por las autoridades de migración americanas para impedir la entrada de clandestinos atenúan grandemente esta diferencia. Es cada vez más peligroso pasar la frontera México - Estados Unidos que el mar Mediterráneo. Si se estima que más de mil personas desaparecen cada año en el estrecho de Gibraltar, contra oficialmente más de 400 personas que mueren cada año al querer pasar la frontera sur de los Estados Unidos; las principales causas de estas muertes se deben a los abusos cometidos por la policía norteamericana o por el simple abandono de los emigrantes en el desierto Chihuahuense (el caso de un granjero de Nuevo México que organizaba "cacerías de emigrantes" por las noches con la ayuda de lámparas es único oficialmente).

El estatus del emigrante

En la frontera norte de América latina, la mayoría de los emigrantes son mexicanos voluntarios para el exilio, solo durante algún tiempo, los refugiados del Salvador y Guatemala, países sometidos a guerras civiles atroces durante los años 1980 y 1990, han podido emigrar por razones políticas o simplemente por salvar su vida y la de sus familias.

En el sur de Europa, a los emigrantes “económicos” de África del Norte se suman 5.4 millones de emigrantes de la región de África subsahariana que desde hace una década tenían el status oficial de refugiados, y de los cuales algunos llegaron a las ciudades costeras de África del Norte (por Níger, Argelia, Libia, el litoral del ex Sahara occidental o por las Canarias); además otras personas fueron desplazadas en circunstancias parecidas a las de los refugiados pero sin tener oficialmente el status de refugiados (Foot *et al.*, 1996).

Principales similitudes

La distancia

La proximidad de las fronteras implica idas y vueltas frecuentes en el transcurso del año. Eso permite ir a trabajar durante un periodo de algunos meses y volver a su país, a las personas solas o a las familias, cuando tienen un estatus regularizado legalmente. Pero en todos los casos, actualmente el tiempo necesario para una regularización de status conduce a una larga espera de los emigrantes lo cual les permite adaptarse a la cultura americana.

La transición demográfica

Las dos zonas (el Magreb, principal punto de partida de los emigrantes de Europa del Sur, y la mexicana) que están en plena transición demográfica con una tasa de crecimiento natural todavía elevada, presentan una evolución demográfica similar. La población Magrebina se multiplicó por 5.2 en el transcurso del último siglo. En 1900 eran 12.3 millones, en 1950 eran 23 millones y en 1990 se censaron 65 millones de magrebinos (Gamblin, 1995).

Por su parte, México es el principal punto de partida de los países del Sur por su importante potencial demográfico. En 1993 la población mexicana en los Estados Unidos representaba aproximadamente el diez por ciento (Simon, 1983). Actualmente es más del 13 por ciento.

Por otra parte, se puede comparar también, en términos regionales; la región Magrebina y la de México que son las grandes proveedoras de emigrantes cuyo dinero es un maná, desde hace varias décadas. Las regiones del África subsahariana y de América Latina son las regiones más desfavorecidas de donde proviene la mayor parte de los emigrantes y clandestinos.

La cantidad de emigrantes

La cantidad de emigrantes fue similar hasta el final de los años 1970. Los dos flujos migratorios movilizaban millones de personas de estas regiones (Cuadro 2.3 para la región Magrebina). Actualmente, el flujo es más importante entre México y Estados Unidos. Además, los flujos no cesan de crecer. La situación es más estable para la región Magrebina y Europa.

Cuadro 2.3. Evolución de la población magrebina en el extranjero.

Años	Marroquies	Argelinos	Tunecinos	Magrebinos
1970	200 000	600 000	100 000	900 000
1974	450 000	850 000	280 000	1 580 000
1981	850 000	900 000	350 000	2 100 000

Estas cifras ya son antiguas pero no han cambiado mucho desde entonces, porque el flujo se hizo más lento (por las políticas restrictivas europeas y de cada país) además porque cada vez más emigrantes piden la nacionalidad del país que los acoge. Esto dificulta la comparación con los Estados Unidos donde es más fácil convertirse en residente, pero más difícil de obtener la nacionalidad americana. Por otra parte, una dificultad aparece ligada al hecho de que en Francia como en otros países, los censos no permiten conocer el origen y/o la religión de las personas a partir del momento en que son franceses. Francia es el país de Europa que recibe más emigrantes africanos ya que cuenta con 55 por ciento de los 3 millones de emigrados africanos en Europa (Robin, 1997). En efecto, en vista de que se estima que hay más de 5 millones de musulmanes en Francia, se puede deducir que la mayoría de los inmigrados provenientes de África han adquirido ya la nacionalidad francesa. Por otro lado, una similitud persiste entre los dos lados del Atlántico; esta es la dificultad de estimar el número de clandestinos, por definición, son varios millones en cada conjunto (para Francia solamente, las estimaciones varían entre 0.5 a más de un millón de habitantes).

Crisis económicas y migraciones internacionales

Los problemas que tienen que ver con la calidad de vida han sido determinantes esenciales para la emigración de las poblaciones (el Cuadro 2.4 muestra los datos de la región subsahariana, cuya situación no ha mejorado desde 1985 sino por el contrario ha empeorado). Como lo escribe Amin (1995): *"It is obvious that migrants are rational beings who*

move towards those regions where there is a chance of earning better money' -Es evidente que los emigrantes son seres racionales que van hacia las regiones donde existe una oportunidad mejor de ganar su vida-. La migración del trabajo ya sea regional o internacional, responde a desigualdades de repartición de salarios entre los dos países o regiones (Tapinos, 1993; Massey, 1993; Stalker, 1995). En efecto, la principal causa de la emigración de nuestras regiones de estudio es la búsqueda de un trabajo. Esto es un elemento clave que condiciona la emigración de los mexicanos y la de los magrebinos.

La población de nuestra zona de estudio, así como la de una parte de los magrebinos, emigró de un medio rural hacia una gran ciudad americana o europea. El medio rural no facilita las cosas para realizar otra actividad profesional que no sea la de la tierra; es más fácil encontrar trabajo en una gran ciudad. Además, esta dificultad combinada a otros problemas para satisfacer sus necesidades, son factores que han empujado a las poblaciones a optar por la emigración internacional.

Cuadro 2.4 Algunos indicadores globales de la pobreza en el medio rural africano en 1985.

Indicadores	Conjunto de países en desarrollo	Africa
Parte de la población rural abajo de límite de pobreza (1985)	37 %	65 %
Aporte diario de calorías necesarias (1989)	109 %	92 %

Fuente : Inard Lombard, 2000

* A parte de Mauricio, las Seychelles, Djibouti, Cabo verde y Sao Tomé.

Duración de la emigración

La emigración internacional de África del Norte (y cada vez más la de África subsahariana) es en su mayoría una emigración por el trabajo, considerada como temporal aunque cada vez perdura más. La idea inicial del emigrante es ir a otro país para trabajar y luego volver a su país natal. Pero a fin de cuentas lo que realiza llega a ser muy diferente de lo que planea ya que los emigrantes frecuentemente se quedan más tiempo en el país que los acoge. Así, la duración del periodo de emigración se alarga (Russel *et al.*, 1990; Russel, 1993). Esto se parece mucho a lo que pasa en la mayoría de los casos del otro lado del Atlántico.

Evolución del tipo de emigrantes

Al principio, la migración implicaba sobre todo a hombres de 15 a 34 años que ocupaban puestos mal remunerados. En la región magrebina se ha observado, desde hace ya varios años, un aumento de la migración femenina con el propósito de reunirse con su familia (Russel *et al.*, 1990; Russel, 1993). Tal evolución ha sido también mencionada anteriormente, en la emigración de los mexicanos y de los Latinoamericanos a los Estados Unidos.

Síntesis

Existen muchas similitudes entre la emigración de los africanos (en particular los magrebinos) hacia Europa y la migración de los mexicanos hacia los Estados Unidos. Esas dos migraciones son ampliamente motivadas por la insatisfacción del nivel de vida y por la búsqueda de un trabajo que permita mejorar a sus condiciones de vida.

La evolución tiende hacia una emigración de mayor duración y, cada vez más, hacia una migración definitiva. Las personas emigran para satisfacer las necesidades familiares y conservan siempre fuertes los lazos con sus familias que se quedaron en el poblado natal. La importancia de la reunificación familiar es un hecho que empuja a las mujeres (y a sus hijos) a reunirse con sus maridos y padres en el país al que emigran.

Además, la diferencia de salarios entre los países de partida y los países de recepción de emigrantes es siempre muy elevada. Eso permite a los emigrantes enviar su dinero ahorrado a los familiares que se quedaron en el pueblo natal y con ello hacer vivir al poblado. En 1991, casi el 5 por ciento de los magrebinos residían fuera de su territorio de origen y alimentaban un flujo de divisas estimado en más de dos mil millones de dólares (Simon, 1983). Desde entonces, y con los emigrantes de África subsahariana, esta cifra se acerca a los 5,500 millones de dólares que aportan a su país los emigrados mexicanos en los Estados Unidos.

En los dos casos, se pasa de una emigración temporal a una instalación definitiva, y en los dos casos, los emigrantes aportan nuevos elementos culturales, al mismo tiempo que adoptan los rasgos culturales de los países del norte donde se instalaron. En los dos casos, una emigración económica por trabajo, se transforma en un aporte indispensable para la vida económica social y cultural del país del norte.

Conclusión

Del otro lado de la frontera, la vida de los emigrados mexicanos esta muy lejos del "sueño americano". Para la mayor parte de ellos, después de haber atravesado la frontera de manera ilegal, trabajan en las fábricas y viven entre mexicanos de la misma familia y del mismo poblado. Su integración en la vida americana es baja en la primera generación; algunos resienten eso como una verdadera injusticia. Por el contrario, cuando regularizan su situación, los emigrados se integran rápidamente a los habitantes de los Estados Unidos.

En el sitio de origen, el abandono de la Reforma Agraria y la salida de las tres cuartas partes de los habitantes han transformado a los poblados donde ahora las condiciones de vida se mejoran notablemente, pero para un número mucho más reducido de habitantes. El abandono rural se manifiesta por un sobrepastoreo generalizado, debido a que el número de vacas no ha disminuido, por el contrario, se redujo el número de vaqueros que podía repartir el ganado en el espacio para aprovechar mejor los forrajes; así, el pisoteo originó daños en los alrededores de los poblados y de las fuentes de agua.

Bibliografía citada

- Arroyo, A. y J. Papail. 1996. Migración mexicana a Estados-Unidos y desarrollo regional en Jalisco. Universidad de Guadalajara - Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas, 163 p.
- Bollery, A. 1999. Comportement hydrodynamique de deux versants dans La Sierra Madre Occidentale. Mémoire Maîtrise, (géographie). Université Joseph Fourier, Institut de Géographie Alpine. Grenoble, 139 p.
- Castillo, P. et A. Bustamante. 1989. México en Los Ángeles. Conacult, coll. Las colecciones noventa, Alianza, México.
- Combesque, M.A. 1999. Comme des papillons vers la lumière. (Zones franches et rideaux de fer), cité dans *Le Monde Diplomatique*, p. 16-17.
- Dufeu, R. 1998. Les paramètres du ruissellement et de l'érosion impact du surpâturage dans la Sierra Madre Occidentale. Mémoire de fin d'étude, ISTOM, Cergy Pontoise, 73 p.
- Durand, J. 1996. Migrations mexicaines aux Etats Unis. CNRS-Editions, Paris, 214 p.
- Foot, K. et H. Kenneth. 1996. Changements démographiques en Afrique Subsaharienne. Paris, Travaux et Documents, INED, PUF diffusion, 371 p.
- Gamblin, A. 1995. Maghreb Moyen-Orient mutations. Dossiers des images économiques du Monde. Paris : SFDS. 1995. - 348 p.

- Habel, J. 1999. Entre le Mexique et les Etats-Unis, plus qu'une frontière (Zones franches et rideaux de fer). *Le Monde Diplomatique*, décembre 1999, p 16-17.
- Inard Lombard, B. 2000. Les causes et conséquences de l'émigration de la population de quatre communautés rurales de la Sierra Madre Occidentale (Nord Mexique). Mémoire de maîtrise de géographie, Université Joseph Fourier, Grenoble, 118 p.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 2001. Anuario estadístico del Estado de Durango. INEGI - Gobierno del Estado de Durango. Aguascalientes, México.
- Massey, D. 1993. Theories of international migration: a review and appraisal. - *Population and Development Review*, vol. 19, n°3 , p.431- 466.
- Musset, 1990. *Le Mexique*. Masson, collection géographie, 255 p.
- Robin, N. 1997. Atlas des migrations ouest-africaines vers l'Europe, 1985-1993. Editions de l'Orstom (IRD), Paris, 109 p.
- Russel, S., K. Jacobsen, et al. 1990. International migration and development in Sub-Saharan Africa. *World Bank Discussion Papers Vol. 2, No. 101 and 102* Washington USA.
- Russel, S. 1993. International migration. Washington National Research Council. National Academy Press 379pp Washington USA
- Simon, G. 1983. Les transferts de revenus des travailleurs maghrébins vers leur pays d'origine : Essai d'évaluation. (Communication Table ronde. Transferts de revenus et projets immobiliers de travailleurs migrants dans les pays en voie de développement). - CIEM, 20 p.
- Stalker, P. 1995. Les travailleurs immigrés : une étude des migrations internationales de main-d'œuvre. - Genève, BIT, 346 p.
- Tapinos, G. 1993. Les populations au-delà de leurs frontières ; Paris, INED/PUF, 314p.

Capítulo 3

Un vistazo al pasado prehispánico de la Sierra Madre Occidental de Durango: el proyecto Hervideros

Marie-Areti Hers y Oscar J. Polaco

Introducción

En 1992, la Universidad Nacional Autónoma de México comenzaba el proyecto Hervideros con el objetivo de estudiar la historia antigua de una región de los confines septentrionales de Mesoamérica: la porción norte de la Sierra Madre Occidental del estado de Durango.

Se recordará para empezar que el área dicha “Mesoamérica” corresponde al conjunto cultural y lingüístico que comprende el sur de México y el noroeste de América central; (reagrupa las grandes civilizaciones como la de los Toltecas, Olmecas, Mayas Totonacas, Aztecas, etc.); y que tuvo fuertes fluctuaciones en su frontera septentrional.

Durante el primer milenio de nuestra era, a partir del siglo IX, alcanza su extensión máxima después de diversos movimientos de contracción y expansión. Con la llegada de los españoles, su frontera se encontraba a cientos de kilómetros más al sur, a lo largo de los ríos Lerma - Santiago y Moctezuma - Panuco. Más allá de este límite, el inmenso territorio estaba ocupado por pueblos nómadas llamados genéricamente Chichimecas. De la antigua Mesoamérica septentrional no quedaba más que la parte que corresponde a la Sierra Madre Occidental y la costa del Pacífico.

Así, a lo largo de esta historia con muchos movimientos, la Sierra Madre Occidental jugó un papel de intermediaria para el avance de los pueblos hacia el norte, el avance del modo de vida mesoamericano y para el establecimiento de lazos con los lejanos territorios del suroeste de los Estados Unidos de Norteamérica (que serán llamados aquí como el “*South West*” para evitar confusiones).

Región fronteriza

Para comprender la dinámica de una frontera tan fluctuante en el tiempo y en el espacio, es indispensable cubrir una región muy vasta que de testimonios a la vez del la gran variedad del medio físico natural que ofrece la cordillera, y de la diversidad de los pueblos y culturas que se pusieron en contacto en esta zona fronteriza. Por eso, el proyecto se dividió en una decena de subproyectos cuyas áreas de investigación respectivas fueron distribuidas en una superficie de doscientos kilómetros de norte a sur y de este a oeste, y que comprende tanto los valles del flanco oriental, como las altas tierras frías de la parte central de la sierra y las profundas quebradas (cañones) de la vertiente oeste.

En la Sierra Madre Occidental, la presencia mesoamericana no se tradujo como en otras partes, mediante grandes poblados con pirámides y palacios suntuosos. Sin embargo, se reconoce por sus características esenciales como: una economía basada en el maíz, una organización social propicia a la importante ocupación del territorio, a base de terrazas, una red comercial compleja y densa abarcando grandes distancias, un “bagaje” tecnológico particular en lo que respecta a la industria de la piedra y la cerámica, un conjunto de creencias religiosas, de prácticas rituales y de símbolos que se reconocen más allá de lo que fue probablemente una gran diversidad étnica y lingüística.

En su avance hacia el norte, esos mesoamericanos de frontera entraron en contacto con pueblos muy diferentes. Al este, en particular en la cuenca del río Nazas aguas abajo de la confluencia de los ríos Ramos y Santa María del Oro y justo al este de la Laguna de Santiaguillo, las tierras eran muy áridas e inhóspitas para los agricultores mesoamericanos, pero no para los pueblos nómadas cazadores-recolectores cuyo estudio ha sido hasta hoy muy incipiente (Figura 3.1).

Al oeste, la arqueología de la planicie costera de Sinaloa es aún poco conocida. En ella se han detectado fuertes fluctuaciones de la frontera cultural mesoamericana, pero se ignora prácticamente todo sobre los ocupantes no mesoamericanos. Durante más de un milenio, el límite aparente del territorio fue la cuenca del río Piaxtla en la porción sur del estado. Después, entre el siglo X y XII, a la inversa de lo que pasó en la planicie central, tuvo lugar una formidable expansión, en más de trescientos kilómetros, hasta el río Fuerte

en el límite actual de los estados de Sinaloa y Sonora. Finalmente, algún tiempo antes de la llegada de los españoles en 1530, se constata una contracción hacia el sur en casi doscientos kilómetros, hasta la cuenca del río Culiacán. Ahí las tropas del conquistador Nuño de Guzmán llegan a la antigua Culiacán ciudad comercial próspera y último bastión mesoamericano en el largo camino que va a las lejanas tierras de Cibola (Zuñi, en el actual estado de Nuevo México) (Figura 3.1).

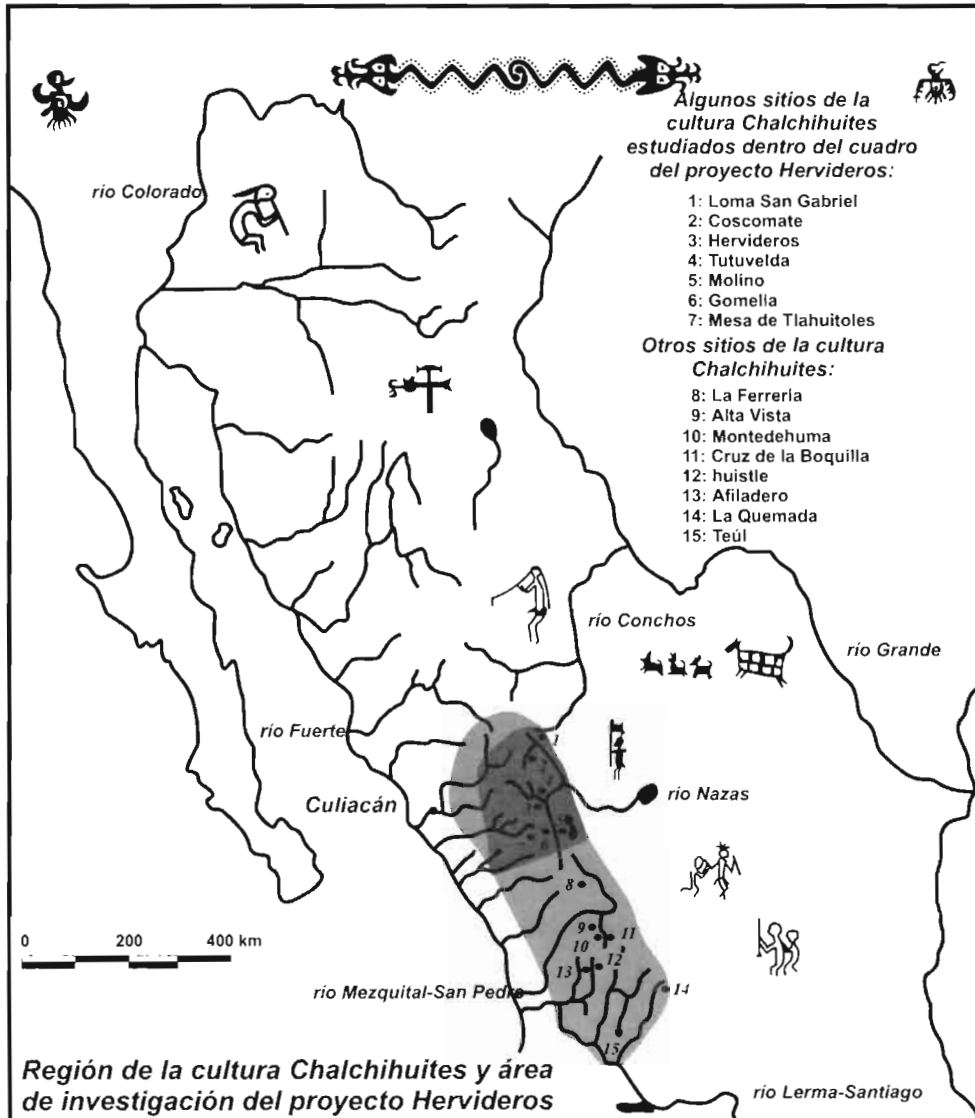


Figura 3.1. Proyecto Hervideros en el contexto general de la Mesoamérica y del suroeste de los Estados Unidos.

Al norte, más allá del Durango colonizado por pueblos mesoamericanos, hay que atravesar el vasto estado actual de Chihuahua, aún poco estudiado, antes de alcanzar el territorio de los pueblos de la cultura Hohokam y Pueblo ancestral del South West con los cuales establecieron fuertes relaciones los mesoamericanos septentrionales de cultura Chalchihuites. Es muy probable que esos lazos se hayan establecido por los senderos a todo lo largo de la Sierra Madre Occidental considerada precisamente como la vía natural más favorable (Figuras 3.1 y 3.2). En la cuenca alta del río Florido, en el límite actual entre Durango y Chihuahua, cerca del poblado de Villa Ocampo, se encuentra el sitio de Loma San Gabriel, establecimiento mesoamericano de cultura Chalchihuites más septentrional reconocido hasta el momento. A partir de allí, se abren dos caminos posibles para llegar al suroeste. Al norte, el flanco oriental de la Sierra Madre Occidental y al noreste la amplia cuenca del río Conchos de la cual forma parte el Florido que atraviesa las tierras áridas de Chihuahua para unirse a uno de los ejes principales del área cultural del South West, el río Grande o Bravo (Figura 3.1).

Además de los caminos naturales que pusieron en contacto a los confines mesoamericanos de Durango con los ancestros de los indios Pueblos, el norte y en particular la cuenca del río Fuerte, significó también el camino de entrada de los Tepehuanos originarios de las tierras áridas de Sonora, a la Sierra de Durango.

Un proyecto interdisciplinario

Para comprender que la Sierra Madre Occidental es un agente activo en la historia, fue necesaria la perspectiva interdisciplinaria ya que esta Sierra presenta desafíos para la ocupación humana y ofrece numerosas oportunidades por su extremada variedad de recursos. Así, las investigaciones se desarrollaron paralelamente en arqueología, historia del arte y en estudios paleoambientales; y es de esa manera en que se presentarán aquí los principales resultados obtenidos.

Periodo antiguo poco conocido

El estudio de los ocupantes anteriores a la presencia Mesoamericana es difícil porque sus vestigios, en superficie, se resumen a concentraciones de materiales de piedra. Los estudios todavía en curso, comprenden algunos de esos sitios y una serie de conjuntos de pinturas rupestres (Forcayo y Aparicio, 2000; Hers, 2001). De una manera muy preliminar se puede atribuir un papel importante a nivel macro regional a los antiguos ocupantes de la Sierra. Es por su intermediación que se debió transmitir la tradición agrícola mesoamericana hasta el suroeste de los Estados Unidos durante el primer milenio antes de nuestra era; y en

efecto, las antiguas manifestaciones de arte rupestre testifican los contactos con el South West. Se trata de un arte esencialmente abstracto, caracterizado por largas bandas horizontales cortadas por elementos verticales donde se intercalan los motivos astrales, puntas de proyectiles o algunos animales. La superposición de motivos Chalchihuites en algunas de esas pinturas rupestres testifican su antigüedad.

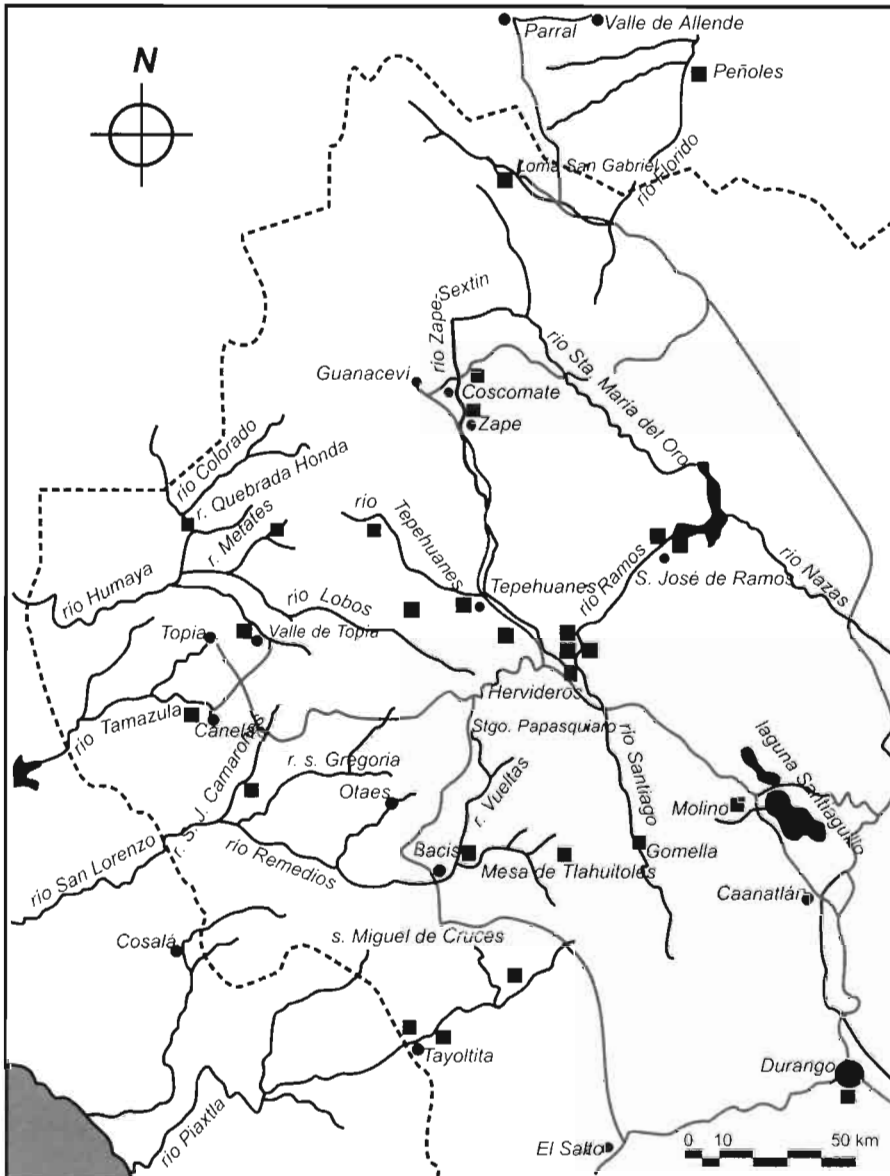


Figura 3.2. Área del proyecto Heriveros en el noroeste de Durango.

Son esos pueblos que de una cierta manera frenaron, durante la primera mitad de nuestra era, el avance mesoamericano a lo largo de la Sierra Madre Occidental. En efecto, en la porción meridional de la cordillera (estados de Zacatecas y Jalisco) y desde el inicio de la era, había florecido una cultura originaria del sur y completamente mesoamericana, llamada Chalchihuites. Durante casi medio milenio aproximadamente, el río Mezquital-San Pedro único que atraviesa la cordillera, jugó el papel de frontera con una naturaleza y dinámica aún desconocida. En la cuenca alta de este río, se extiende un inmenso campo de lava, llamado La Breña en la confluencia de los afluentes que provienen del norte y del sur.

La colonización mesoamericana de la cultura Chalchihuites

Los afluentes del sur irrigaban una parte importante del territorio Chalchihuites colonizado desde el inicio de la era y cuyos vestigios se encontraron por ejemplo en los sitios de Cruz de la Boquilla, cerca de Sombrerete, en el Cerro Montedehuma cerca de Gualterio o en Alta Vista cerca de la pequeña ciudad de Chalchihuites (Figura 3.1). Al contrario, los afluentes que provienen del norte y del noroeste atravesaban las tierras por el pie-demente oriental de la cordillera donde no hay ningún rastro de la población Mesoamericana anterior al año 600 de nuestra era. Es difícil saber que papel jugó La Breña en el transcurso de este largo período durante el cual los colonizadores frenaron su avance a lo largo del flanco oriental de la Sierra Madre. Todavía hacia el año 600 de nuestra era, la Sierra de Durango tuvo cambios considerables. Los colonizadores Chalchihuites penetraron en La Breña y dejaron una marca indiscutible de su presencia. Gravarón en el suelo de lava, los círculos dobles parecidos a los que se consideran como marcas astronómicas características de la gran ciudad de Teotihuacan. Desde entonces se puede considerar que la expansión Chalchihuites en Durango esta ligada de cierta manera a la gran diáspora cultural que se dio después del final trágico de esa gran metrópoli a fines del siglo VI y que se encuentra en las más diversas regiones de Mesoamérica. De cierta manera, por su carácter de marcadores espacio-temporales a la altura del trópico de Cáncer, esos gravados en el suelo de la Breña encierran el significado simbólico que revestía para los mesoamericanos probablemente los horizontes ilimitados del septentrión. Desafortunadamente, estamos todavía lejos de poder descifrarlos.

Se ignora todavía el tipo de motivos que empujaron a esos pueblos del sur para ocupar todo el noroeste de Durango, con sus valles a lo largo del flanco oriental de la Sierra Madre, sus tierras altas y frías, cubiertas de pinos y sus quebradas extremadamente escarpadas que se suceden en la vertiente oeste, dominando la planicie costera. Por otro lado, el carácter de intrusión colonial es testificado por el carácter abrupto de esta presencia Mesoamericana, sin antecedentes locales. Al contrario, el origen meridional de los nuevos ocupantes esta solidamente documentado por las similitudes evidentes que se constatan en todos los campos como, por ejemplo, la estructura del hábitat, la arquitectura, la industria de la piedra, o la cerámica.

Por la abundancia de vestigios de todos tipos y por la fuerte ocupación del territorio natural que les caracteriza, esos pueblos Chalchihuites originarios del sur son los más fáciles de estudiar. En efecto, a pesar de la ausencia de una arquitectura monumental característica de la Mesoamérica nuclear, los vestigios son abundantes y fácilmente detectados. Las terrazas de hábitat que se sucedían en los flancos y crestas de las elevaciones para aumentar la seguridad de los sitios de hábitat y las plataformas que sostenían cada una de las construcciones están, en general, bien conservadas. Así, se han protegido eficazmente los sitios de la erosión; los edificios en piedra de diversos tipos todavía están visibles en la superficie. Esta circunstancia ofrece la posibilidad de realizar mapas precisos relativamente completos de los establecimientos. Mediante esos planos se dispone de cierta forma de ventanas abiertas al conocimiento de la organización social de las poblaciones, incluso antes de iniciar las excavaciones. Además, las laderas de esas terrazas y de esas plataformas descubren vestigios de todo género (herramientas de piedra y restos de cerámica, pero también materiales resistentes como osamentas fragmentos de muros o suelos en tierra cruda, restos vegetales). Finalmente, la costumbre mesoamericana de enterrar los muertos bajo el suelo de la casa y de quedar así en estrecha relación con los ancestros, permite localizar fácilmente las inhumaciones y la rica documentación que les acompaña.

Se sabe que los colonizadores Mesoamericanos provenían del territorio Chalchihuites al sur. La manera en que los sitios se ubican en el paisaje permite reconocer los caminos que siguieron para ocupar el vasto territorio. La parte de la Sierra más favorable parece ser la de los valles del lado oriental donde los establecimientos se suceden a lo largo de los arroyos. Sin embargo, esos agricultores se adaptaron también a las tierras frías de altura y desde el inicio comenzaron a instalarse en las profundas quebradas.

La amplitud de los sitios varía considerablemente según la calidad de las tierras disponibles y los recursos que el lugar ofrecía para asegurar un sistema eficaz de defensa. Su extensión oscila entre media y más de treinta hectáreas. En todos los casos, la unidad de base es el patio o espacio abierto plano de forma cuadrangular, rodeado de largas plataformas dispuestas en ángulos rectos, y destinadas a sostener las construcciones. Entre ellas, se estableció difícilmente una jerarquía que permitiera distinguir el templo o la estancia de algún dignatario de una simple casa. En general, la fachada esta provista de una banqueta estrecha que servía de base a una puerta trasera a la cual se alineaban de dos a cuatro piezas contiguas. Generalmente en el centro del patio se levantaba un pequeño altar cuadrangular sostenido por una plataforma poco elevada. Cualquiera que fuera la extensión del sitio se formaba de una aglomeración de patios cerrados lo que parecía tener correspondencia con la unidad parental que estructuraba la organización social muy igualitaria en el plano económico pero, como lo sugiere el arte rupestre, muy complejo en el plano religioso y/o político.

Algunos tipos de construcción tienen un carácter público y ceremonial bien marcado. Se trata por ejemplo del juego de pelota que en los confines de la Mesoamérica tenía una forma particularmente simple. Se trata de dos plataformas paralelas, bajas y estrechas que enmarcan un área de juego muy modesta, en promedio de 4 a 5 metros de largo por una docena de ancho. Esas dimensiones modestas revelan que los equipos deberían sin duda reducirse al mínimo, probablemente solamente a dos jugadores de cada lado; y es así que se encuentra representada una parte del juego de pelota sobre un sitio de grabados rupestres Chalchihuites a cientos de kilómetros más al sur, en el alto río Chapalagana. Esos juegos de pelota se encuentran en algunos sitios grandes pero también en los pequeños caseríos. Testifican la presencia de una actividad deportiva en los confines y a la vez un rito religioso que guardó toda su importancia a la llegada de los conquistadores españoles, como lo reportan los testimonios de los misioneros jesuitas que estuvieron con los indígenas Xiximes y Acaxes. La práctica del juego de pelota que tiene profundas raíces en Mesoamérica nuclear, se extendió hasta el suroeste de los Estados Unidos con formas arquitectónicas diversas y es considerada como uno de los elementos más elocuentes de las relaciones del suroeste con el área de Mesoamérica, sin duda establecidas por intermediación de los colonizadores Chalchihuites de Durango.

Otro tipo de territorio ceremonial se encuentra en Hervideros, en la confluencia de los ríos Santiago y Tepehuanes y la Chancaca aguas arriba de Hervideros, cerca de San José de Ramos (Figura 3.2). Se trata de construcciones muy simples y muy amplias: un espacio cuadrangular de más de 30 metros de lado, con suelo plano y abierto, rodeado de un simple muro bajo y estrecho; de las cuales se ignora su función precisa pero que parecen ser muy propicias para grandes asambleas.

En otros lados, como en el sitio de la Ferrería, en el valle de la ciudad de Durango y en una serie de sitios de las tierras altas, la cima rocosa de un sitio fue aprovechada para darle la apariencia de una gran pirámide agregándole a sus cuatro lados una sucesión de escalones rectilíneos.

En otros sitios, como en el Molino en la cuenca de la Laguna de Santiaguillo, se reconocen los espacios públicos por la amplitud excepcional de ciertos patios que debieron ser escenarios de ceremonias particularmente importantes (Tsukada, 2000).

En las ceremonias, dos aspectos de su existencia deberían bajo duda reflejar la guerra y los ritmos de las estaciones del maíz. La guerra debía tener cierta importancia en la existencia de esos colonizadores, en la medida en que los sistemas de defensa marcaron claramente la manera en que se instalaron en el paisaje. Esto es visible sobre todo en el lado oriental de la Sierra, es decir el que está expuesto a las posibles incursiones de los grupos nómadas que ocupaban las tierras más próximas al este. Allí donde la sequía constituía una barrera infranqueable para los agricultores Mesoamericanos. Se da mucha

importancia al control visual ya que los establecimientos ocupan las alturas desde donde se dominan amplios panoramas y desde donde se puede establecer contacto visual con una serie de sitios complementarios con el objeto de controlar los movimientos a una gran distancia alrededor. En algunos casos hay muros protectores que vienen a reforzar el dispositivo de defensa. En las altas tierras frías, los colonizadores no parecen tener que protegerse porque los establecimientos no tienen un sistema defensivo mientras que en las Quebradas, algunos establecimientos situados en lugares particularmente escarpados indican una situación tan precaria como en los valles orientales.

El maíz, el ritmo de sus estaciones y los trabajos agrícolas eran muy probablemente la base de toda su vida ceremonial. En los valles orientales, la ubicación de los sitios indica con toda claridad que esos colonizadores seguían sus tradiciones del sur y sus preferencias por las tierras donde se podían practicar los cultivos de temporal y de riego. No se trataba ciertamente de obras de canalización importante; ya que no se ha encontrado ninguna marca de ellas, y la fuerza torrencial de los ríos de montaña las habría borrado con toda seguridad. Se trataba pues de obras de irrigación modestas, que volvían a hacer cada año y que eran destinadas a aportar un suplemento de agua cuando las lluvias no caían; era una mínima garantía de éxito frente a los rigores de la sequía para obtener una cosecha al año.

Ciertamente no existe ninguna prueba directa de esta práctica modesta pero eficaz de riego. Se dispone solamente de indicadores indirectos que provee la estructura del hábitat orientado netamente al uso de tierras de riego y organizado en establecimientos relativamente densos y estables. Así, el panorama es bastante parecido al del hábitat actual y contrasta fuertemente con el de Tepehuanes, que, como se verá, era abiertamente orientado hacia la agricultura de temporal exclusivamente.

Actualmente esas excavaciones al abrigo rocoso del Zape chico que han proveído de la mayor parte de la información sobre el germoplasma de cultivos y de las plantas silvestres utilizadas por los colonizadores mesoamericanos. Además de una gran variedad de frijoles y de cucurbitáceas, el maíz domina la tercia tradicional de la alimentación mesoamericana y esta representado, entre otros, por las variedades llamadas Cristalina de Chihuahua, Harinoso de Ocho, Pima-Papago, Onaveño, Reventador, Chapalote y Toluca Pop. El hecho de que los colonizadores hayan logrado adaptar sus culturas a los rigores del clima de las tierras altas (altitud promedio de 2200 msnm) demuestra la rica tradición agrícola que habían heredado (Barbot y Punzo, 1997; Punzo, 1999; Punzo, 2000).

La mayoría de esos materiales cultivados están en uso todavía en la región y hasta el South West. Hay que precisar sin embargo que como se trata de vestigios que no remontan más allá del siglo VII de nuestra era, no pueden aclarar la larga y compleja historia de los orígenes de la agricultura en el South West donde se dispone de pruebas de prácticas

agrícolas mucho más antiguas. Así pues, todavía esta por investigarse la manera en que fue transmitida la agricultura a partir de Mesoamérica Nuclear desde el primer milenio antes de nuestra era, es decir, mucho antes de que las poblaciones mesoamericanas tomaran los senderos del norte.

Mas allá de las informaciones ligadas a la subsistencia, el arte rupestre ofrece una amplia gama de informaciones sobre el pensamiento de esos pueblos Chalchihuites, sobre su manera de pensar y de simbolizar el paisaje, ratificar sus alianzas, marcar sus caminos. Los conjuntos de gravados y de pinturas son numerosos y determinan un estilo característico que parece haber florecido sobre todo entre los años 600 y 900 de nuestra era. Los sitios están asociados generalmente al agua, a los ríos y a los manantiales de agua caliente. Pueden encontrarse directamente asociados a los sitios de hábitat o entre dos sitios.

El tema dominante es sin duda el de los cuadriláteros verticales a manera de grandes escudos, a veces con un personaje enmascarado ubicado detrás o al lado. Esos escudos parecen ser esencialmente marcadores sociales, referencias a asociaciones cuya naturaleza es difícil precisar: grupos de parentesco, fraternidades guerreras y/o religiosas o unidades territoriales. Esos conjuntos de escudos al parecer servían para ratificar las alianzas entre los grupos que se encontraban en los santuarios regionales pero también para subrayar las diferencias que permitían reconocerlos, ya que prácticamente ninguna decoración de los escudos se repite. Además su disposición da forma a lo que parecen haber sido las jerarquías bien marcadas entre esos grupos, simbolizados por el tamaño de los escudos mientras que sus relaciones están expresadas por superposiciones que las enmarañan y las unen con líneas.

Entre otros numerosos temas de este elocuente arte rupestre Chalchihuites no puede dejarse de citar lo que testimonia sin equívoco las estrechas relaciones que esos pueblos establecieron con el South West. En particular se reconoce a la famosa flautista popularmente o erróneamente llamada Kokopelli, que simboliza por excelencia las culturas del South West, que aparece en el arte rupestre de las mismas épocas y que persiste hasta nuestros días, tanto en los ritos como en las imágenes sagradas de los indios Pueblos y en particular de los Hopis y los Zuñis. Aquí como en el South West, aparecen bajo formas y actitudes muy diversas. Otro motivo también importante es el del personaje femenino peinado con el característico peinado de una "mariposa", es decir dos grandes círculos de cada lado de la cabeza. Esta imagen que aparece igualmente hacia el año 600 de nuestra era en el South West, guarda todavía hasta nuestros días su significado puesto que se trata del peinado de las jóvenes mujeres Hopis.

Esos testimonios del arte rupestre vienen a confirmar que ya se habían establecido las relaciones entre Mesoamérica y el South West (Carot y Hers, 2002), y subrayan esta otra

característica bien Mesoamericana de la población Chalchihuite: el gusto por los intercambios, el gusto por integrar a la vida cotidiana los elementos exóticos, y el arte de establecer intensas redes comerciales a distancias considerables. Ya sea con finas láminas prismáticas de obsidiana provenientes de alguna fuente lejana, del eje Neovolcánico, sonajas de cobre, ornamentos en amazonita, bella piedra verde que proviene sin duda del sur de Chihuahua, conchas y cerámica de la costa del Pacífico, rocas muy diversas para herramientas. A pesar de su relativo aislamiento y dispersión, los campesinos Chalchihuites no se conformaban jamás con los bienes que podían obtener en su sitio.

Es curioso que el camino de la turquesa que fue propuesto para explicar la presencia de esta piedra verde en los sitios Chalchihuites de los estados de Zacatecas y Jalisco en el sur, no fue confirmado por los trabajos hechos en Durango. Su ausencia o gran rareza, en efecto, es sorprendente puesto que se suponía que la turquesa provenía del South West, Ahora bien, mientras que los lazos entre estas regiones fueron confirmados ampliamente, esos intercambios no comprendieron los de la turquesa y queda sin respuesta la pregunta de saber de donde proviene la abundante turquesa reunida por los pueblos Chalchihuites del sur con los que los de Durango estaban estrechamente emparentados, al menos en su origen.

Las tres etapas de la presencia Chalchihuites

Se reconocen tres grandes etapas durante la ocupación Mesoamericana de esos confines. Entre los siglos VII y X, los colonizadores se instalan en todo el territorio de la Sierra y hasta el origen del río Florido en la cuenca alta del río Conchos si no es que más al norte todavía. Es la época de apogeo en que se establece un puente de relaciones estrechas con los pueblos del South West como lo testimonia el arte rupestre.

Durante el siglo IX o X, los colonizadores de Durango resintieron los efectos de un fenómeno todavía mal explicado: el abandono de la mayoría de los establecimientos Chalchihuites de Zacatecas y Jalisco y la ocupación de los sitios por gentes del norte culturalmente muy diferentes como lo fueron los Zacatecanos más ligados a la cacería y a la recolección que a la agricultura y a la vida sedentaria. El territorio de Durango, continuó siendo ocupado por los Chalchihuites transformándose en un enclave Mesoamericano relativamente aislado.

Entre los siglos X y XIII, se constata una aparente baja demográfica en los valles orientales. Los sitios más grandes son abandonados total o parcialmente. Por otro lado, el enclave de Durango recibe el impacto de la expansión mesoamericana en la costa de Sinaloa (que corresponde a lo que se llama Complejo Aztlán). Aparentemente es la época de la ocupación más densa de las Quebradas y de la construcción de sitios monumentales espectaculares. Los contactos con el South West toman otro aspecto. En la sierra de

Durango se les reconoce, por ejemplo, por la presencia de numerosas construcciones en los abrigos bajo rocas, similares a los famosos *cliff dwellings* del South West y por la llegada en otro sentido de las campanas de cobre Mesoamericanas.

En el siglo XIII, otra emigración transforma radicalmente el panorama. Un pueblo originario de Sonora penetra a lo largo de los valles orientales, probablemente a través del río Fuerte, aparentemente ya abandonados por los antiguos habitantes Chalchihuites. En contraste, en las tierras altas y las quebradas del oeste, no se constata una continuidad que permita reconocer a los pueblos Xiximes y Acaxes, descritos por los españoles, como los herederos de los antiguos colonizadores de la cultura Chalchihuites del siglo VII. En esta época las grandes ciudades tahues de la costa de Sinaloa dominan las relaciones con Mesoamérica en el sur y con el South West al norte, en particular la antigua Culiacán que prospera como un Tombuctú en el camino costero que toma las primeras expediciones españolas hacia las tierras míticas de Cibola.

Los Tepehuanos, pueblo originario del norte

Los trabajos recientes en Durango demostraron que ya no se sostiene la hipótesis de que una cultura local, llamada Loma San Gabriel (Figura 3.1) anterior a la de Chalchihuites (Figura 3.3, con la superposición de motivos de dos períodos diferentes), haya perdurado sin ruptura desde el pasado milenio que se remontaba a la cultura del desierto hasta llegar a la realidad actual de los Tepehuanos. Por una parte, los sitios atribuidos hipotéticamente a esa cultura resultaron pertenecer plenamente a la cultura Chalchihuites de acuerdo a los trabajos preliminares, en particular, los estudios detallados de su arquitectura, su industria de la piedra, su cerámica y su arte rupestre, además de las excavaciones en ciertos casos. Ya sea que se trate de sitios mayores como Hervideros (Figura 3.4) o más modestos como por ejemplo, Coscomate (Figura 3.5), La Chancaca, La Candela (Figura 3.6) o Loma San Gabriel, en todos los casos esta cultura hipotética de la Loma San Gabriel resultó como fruto de una falta de trabajos profundos y de una idea preconcebida según la cual mientras más se dirige uno hacia el norte mayor es la ocupación "primitiva" y "simple".

Por otro lado, un nuevo aspecto de la historia antigua de Durango comienza a conocerse. Comienza en efecto a definirse el origen de los Tepehuanos y la cultura que desarrollaron cuando llegaron tardíamente, en el siglo XII, a los valles orientales de la Sierra de Durango. Se diferencian de sus antecesores mesoamericanos en todos los aspectos: instalan sus alojamientos sin modificar el terreno, sus construcciones son extremadamente frágiles y no dejan prácticamente nada de rastros. Los Tepehuanos no se concentran sino al contrario se dispersan en granjas aisladas, a las orillas de las tierras de cultivo. Alejan sus muertos y no se preocupan prácticamente de establecer lazos comerciales importantes. Lo más singular es ciertamente su agricultura que denota un origen antiguo

en las tierras áridas de Sonora. Esos nuevos llegados aportan en efecto un nuevo tipo de cultura sin riego y sin interés por los terrenos de la rivera. Una agricultura pluvial (de temporal) y un modo de vida particularmente bien adaptado a la sequía que los conquistadores españoles tendrán dificultad para entender y para definir según sus propios criterios. Pero hay que recordar, que esta última inmigración (que vino de España) a la Sierra de Durango, fue particularmente destructiva. Las epidemias, los trabajos en las minas, el aplastamiento sin piedad de los movimientos de resistencia y en general el caos cultural provocado por esta última invasión provocó en algunas décadas la desaparición de la mayoría de los pueblos indígenas que poblaban la región.

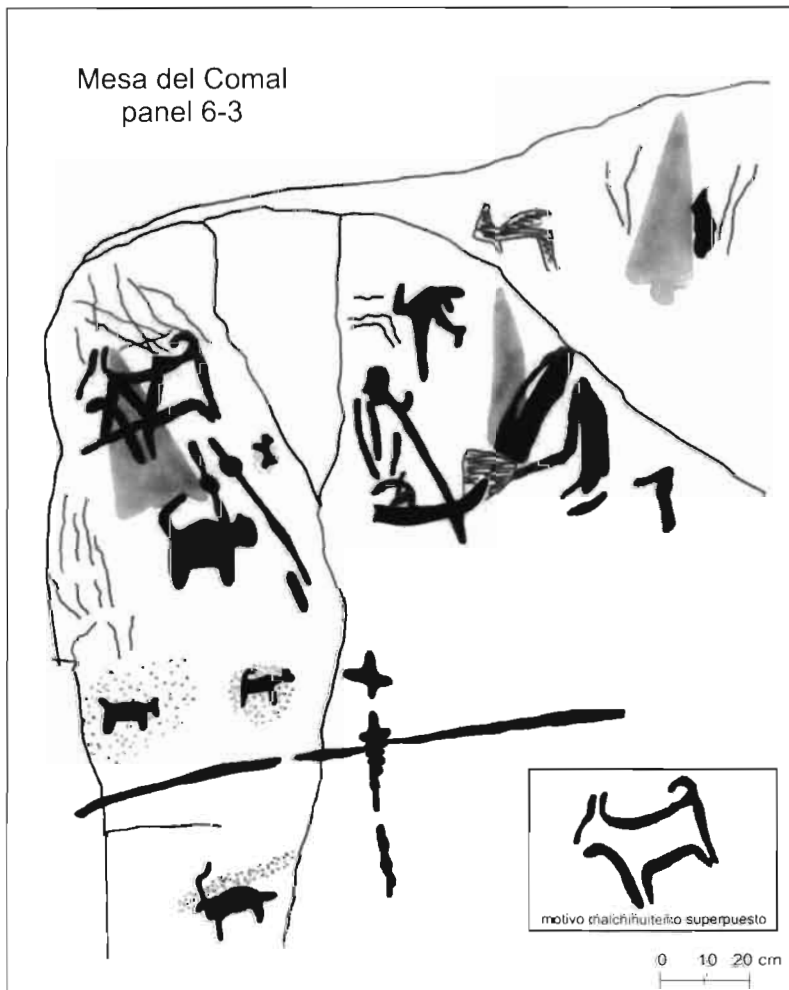


Figura 3.3. Mesa del comal municipio de Guanaceví, estado de Durango, superposición de un motivo Chalchihuites sobre un conjunto antiguo (tomado por M.A. Hers).

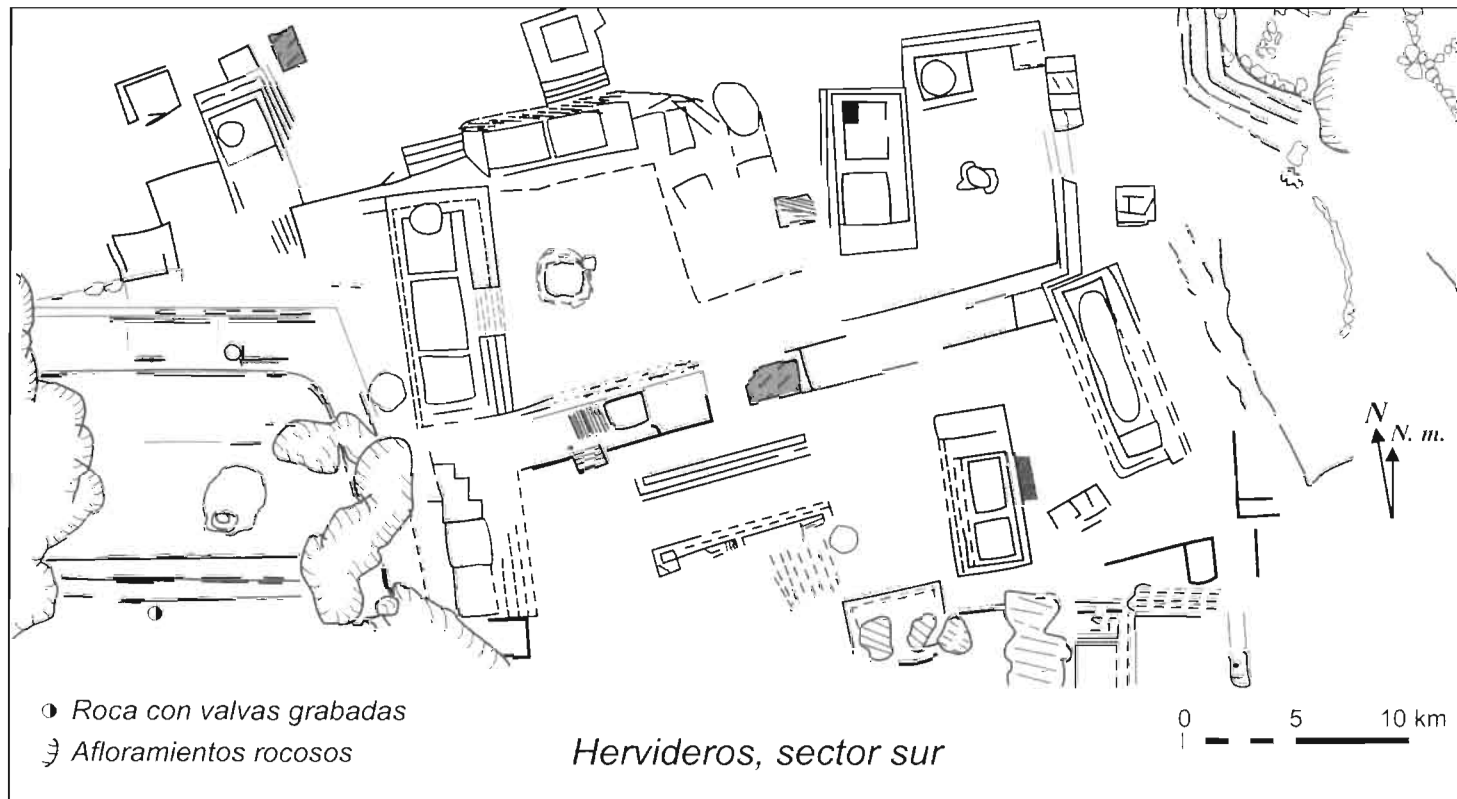


Figura 3.4. Mapa del sector sur del sitio de Hevideros, municipio de Santiago Papasquiaro, estado de Durango. Se reconoce una serie de patios rectangulares con su altar respectivo en el centro y un juego de pelota (mapa hecho por M.A. Hers).

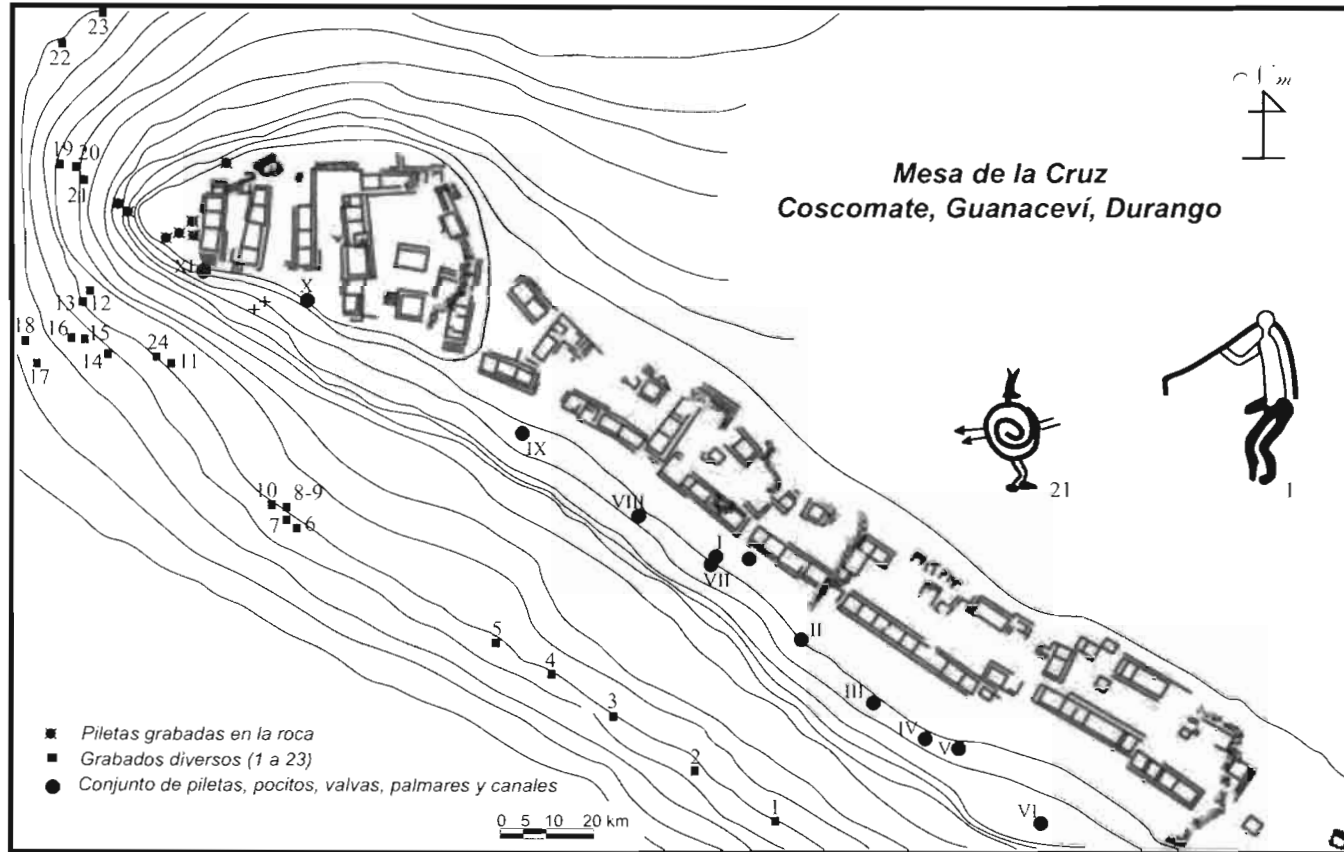


Figura 3.5. Mapa del sitio de la Mesa de la Cruz, Coscomate, municipio de Guanaceví, estado de Durango (mapa hecho por el autor con la colaboración de Leslie Zubieta y Nina Meilin, tomado de los grabados por el autor en colaboración con Luis Miguel Quintero y Félix Hernández).

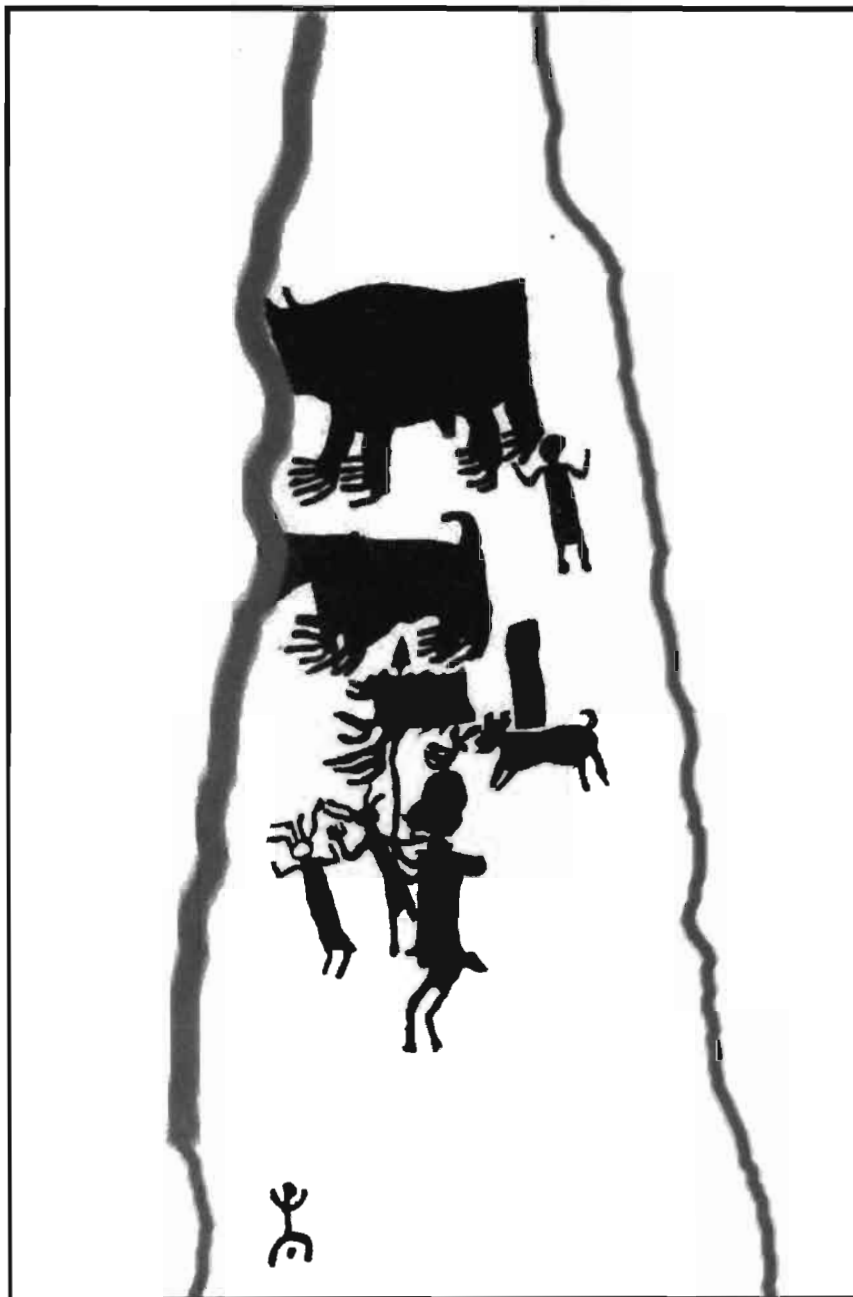


Figura 3.6. Uno de los numerosos paneles de la Candela, municipio de Tepehuanes (tomado por el autor).

Los Paleo-paisajes

Esas grandes fluctuaciones de la frontera Mesoamericana se atribuyen generalmente a factores climáticos por amenazas de las sequías que pesan todavía hasta nuestros días en esta región. En el caso de Durango, se trataría de tres momentos diferentes de profundos cambios: la colonización Chalchihuites de sur a norte y en toda la Sierra de Durango, a partir del año 600; enseguida el abandono de las tierras del sur (Zacatecas y Jalisco) hacia el año 850 y el aislamiento consecutivo del enclave de Durango; finalmente, la migración Tepehuana originaria del noroeste durante el siglo XIII. Sin embargo, es muy probable que esos cambios radicales sucesivos sean fenómenos sociopolíticos muy complejos, y aún poco documentados, más que la consecuencia de cambios ambientales significativos. Es así como se puede interpretar el punto de vista de los biólogos que son indispensables para avanzar en la solución de ese problema central.

El lado este de la Sierra Madre Occidental presenta una remarcable diversidad de ecosistemas formados por la topografía. Entre ellos, se encuentran las zonas semiáridas caracterizadas por la presencia de vegetación espinosa, las planicies cubiertas por pastizales, las barrancas en el fondo de las cuales corren los ríos perennes con una vegetación riparia semitropical. Los sistemas lacustre de grandes extensiones, los bosques de pinos, enebros y de encinos que caracterizan las tierras altas en una gran cantidad de arroyos de montaña. Por esta variedad del relieve y de vegetación, se encuentra igualmente una fauna muy diversa que puede ser aprovechada.

La complejidad ecológica de la región así como su carácter fronterizo, tanto en el tiempo como en el espacio, entre modos de vida muy diversos, hicieron indispensable el desarrollo de estudios del paleo-paisaje. En el transcurso de numerosas salidas al campo, al ritmo de las estaciones, los trabajos se orientaron hacia cuatro campos de observación. El estudio de los nidos subfósiles y recientes de ratas de agave del género *Neotoma* destinados a precisar la fauna y la flora de los alrededores, mediante el análisis de los restos vegetales y faunísticos contenidos en los nidos, y mediante el método del fechado. Por otra parte, se estableció un inventario que cubre un área representativa de la variedad ecológica de cada una de las zonas estudiadas en los diversos subproyectos arqueológicos. Se dispone así de un esquema de referencia de la fauna y flora actuales para compararlo con los datos obtenidos de los nidos y de las excavaciones. El material de la fauna y de la flora colectado en las excavaciones fue analizado para establecer cuales eran los medios aprovechados por los antiguos ocupantes y cuales eran los recursos con que disponían. Además la obtención de columnas de sedimentos ofrece un material para determinar la posible secuencia de eventuales cambios climáticos a partir de los restos de fauna que contienen, principalmente moluscos terrestres. Finalmente, se espera completar estos estudios con un análisis de polen y de fitolitos colectados en las excavaciones.

Entre los primeros resultados obtenidos, se pudo establecer que la región comprendida entre la ciudad de Canatlán y Tepehuanes, esta constituida por una serie de valles que representan una extensión del desierto Chihuahuense. Los valles donde se encuentran Santiago Papasquiari y Tepehuanes son recorridos por los ríos Santiago y Tepehuanes respectivamente, que se unen a la altura de Hervideros para formar el río Ramos (Figura 3.2). A pesar de la presencia de arroyos y ríos, la flora y sobre todo la fauna corresponden al ambiente semiárido del desierto Chihuahuense y se transforma progresivamente a medida que sube a la Sierra. Esta última presenta una estratificación bien marcada, al menos, en cuatro comunidades vegetales.

Esas comunidades están determinadas por el uso del suelo, la altitud y la precipitación pluvial anual. Además deben agregarse sus respectivas zonas de transición. Según la escala de altitud se encuentran:

- la vegetación de las áreas agrícolas y ganaderas

Esas áreas se encuentran entre los 1700 y 1900 msnm, a lo largo de los márgenes del río Santiago y del río Tepehuanes. Tradicionalmente se cultiva el maíz y el frijol, con o sin riego, además de hortalizas, frutales y forrajes. La agricultura tradicional va en neta disminución frente a la ganadería en pastizales por bovinos, caballos, y en menor escala, borregos y cabras. La vegetación dominante en esas zonas se caracteriza por una mezcla de *huizache* (*Acacia Shaffneri*), *mezquite* (*Prosopis juliflora*), *nopales* (*Opuntia spp*), *ocotillo* (*Fouquieria splendens*), *biznagas* (*Echinocactus sp*; *Echinocereus sp*; *Coryphanta sp*. *Mamillaria sp*, entre otras) y numerosas herbáceas asociadas a los cultivos; además de otras modificaciones aportadas por la actividad humana.

Es en ese tipo de vegetación que se encuentra el sitio de Hervideros, en la cima de la colina del mismo nombre se presenta un substrato rocoso en general bien drenado con muchos *huizaches*, diversas especies de gramíneas y de cactáceas, lo cual nos indica su carácter semidesértico.

- el bosque de enebros, de pinos piñoneros y de encinos

Esta comunidad se sitúa entre los 1900 y los 2300 metros de altitud. Entre los elementos característicos, se encuentran los encinos (*Quercus emoryi*, *Q. Chihuahuana* y *Q. Arizonica*) y el pino piñonero (*Pinus cembroides*) Se encuentran también *huizaches* y *enebros* (*Juniperus erythrocarpa*). Se nota igualmente una disminución del *mezquite* y del nopal de Durango (*Opuntia durangensis*) aunque otras especies sean todavía comunes, en particular el *nopal cardón* (*O. Streptacantha*) cuyos frutos son muy apreciados en la región por su sabor dulce.

- el bosque de pinos, de encinos y de arbustivas

Entre los 2300 y los 2600 msnm, hay cambios que se distinguen en la comunidad de las especies y que consisten en la presencia de otros encinos (*Quercus spp*), de pinos (*Pinus spp*) y de arbustos (*Arbutus sp*). Además, la reducción del número de cactáceas es notable, al menos en los sitios observados.

- el bosque de pinos, de encinos y abetos Douglas

En la parte más elevada de la Sierra Madre entre los 2600 y los 3000 msnm, la asociación de pinos y de encinos se mantiene con la diferencia de que en los sitios más húmedos y más fríos se puede encontrar el abeto Douglas (*Pseudotsuga menziesii*) y el pino ayacahuite (*Pinus ayacahuite*). Al igual que el táscate o enebro se presenta bajo la variedad de *Juniperus deppeana*.

- vegetación riparia.

A lo largo de los ríos Tepehuanes, Santiago y Ramos, así como de los principales arroyos tributarios que descienden de la montaña, se presenta un tipo de vegetación que contrasta con las áreas vecinas que son las tierras de cultivo. La flora es más variada gracias a la presencia de agua a todo lo largo del año. Se remarca en particular los álamos (*Populus fremonti*) el sauce (*Salix bonplandiana*) el sabino o ahuehuete (*Taxodium mucronatum*) y el osier (*chilopsis linearis*).

Aunque el muestreo fue reducido, el análisis arqueo-zoológico de la región de Hervideros testimonia el acceso de diferentes medios y la amplia posibilidad de encontrar especies que mantuvieron la caza como una actividad importante igualmente para los agricultores que pudieron competir con los cazadores recolectores.

Entre los vestigios arqueológicos se encuentran conchas marinas provenientes del Océano Pacífico bajo la forma de ornamentos, entre los vertebrados, los pescados están representados por tres grabados locales: Siluros (*Ictalurus sp*) Ciprinidae (*Gila sp*) y los Catostomidae. Para ellos se trata de una especie que no se encuentra actualmente en la región. Entre los reptiles, se encuentra la serpiente de cascabel (*Crotalus sp*) y las tortugas de agua dulce (*Kinosternon sp*). Entre las aves se encuentran codornices y patos que indican la utilización de los recursos por temporadas. Entre los mamíferos, se subraya entre otros, la presencia del oso grizzly (*Ursus arctos*) que era ciertamente cazado en los contrafuertes de la sierra, el ciervo berrendo (*Antilocapra americana*), el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) la rata montera de las zonas áridas (*Neotoma albigula*) y

los conejos.

Del medio semiárido, se reconocen la liebre (*Lepus callotis*) la rata montera y el ciervo berrendo aunque existe la posibilidad de que este último haya sido importado porque históricamente no ha sido registrado en la región.

De las barrancas con vegetación riparia. Se remarca el mapache (*Procyon lotor*) el tatu (*Dasypus novemconctusd*) y la nutria (*Lontra longicaudis*), además de los pescados tortugas y la palurda de agua dulce (*Anodonta sp*) que nos indica su hábitat en los ríos.

De los bosques proviene muy probablemente el puma (*Puma concolor*), el venado cola blanca, el oso grizzli, la ardilla de bosque (*Sciurus aureogaster*) el conejo (*Sylvilagus floridanus*). El zorro gris (*Urocyon cinereoagenteus*) el cacomixtle (*Bassariscus astutus*) y el zorrillo (*Conepatus mesoleucus*) pueden provenir de cualquiera de esos medios.

Conclusión

Las condiciones en las que esos recursos naturales se encuentran distribuidos en el área geográfica, han permitido que tanto los pueblos cazadores recolectores como los agricultores hayan podido explotarlos a lo largo del año sin tener que desplazarse grandes distancias, ya que en la sierra la variedad de recursos es accesible durante todo el año al desplazarse solamente en altitud, desde el fondo de las barrancas hasta las tierras frías y con bosque de las crestas.

En cuanto al estudio de la fauna actual, se confirmó la presencia de las especies mencionadas, algunas específicas de medios particulares. Además, se permitió confirmar que los cambios que tuvieron lugar en la región (fluctuaciones de humedad), no afectaron la distribución general de los ecosistemas, debido a que los ríos y los arroyos se mantuvieron perennes, a pesar de que pudo haber variaciones estrictamente locales en la extensión de cada uno de ellos. El estudio confirma igualmente que los cambios que se constataron actualmente en la zona son producto de la presión demográfica y de las modificaciones del medio por la actividad humana.

Bibliografía citada

- Barbot, Ch. y J.L. Punzo. 1997. Antiguos caminos en el Noroeste duranguense: supervivencia de una tradición prehispánica, *Trace*, 31, CEMCA, México, 1997, p. 22-34.
- Berrojalbiz, F. 2001. Avances en la cronología del Noroeste de México desde el proyecto Hervideros, Dgo. In: Daneels, Annick, Editor. *Actas del V Coloquio Pedro Bosch Gimpera*, (junio del 2001), Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Braniff, Beatriz. Editor. 2001. *La Gran Chichimeca* Editorial Conaculta y Jaca Books México y Milan.
- Brooks, R. H., Lawrence Kaplan, Hugh C. Cutler and T. W. Whitaker. 1962. Plant Material from a Cave on the Rio Zape, Durango, Mexico. *American Antiquity*, vol.27, n.3, 1962, p. 356-369.
- Carot, P. y M.A. Hers. 2002. La gesta de los toltecas chichimecas y de los purépechas en las tierras de los antiguos indios Pueblo. Primer Coloquio Internacional Las Vías del Noroeste, (México, febrero del 2002), Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cutler, H. C. 1978. Appendix: Corn from Seven Durango, Mexico, Caves. In: Riley, Carroll y Basil C. Hedrick. Editors. 1978. *Across the Chichimec Sea, Papers in Honor of J. Charles Kelley*, Southern Illinois Press, Carbondale, USA. 186-189.
- Cramaussel, Chantal. Editor. 2004 (en prensa) *Asentamientos y movimientos de población en la Sierra Tepehuana desde la prehistoria hasta nuestros días*. El Colegio de Michoacán. Morelia México.
- Forcano, Marta y Aparicio. 2000. Las pinturas rupestres de Potrero de Cháidez, Dgo. In: Hers, Marie-Areti, José Luis Mirafuentes, Ma. De los Dolores Soto y Miguel Vallebuena. editores. 2000. *Nómadas y Sedentarios en el Norte de México; homenaje a Beatriz Braniff*, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Estéticas, e Históricas, Universidad Nacional Autónoma de México. 489-510.
- Hers, M.-A. Sin fecha. Durango y Sinaloa: estado actual de la cronología de la ocupación mesoamericana. In: Braniff, Beatriz. Editor. *Cronología historiográfica del Occidente*, Centro de Estudios Antropológicos del Occidente Nogueras, Universidad de Colima y Centro INAH Colima, Colima.
- Hers, M.-A. 2001. In: Braniff, Beatriz. Editor. 2001. *La Gran Chichimeca* Editorial Conaculta y Jaca Books México y Milan 65-70.
- Kelley, J. Charles. 1971. *Archaeology of the Northern Frontier: Zacatecas and Durango*. In: Wauchope, Robert, Editor. 1971. *Handbook of Middle American Indians*, University of Texas Press, Austin USA vol. 11, part 2: 768-801.
- Punzo, José Luis. 1999. *La Mesa de Tlahuitoles en lo Alto de la Sierra Madre Occidental de Durango: apuntes para la historia antigua xixime*. Tesis de licenciatura en Arqueología, Escuela Nacional de Antropología e Historia, México.

- Punzo, J. L. 2000. Una larga secuencia de ocupación mesoamericana en la sierra xixime. In: Cramaussel, Chantal. Editor. Asentamientos y movimientos de población en la sierra tepehuana desde la prehistoria hasta nuestros días, (Simposio internacional, Santa María Ocotán, abril del 2000). El Colegio de Michoacán. Zamora México.
- Tsukada, Y. 2000. Estudio comparativo de dos grandes asentamientos chalchihuiteños en Durango: Molino y Hervideros. In: Cramaussel, Chantal Editor. 2000. Asentamientos y movimientos de población en la sierra tepehuana desde la prehistoria hasta nuestros días, (Simposio internacional, Santa María Ocotán, abril del 2000). El Colegio de Michoacán. Zamora, México.

SEGUNDA PARTE

Los suelos y el agua: precipitación y escurrimiento dentro
de la Sierra Madre Occidental

Introducción

La Sierra Madre Occidental tiene la originalidad de ser a la vez poco explotada y sobre explotada. Por una parte, su espacio se maneja de manera extensiva por sistemas agrícolas y pecuarios escasamente productivos pero que proporcionan cosechas suficientes para las poblaciones poco numerosas que se encuentran diseminadas en el paisaje (densidades rurales de 1 a 2 habitantes por km², con tendencia a disminuir). Por otra parte, la Sierra se encuentra sobre explotada en la medida en que ha sido sometida a una gestión poco patrimonial de los recursos naturales en un período reciente.

Es también un espacio privilegiado en el norte de México, con una precipitación y un clima que explica la presencia de suelos profundos y fértiles además de una cobertura vegetal natural más densa que en las zonas vecinas. Estas últimas menos húmedas tanto en el borde Pacífico de México, región semiárida al norte del paralelo 26°, como en el Altiplano, donde se extiende prácticamente el más grande desierto norteamericano hasta la latitud 24° Norte.

Paradójicamente, este espacio "privilegiado" no es una zona de asentamientos humanos. Si las etnias "lugareñas" se encuentran ahí parcialmente sedentarias (Huicholes, Tepehuanos, Tarahumaras y Yaquis), esto se debe en parte a que sus antecesores se refugiaron en la montaña para escapar de las imposiciones tanto de los colonos españoles como de las etnias nómadas que vivían preferentemente en el hábitat del altiplano (Comanches, Apaches). Estas poblaciones continúan siendo poco numerosas.

Los españoles se instalaron solo en aquellos lugares donde encontraron lo que buscaban y por lo cual cruzaron el océano, los minerales preciosos que enriquecieron temporal-

mente a la Corona Española y contribuyeron, más perdurablemente, a la acumulación de capital que permitió el despegue económico de Europa del Norte.

Sin embargo, estos enclaves de colonización de ciudades mineras, algunas veces emplazadas desde principios del siglo XVII (Durango en primer lugar, Guanaceví, Santa María del Oro, Parral, Topia, Canelas, etc), no son exclusivos de la Sierra Madre Occidental. También se instalaron en la porción meridional del desierto Chihuahuense y sus accesos: Mapimí, pequeña comunidad de 5,000 habitantes situada a 50 km al norte de la zona urbana Torreón-Gómez Palacio con más de un millón de habitantes, dio su nombre a la extensa depresión que comprende gran parte de la mitad sur del desierto Chihuahuense, el Bolsón de Mapimí. De igual forma, Peñoles, Pedriceña, Real de Catorce y Sierra Mojada se fundaron dos o tres siglos antes de que fuera fundada la ciudad de Gómez Palacio en 1887 con la aparición de un distrito de riego en el sitio de un oasis de pie-de-monte y la ciudad de Torreón en 1907 por necesidades ferroviarias (puente sobre el río Nazas).

La colonización se realizó de manera puntual en función de la ubicación de los yacimientos minerales, y sólo hacia fines del siglo XIX, comenzaron a ser explotados simultáneamente los pastizales de las montañas y los llanos del altiplano, estos últimos cada vez más seguros como consecuencia del exterminio de las últimas tribus apaches. Esta explotación se llevó a cabo no por voluntad política, sino por iniciativa de campesinos o inversionistas que buscaban espacios durante la fase de fortalecimiento de la Nación Mexicana (Porfiriato, período Revolucionario, Reforma y período actual). El voluntarismo y una verdadera política de empleo de los espacios vacíos solo aparecen localmente, durante la segunda mitad del siglo XIX, con la implantación de los Menonitas en las depresiones interiores y circundantes de la parte oriental de la Sierra (regiones de Canatlán en el estado de Durango; región de Fresnillo en el estado de Zacatecas, región Cuauhtémoc en el estado de Chihuahua).

Están lejos, *a priori*, las condiciones de sobrepoblación que caracterizaron a las montañas peri-mediterráneas de Europa del Sur durante los últimos siglos, o las condiciones del norte de África, al otro lado del Mediterráneo, hace algunas décadas o bien, a la de los países que comprenden la región del Sahel en África, a principios de la "gran sequía" en 1968. Estas fases de sobrepoblación permiten explicar fácilmente la degradación del medio (disminución de la cobertura vegetal y la consecuente erosión de los suelos) que se menciona a continuación.

Actualmente, a pesar de la baja densidad de población en esta cadena montañosa de origen volcánico, el medio parece deteriorado: la vegetación se presenta disgregada, los suelos en gran parte degradados y los recursos hídricos amenazados. Los campesinos perciben esta degradación en la baja productividad de los pastizales que parecen haber disminuido considerablemente; en la gestión de los escurrimientos, ya que tienen dificulta-

des para controlarlos a escala local; en la gestión del agua, ante una menor duración de los escurrimientos superficiales; en el agua almacenada dentro del suelo ya que ésta se agota más rápidamente que antes (de acuerdo a lo manifestado en toda la Sierra Madre). El problema de erosión de los suelos es drástico a pesar de que la litología (riolitas e ignimbritas, ambas rocas resistentes) es poco favorable al desprendimiento de las partículas y a la socavación.

Los pastizales de la Sierra Madre tienen de manera natural, una mayor precipitación pluvial, una productividad más elevada que los pastizales del pie-de-monte oriental de la cadena montañosa y, *a fortiori*, que los del Bolsón de Mapimí. Los territorios de las comunidades rurales de esta región alcanzan frecuentemente varios cientos de miles de hectáreas. Sin embargo, esto no es mucho cuando se sabe que en esta zona son necesarias de 20 a 30 hectáreas por cabeza de ganado bovino. En la Sierra Madre, se considera que la carga animal deseable es de 10 hectáreas por cabeza de ganado, el mismo valor que en el pie-de-monte interior ya que los pastos son más productivos aunque asociados a pequeños bosques, árboles, arbustos y localmente a afloramientos rocosos, que disminuyen en parte las superficies herbáceas.

Actualmente estos pastizales parecen, de manera general, muy sobre explotados, lo que se traduce en una baja productividad herbácea (Anaya y Barral, 1995). Aunque también, dada la gran extensión de formas de degradación del espacio, se presentan progresiones de suelo desnudo, disminución del grosor de los suelos, afloramientos de piedras en la superficie, recubrimiento e induración de los horizontes superficiales y, localmente donde el suelo es profundo, formación de cárcavas que pueden alcanzar una longitud de varios centenares de metros y que pueden dejar aflorar la roca madre.

Se presenta también, de manera simultánea, una degradación de los pastizales y la invasión de especies leñosas no palatables por el ganado. Viramontes (2000) describe este proceso como un tipo de "degradación verde de los pastizales"; fenómeno descrito también en las savanas africanas por Boutrais (1994) el cual señala: *-En las savanas, un proceso similar de sustitución afecta a la cobertura herbácea que pierde densidad y tamaño, hasta desaparecer. A las grandes gramíneas muy palatables por el ganado (Andropogon g., Hyparrhenia r.), le suceden en primer lugar otras gramíneas de gran tamaño menos palatables (Panicum phragmitoides). Si la presión pastoril continúa, la densidad de las grandes gramíneas disminuye favoreciendo el desarrollo de gramíneas de menor talla (Eragrostis) o pequeñas plantas no consumibles por el ganado (Aframomum). En el caso de las leñosas, la evolución es opuesta, con una multiplicación de los arbustos a medida que las herbáceas disminuyen y que el pastoreo se acentúa. Entre estos arbustos, algunos se establecen de manera dominante, hasta formar asentamientos densos y homogéneos (por ejemplo Harungana madagascariensis). La proliferación de nuevos arbustos solo representa una fase transitoria hacia el establecimiento de árboles resultantes de la zona forestal; desapareciendo los pastizales. A la degradación de pastizales correspon-*

den coberturas vegetales leñosas más densas. La erosión de los suelos es menos importante que el ahogamiento y la desaparición de herbáceas. Es una forma de degradación verde de los pastizales-

En la Sierra Madre se presenta en las savanas de altitud, entre 1800 y 2500 msnm, también descrito por Boutrais (1994) en África: "*en praderas de altitud bajo climas húmedos, el proceso de evolución del pastizal es el mismo que en las savanas*".

El constante pastoreo excesivo tiene consecuencias evidentes en términos hidrológicos, Herault (1975) señala: *-el pisoteo del suelo obstaculiza la infiltración del agua y favorece la aparición de pequeñas fisuras erosivas-*. Boutrais (1994) agrega: *-estos fenómenos afectan sobre todo las veredas o ejes del paso acostumbrado de los animales, que evolucionan a terracitas en las pendientes del terreno-*. En la Sierra Madre Occidental, el conjunto de vertientes ha evolucionado a terracitas, ocupando localmente la gran mayoría de los espacios visibles, incluso bajo los bosques menos densos.

Cuando se trata de una sobreexplotación del medio aparentemente sin presión demográfica, se tiene, *a priori*, una analogía de explotación "minera", la cual se define como un tipo de explotación sin desarrollo y sobre todo sin espíritu de conservación patrimonial. Sólo una vez que una sociedad se establece, se pueden dictar e imponer algunas normas que permitan la buena conservación de los recursos, incluso de los bienes comunes. Michon *et al.*, (2000) señalan: *-la transmisión del patrimonio es un deber, socialmente tan fundamental como el derecho a la herencia. Se halla aquí la filosofía subyacente a todos los sistemas de propiedad colectiva: garantizar la conservación de las riquezas de la comunidad a largo plazo. Este sistema particular se basa en el mantenimiento de una estructura social fuerte-*. Es esta estructura social fuerte que ha faltado hasta ahora en esta nueva sociedad de ganaderos que explotan los pastizales de la Sierra Madre Occidental.

En realidad, hay probablemente una explicación más simple que consiste en pensar que los nuevos campesinos promovidos por la Reforma Agraria, tuvieron acceso a estas tierras "vírgenes" (en realidad ya explotadas ampliamente con el anterior esquema de las haciendas) con buenos pastizales, permitiendo el crecimiento de sus hatos sin tomar en cuenta los coeficientes de agostadero adaptados para estas zonas. Probablemente, solo una vez constatado el principio de la degradación, después de diez, veinte o treinta años de sobreexplotación, los ganaderos tomaron conciencia de su método de gestión. Sin embargo, esta toma de conciencia se dio en el momento de mayor presión humana, lo que tal vez provocó la emigración de los jóvenes hacia los Estados Unidos. Podría suponerse que esta condición se pudo traducir en una disminución de cabezas de ganado, sin embargo esto no se dio. Al respecto, los años noventa se caracterizaron por una sequía recurrente que aceleró la degradación de las praderas.

Este tipo de explotación “minera” está incluido más en el período de adaptación en el cual una sociedad se instala propiamente, instaura un método de gestión que resulta destructivo a mediano plazo y busca correcciones después de que toma conciencia de la no sostenibilidad del uso del recurso. Es exactamente lo que se produjo en el sur de Europa en el siglo XIX (tala y pastoreo excesivo que originó una fase de erosión acelerada); también en las praderas de Norteamérica en el siglo XIX y en las grandes planicies del medio oeste a principios del siglo XX (degradación de los pastizales, *dust bowl*); actualmente en Texas y Kansas (próximo agotamiento del acuífero de *Ogallala*); en las tierras oscuras de Ucrania y el sur de Rusia a principios del período soviético (grave erosión eólica de los suelos Chernozem); en Asia Central, posteriormente ex-republica soviética (desecamiento en curso del mar de Aral); en Australia (salinización de los suelos de la cuenca *Murray-Darling*) y en la actualidad en el Amazonas (degradación muy rápida de los suelos después de la tala). Actualmente el último ejemplo se relaciona con acontecimientos externos como lo señala Gillon (2000): *-la desaparición de la cobertura arbórea por la extracción de leña es la forma humana más clara posible que se vincula con las alternativas energéticas. Así, la inseguridad de las zonas nómadas en el Níger se tradujo rápidamente en una reanudación de la tala de árboles al norte de Niamey para atenuar la falta de suministro de gas doméstico-*. En Senegal, desde 1991, se observó un rápido retroceso de la masa vegetal. La decisión del Fondo Monetario Internacional (FMI) de obligar a Senegal a retirar el subsidio del gas doméstico provocó el uso de madera para este mismo fin. Se constataron también degradaciones a raíz de las fuertes exigencias de caza o pesca, como las observadas por Katz y Nguingui (2000) en el Congo. Esto como consecuencia del desarrollo urbano de *Pointe Noire* y de la demanda de la población urbana. Los habitantes de las zonas rurales que abastecen la ciudad constataron, en primer lugar, una perturbación en los ciclos de abundancia de las especies, posteriormente se estableció una correlación entre la evolución de este fenómeno y el incremento de la presión sobre los recursos.

Por supuesto nunca hay voluntad política que se pronuncie en favor de la explotación “minera” de los recursos naturales; es después de haber lanzado esta dinámica que se aprecian sus efectos nocivos.

Está claro que una sociedad que se instala en un medio virgen o que intensifica la explotación de manera laxa, puede provocar desequilibrios por la falta de “experiencia” y conocimientos sobre el mismo. Las culturas que duraron por milenios pudieron conocer estas fases de retroceso o repliegue vinculadas con una degradación del recurso, lo que no les impidió posteriormente corregir sus actividades. Este punto de vista se aproxima a las observaciones realizadas en la región del Sudan, en África, como lo señala Serpantié (2000): *-Cuando la explotación es de forma poco o nada artificial, el hombre interviene directamente sobre la especie utilizándola, por recolección, extracción o depredación. No existe un objetivo de conservación, la extracción es solo función de las necesidades tal y como se presentan. Dos casos se presentan vinculados: la extracción y la recolección cuando la dinámica del recurso no se modifica al ser tomado, la depredación en el caso*

contrario. Sólo en la autorregulación de tipo presa-predador y en la movilidad intervienen las relaciones hombre-medio. Una depredación regulada por el control del recurso tomado define un primer grado de artificialidad-; este autor considera también -que el máximo aprovechamiento de la explotación requiere conocimientos sobre el estado del recurso bajo explotación-. Así, de acuerdo al autor, las sociedades terminan por adaptarse al medio modificando sus prácticas: -Cultivar un recurso, es adaptar al recurso y a su medio a los objetivos que se pretenden. Son entonces algunas prácticas y sus fines las que definen la cultura y no el peso de los recursos económicos que se destinan o la organización social que los acompaña. Hay varios grados de artificialidad en la cultura, según el grado de control que se busca- (Serpantié, 2000).

Observaciones realizadas anualmente entre 1994 y 1997 con el fin de estimar el valor de los pastizales y delimitar la calidad de la gestión del espacio (Barral, 1988; Barral *et al.*, 1995; Anaya y Barral, 1995; Poulenard, 1995; Dufeu, 1998; ver inserción mas abajo) permitieron cuantificar la sobrecarga animal. Desafortunadamente, esta condición se observa en casi toda la Sierra Madre Occidental. Lo importante aquí, además de la tala de los bosques, es que la degradación de la vegetación implica una degradación de los suelos, en primer lugar por el pisoteo, y posteriormente por la pérdida de capas y horizontes superficiales provocada por el escurrimiento.

Esta modificación drástica de los “estados de superficie”, es decir las propiedades físicas de los primeros centímetros del suelo (porosidad, permeabilidad, etc), implica cambios importantes de las características hidrodinámicas de las vertientes. Éstos presentan mayor escurrimiento, acelerando el desprendimiento de las partículas finas, causando localmente la aparición de canalillos y dificultando año con año una posible recuperación de la calidad de los pastos, ya que los elementos nutritivos de los suelos se reducen.

Es esta evolución que modifica las condiciones de la infiltración y el escurrimiento del agua, modificando los gastos de los ríos y conduciendo, a largo plazo, a cambiar los términos del balance del agua en una región que sirve como fuente de agua, hipotecando el futuro de las zonas que dependen de ésta para satisfacer sus necesidades de agua.

Esta segunda parte se interesa sobre todo en el medio natural, en su evolución y en las consecuencias hidrológicas de esta evolución. Se abordan en primer término por un estudio del clima bajo la óptica de la sequía y la aridez (Capítulo 4: “**El clima y la variabilidad pluviométrica en el norte de México**”), posteriormente una “**Espacialización de las precipitaciones en las dos vertientes de la Sierra Madre Occidental**” (Capítulo 5). Posteriormente se aborda un aspecto esencial, objeto de seis años de observaciones *in situ* (1994-1999) complementadas con otras campañas de observación menos intensas entre 2000 y 2002: “**Un encostramiento de los suelos que limita la infiltración**” (Capítulo 6). Se buscó comprender como las formas de explotación del espacio influyen sobre

el balance hídrico, comenzando por **“Las condiciones que favorecen la erosión y el escurrimiento en manto”** (Capítulo 7).

Según información reciente (comunicación personal de Eva Anaya, coordinadora regional de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales en el estado de Durango, que llevó a cabo el estudio sobre los pastizales y su sobreexplotación, junto a Henri Barral colega del IRD -antes ORSTOM- fallecido en el año 2000), la calidad de los pastizales presentan una notoria mejoría en este otoño 2004; las últimas lluvias de la temporada terminaron y el período fue bastante húmedo. Además, a causa del fenómeno “El Niño” también se presentaron lluvias en el invierno anterior, incrementando el contenido de humedad en los suelos al comenzar el crecimiento en la primavera. Parece que el cambio en la tenencia de la tierra que se ha dado en la Sierra Madre estos últimos años comienza a dar resultados: las parcelas que se han convertido en privadas estarían mejor atendidas, sin que se pueda definir, a falta de un reciente censo del ganado, si esto se debe a una reducción del número de cabezas o bien a una mejor gestión de los pastizales. Sin embargo, desafortunadamente pareciera que esta evolución se haya hecho a costa de los pastizales dejados como comunales, que se habrían sobrecargado, al contrario de las parcelas que se han convertido en privadas.

En contraparte, un sobrevuelo-diagnóstico de las cuencas de los ríos Sonora y Matapé, efectuado en mayo de 2004, muestra un estado de degradación de los pastizales y suelos más grave que en la cuenca del río Nazas.

Bibliografía citada

- Anaya, E. y H. Barral. 1995. La ganadería y su manejo en relación con los recursos hídricos y forrajeros en la zona semiárida de México. Aplicaciones al caso de la Hacienda Atotonilco y La Comunidad La Virgen. Folleto Científico No. 5 INIFAP / ORSTOM. ISBN 968-6990-06-2. Gómez Palacio, Dgo.
- Barral, H. 1988. El hombre y su impacto en los ecosistemas a través del ganado. In Carlos Montaña Ed., Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua en la Reserva de la Biósfera de Mapimí. Ambiente natural y humano. México D.F., Instituto de Ecología de México, M.A.B., pp. 241-261.
- Barral, H., L. Hernández, E. Anaya et M. Vallebuena. 1995. Bétail mestegno dans la Réserve de la Biosphère de Mapimí ou résurgence d'élevage du XVIII siècle, de nos jours dans le Nord du Mexique. Cahiers de Sciences Humaines. ORSTOM, Paris, France. Pp. 65-84.

- Boutrais, J. 1994. Eleveurs, bétail et environnement. Dans: *Dynamique des systèmes agraires: A la croisée des parcours, pasteurs, éleveurs, cultivateurs*. Coll. colloques et séminaires, Ed. Orstom, pp. 303-319.
- Dufeu, R. 1998. Les paramètres du ruissellement et de l'érosion, impact du surpâturage dans la Sierra Madre Occidentale. Mémoire de fin d'étude ISTOM, Cergy, 73 p.
- Gillon, Y. 2000. Artificialisation et anthropisation. In: *Du bon usage des ressources renouvelables*. IRD Ed., coll. Latitude 23, edit. scient. Gillon, Y., Chaboud, C., Boutrais, J., Mullon, C., Bondy, pp. 29-38.
- Herault, J. 1975. Surpâturage et transformation du milieu physique ; l'exemple des hauts plateaux de l'Adamaoua (Cameroun). IGN, Paris, 218 p.
- Katz, E. et J-C. Nguingiri. 2000. Compétition pour les ressources au Kouilou (Congo). In: *Du bon usage des ressources renouvelables*. IRD Ed., coll. Latitude 23, edit. scient. Gillon, Y., Chaboud, C., Boutrais, J., Mullon, C., Bondy, pp. 187-198.
- Michon, G., H. de Foresta. et P. Levang. 2000. De la forêt aux jardins (Sumatra, Indonésie). In: *Du bon usage des ressources renouvelables*. IRD Ed., coll. Latitude 23, edit. scient. Gillon, Y., Chaboud, C., Boutrais, J., Mullon, C., Bondy, pp.223-240.
- Poulenard, J. 1995. Surpâturage et érosion dans la Sierra Madre Occidentale. Mémoire de fin d'étude ISTOM, Cergy, 82 p.
- Serpantié, G. 2000. Artificialisation de deux ressources soudaniennes. In: *Du bon usage des ressources renouvelables*. IRD Ed., coll. Latitude 23, edit. scient. Gillon, Y., Chaboud, C., Boutrais, J., Mullon, C., Bondy, pp. 125-145.
- Viramontes, D. 2000. Comportement hydrodynamique du milieu dans le haut bassin du Nazas (Sierra Madre Occidentale, Mexique). Causes et conséquences de son évolution. Thèse de géographie de l'Université Joseph Fourier-Grenoble 1 : 450 p.

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.

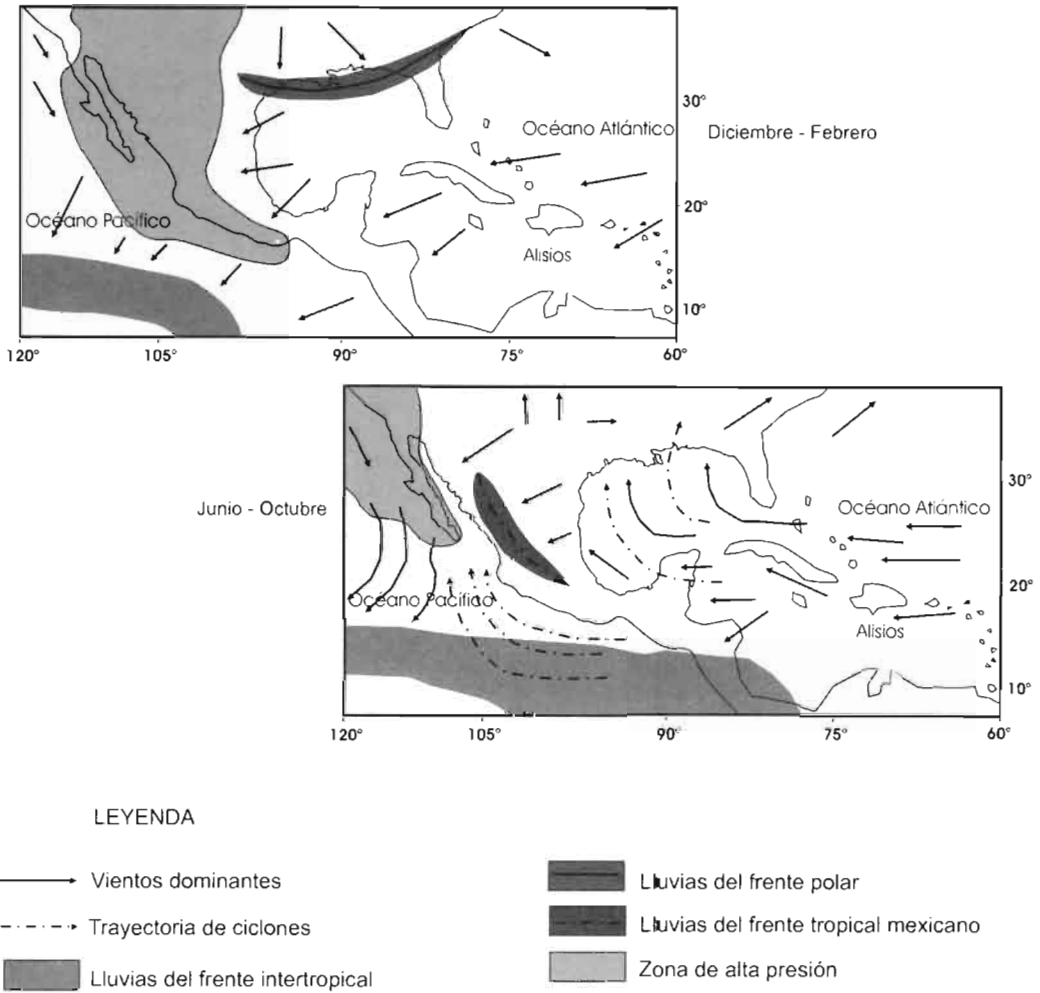


Figura 4.1. Circulación atmosférica general para México.

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 endorreica¹ 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

¹ 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 periodicidad² 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, σ , y la media, m .

$$C_v = \sigma / m$$

La desviación estándar o la varianza (σ^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

²Ver 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 golpeteo³, 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

³ 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.

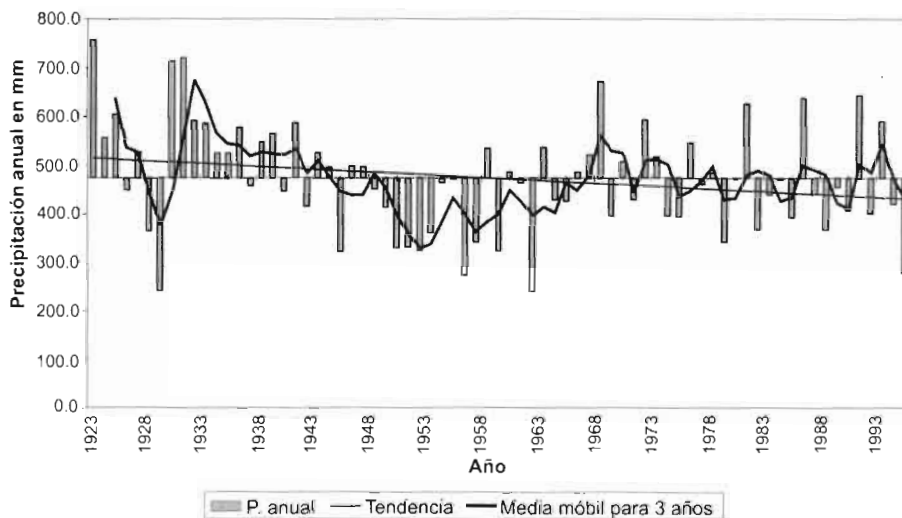


Figura 4.2. Precipitación anual en la estación de Tepehuanes desde 1923.

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).

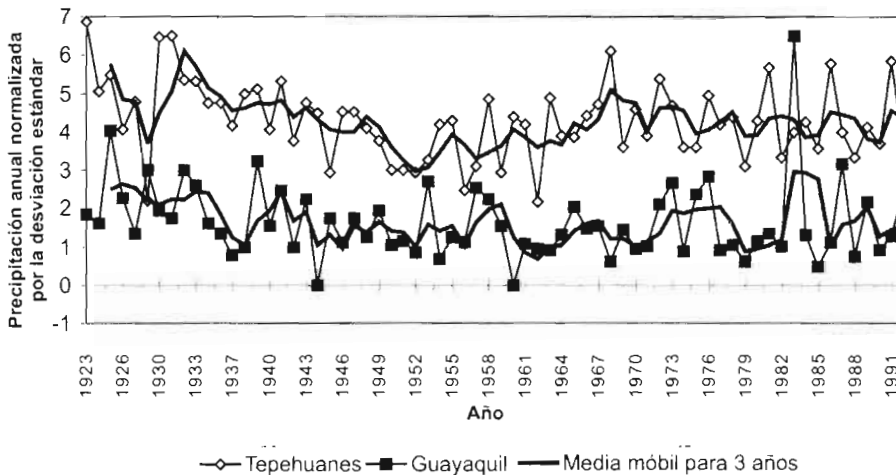


Figura 4.3. Evolución comparada de la lluvia en Tepehuanes (México) y Guayaquil (Ecuador).

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 (presones⁴) 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

⁴ 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.

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),

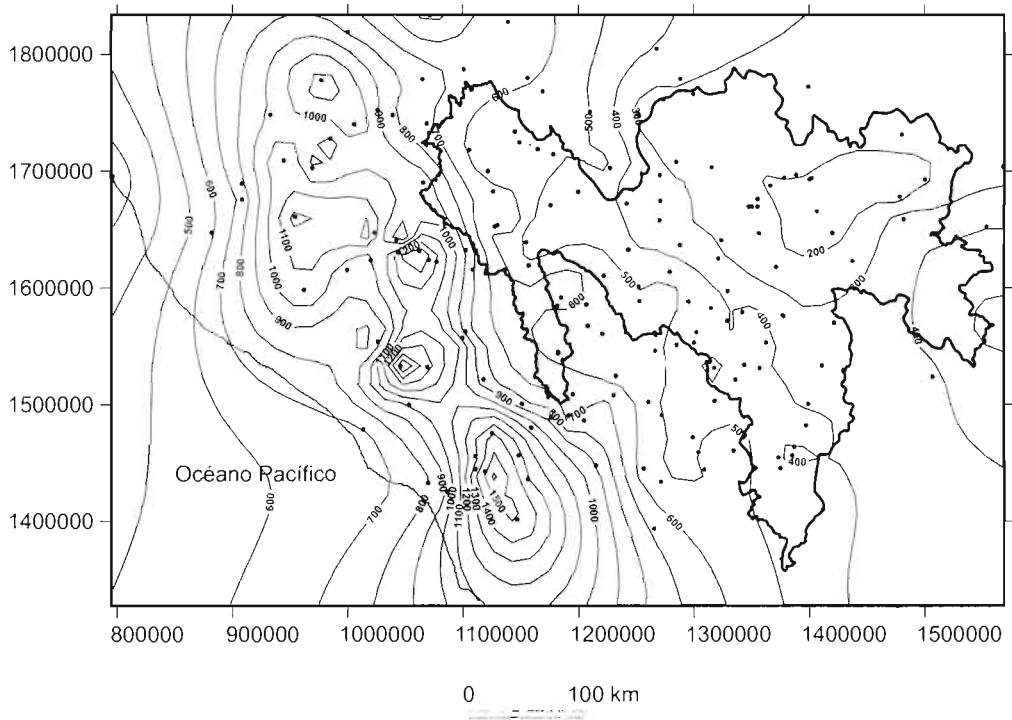


Figura 5.1. Isoyetas interanuales y localización de las estaciones de lluvia dentro de las cuencas de los ríos Nazas y Aguanaval y sus alrededores.

- 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 Bolsón de Mapimí (Cornet, 1992; Delhoume, 1992; Delhoume, 1995).

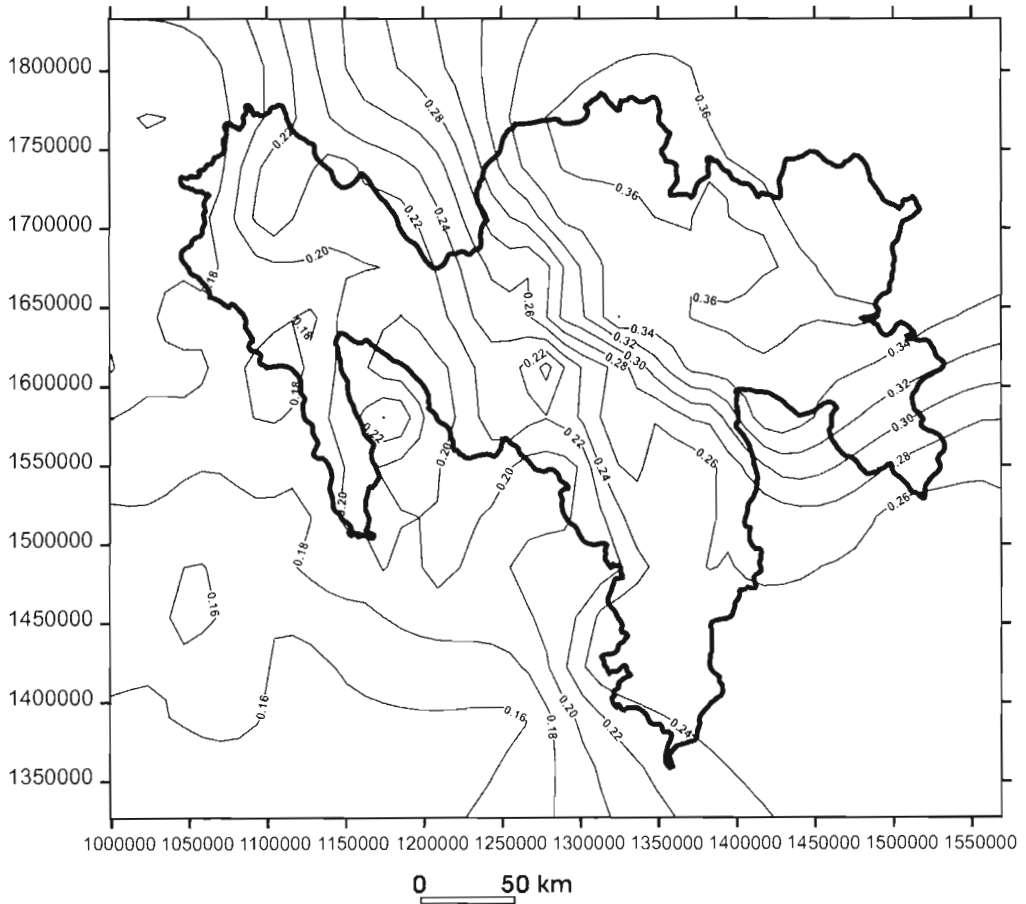


Figura 5.2. Coeficiente de variación interanual de las precipitaciones.

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 está 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.

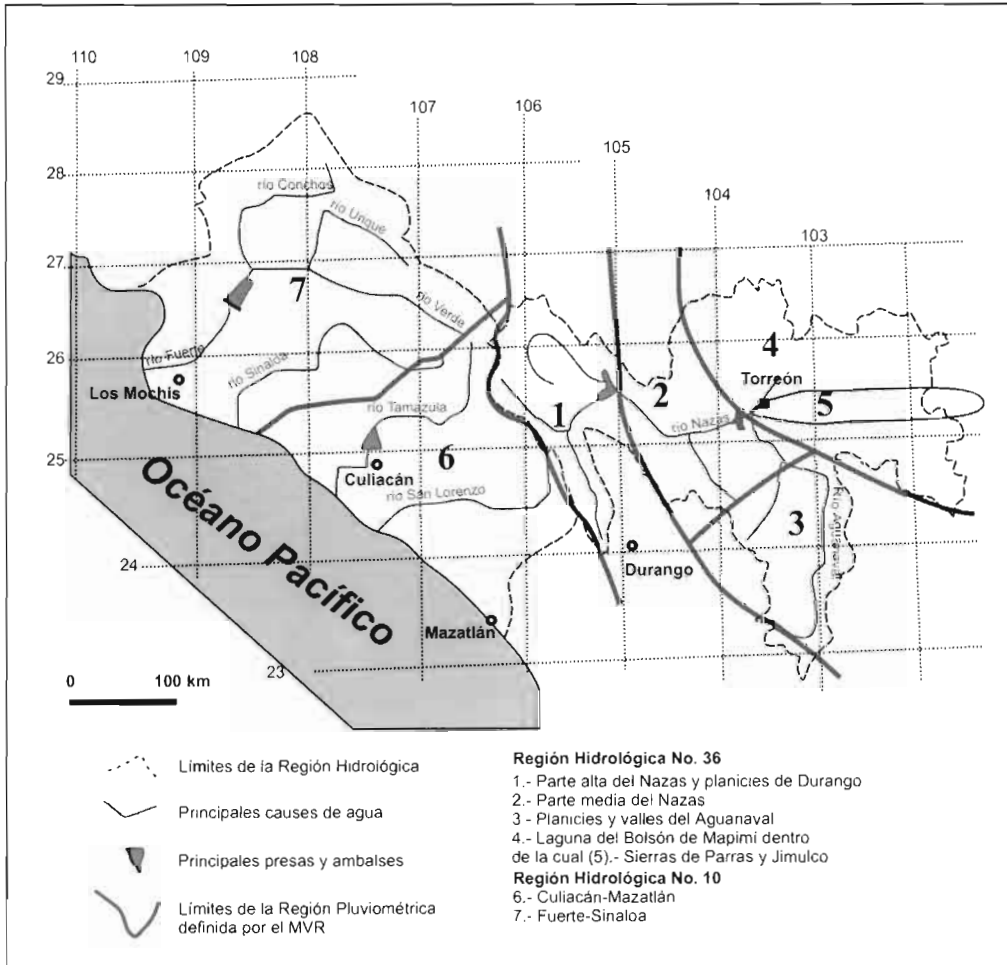


Figura 5.3. Regionalización definida por el Método del Vector Regional.

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.

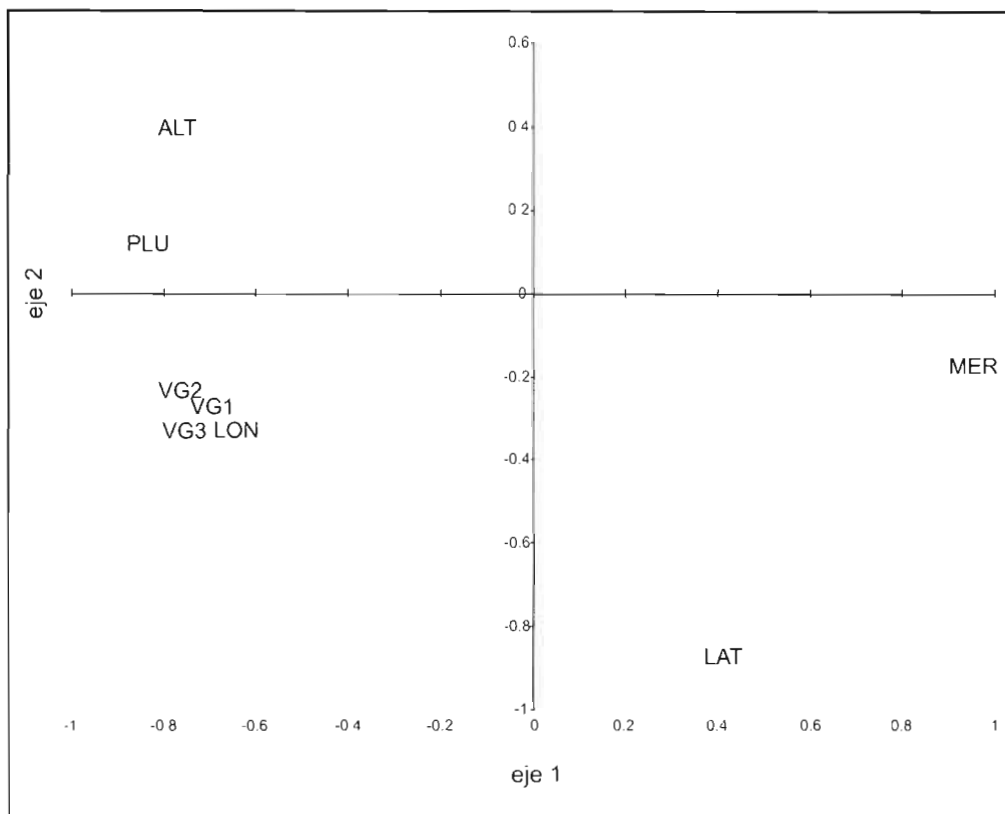


Figura 5.4. Plano principal de las variables del ACP (ejes 1 y 2, 52 estaciones).

En este caso, la precipitación presenta una correlación positiva con la altitud (ALT) y una correlación negativa con la distancia al oce no (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.

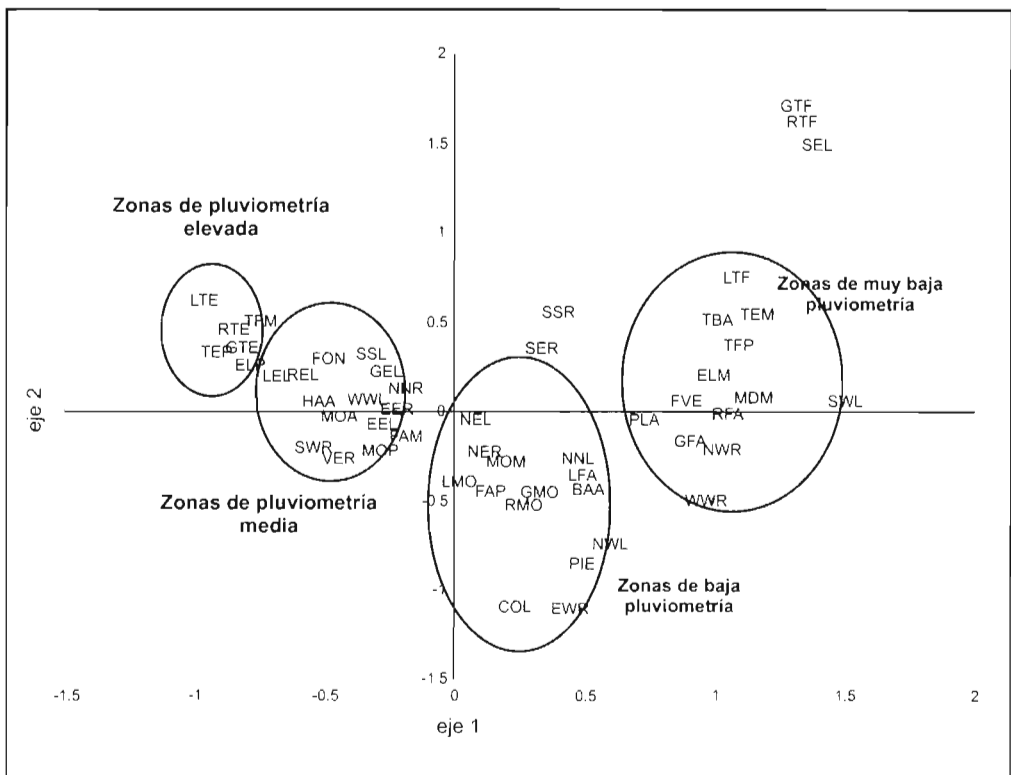


Figura 5.5. Plano principal de las variables del AFC (ejes 1 y 2; 52 estaciones).

Bibliograf  a citada

- Bovin, P. 1996. Les s  cheresses au Mexique. Rev. S  cheresse, vol.6, n  1, p. 53-58.
- Cornet, A. 1992. Principales caract  ristiques climatiques. En: Actas del seminario de Mapimi, 23-29 octubre 1989, Durango, M  xico. Instituto de Ecolog  a, M  xico, D.F., p. 45-76.
- Cosandey, C. et M. Robinson. 2000. Hydrologie continentale. Collection U G  ographie. Paris, 360 p.
- Comisi  n Nacional del Agua (CNA). 1975. Atlas del Agua, M  xico.
- Delhoume, J.P. 1992. Caract  risation du param  tre pluie: distribution dans le temps et dans l'espace. En: Actas del seminario de Mapimi, 23-29 octubre 1989, Durango, M  xico, Instituto de Ecolog  a, M  xico, D.F., p. 111-125.
- Delhoume, J.P. 1995. Fonctionnement hydro-p  dologique d'une topos  quence de sols en milieu aride (R  serve de la Biosph  re de Mapim  , Nord-Mexique). Th  se doctorat, Universit   de Poitiers, 300 p.
- Descroix, L., J. Estrada y C. Bouvier. 1993. Hidrometr  a 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 Regi  n Hidrol  gica 36. INIFAP ORSTOM. G  mez Palacio Dgo., M  xico, p. 25-61.
- Descroix, L., J.F. Nouvelot, y J. Estrada. 1997. Geograf  a de las lluvias en una cuenca del Norte de M  xico : regionalizaci  n de las precipitaciones en la Regi  n Hidrol  gica 36. Foll. Cient. n  8, Orstom/Cenid-Raspa, Gomez Palacio.
- Descroix, L., J.F. Nouvelot et J. Estrada. 2001. Compl  mentarit  s et convergences de m  thodes de r  gionalisation des pr  cipitations ; application    une r  gion endor  ique du Nord-Mexique. Revue des Sciences de l'Eau, 14/3: 281-305.
- Estrada, J., C. Bouvier y L. Descroix. 1993. R  gimen pluviom  trico 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 Regi  n Hidrol  gica 36. INIFAP ORSTOM. G  mez Palacio Dgo., M  xico, p. 25-61.
- Estrada, J. 1995. Mod  lisation conceptuelle appliqu  e aux bassins versants du Nord-Mexique (RH36). Memoire DEA d'Hydrologie Universit   de Montpellier II, 74p.
- Garc  a, 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.
- Garc  a, E. 1964. Modificaciones al sistema de clasificaci  n clim  tica de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la Rep  blica Mexicana). M  xico D.F. Offset Larios 3   edici  n corregida y aumentada 1981.
- Guti  rrez, A. 2003. Mod  lisation stochastique des pr  cipitations    l'  chelle r  gionale pour la pr  vision des crues au Nord-Mexique. Th  se de l'Universit   Joseph Fourier-Grenoble 1, 150 p.
- Hiez, G. 1977. L'homog  n  it   des donn  es pluviom  triques. Cahiers ORSTOM, s  r. 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.
- Rossel, 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.

Capítulo 6

Un encostramiento de los suelos que limita la infiltración

Jérôme Poulénard, José Luis González Barrios, David Viramontes, Luc Descroix,
Jean-Louis Janeau

Introducción

Los suelos intervienen en el ciclo del agua por sus propiedades hidráulicas (capacidad de almacenamiento, conductividad hidráulica, sortividad¹, etc.) que tienen relación directa con sus características fisicoquímicas (textura², estructura³, porosidad⁴, materia orgánica, etc.) Sin embargo, todas estas propiedades y características se modifican fácilmente por la actividad humana, lo cual implica una modificación en la respuesta hidrológica de los suelos. Los estudios en parcelas y cuencas vertientes experimentales en las diferentes regiones climáticas del mundo, muestran un incremento de los escurrimientos al talar los bosques y al compactar los suelos, sobre todo en superficies grandes. Numerosos estudios que han dado luz sobre esas interacciones: en clima tropical húmedo, (Fritsch, 1990; Calder *et al.*, 1995; Woo *et al.*, 1997; Scott Munro y Huang, 1997), en clima templado (Cosandey *et al.*, 1990; Galea *et al.*, 1993; Hudson y Gilman, 1993; Croke *et al.*, 1999); en clima semiárido y árido (Snelder y Bryan, 1995; Bergkamp, 1998).

¹ Ver glosario

² Ver glosario

³ Ver glosario

⁴ Ver glosario

A pesar de esta uniformidad de respuestas, los investigadores interesados en los procesos explicativos han dado una gran variedad de argumentos importantes (Ambroise, 1998); evocando el papel de la vegetación, los suelos y las propias modificaciones del medio con todos los factores que interactúan en el medio natural. El camino del agua y sus flujos pueden funcionar de manera diversa en el tiempo y en el espacio. El simple binomio de entrada (lluvia) y salida (escurrimiento) del agua en una cuenca vertiente no muestra la complejidad del camino del agua y su recorrido por el sistema.

Presentación de los suelos de la Sierra Madre

Dentro de las características del suelo implicadas en el transporte y el almacenamiento del agua⁵ se pueden citar las que tienen poca variabilidad espacio-temporal en la Sierra Madre Occidental como: la textura, la presencia de horizontes arcillosos, el tipo de vegetación y de mantillo. Sin embargo, otras características tienen una fuerte variabilidad espacio-temporal, y son importantes a considerar en los estudios de transferencia de agua en el suelo (Berndtsson y Larson, 1987). Dichas características son: la estructura, el estado de superficie es decir la presencia de costras, los elementos gruesos, la rugosidad, la abundancia de mantillo así como el grado de cobertura vegetal. Otros factores externos al suelo juegan en ocasiones un papel importante en la transferencia y el almacén del agua en las cuencas vertientes de la Sierra Madre. Tal es el caso de la intensidad de la lluvia, la topografía y la pendiente, el tamaño del impluvio⁶, el tamaño de las áreas deforestadas, la intensidad del pisoteo por el ganado y el sobre pastoreo. En este capítulo se presentarán algunos de los datos obtenidos en las cuencas vertientes experimentales (Figura 6.1).

Los suelos de la Sierra tienen, por todo esto, una fuerte variabilidad en lo que se refiere a su respuesta hidrológica, y a veces una gran fragilidad ante los procesos de erosión. El camino del agua en la Sierra Madre Occidental está regulado por las características biofísicas del medio moduladas por el impacto de la actividad humana, que hay que conocer bien.

Los suelos de la Sierra Madre Occidental se desarrollan sobre materiales de origen extrusivo puestos en superficie durante el Terciario, desde basaltos a riolitas. Son el principal escenario de los procesos de transferencia y almacenamiento del agua destinada a las actividades económicas del norte mexicano.

⁵ Ver glosario

⁶ Ver glosario

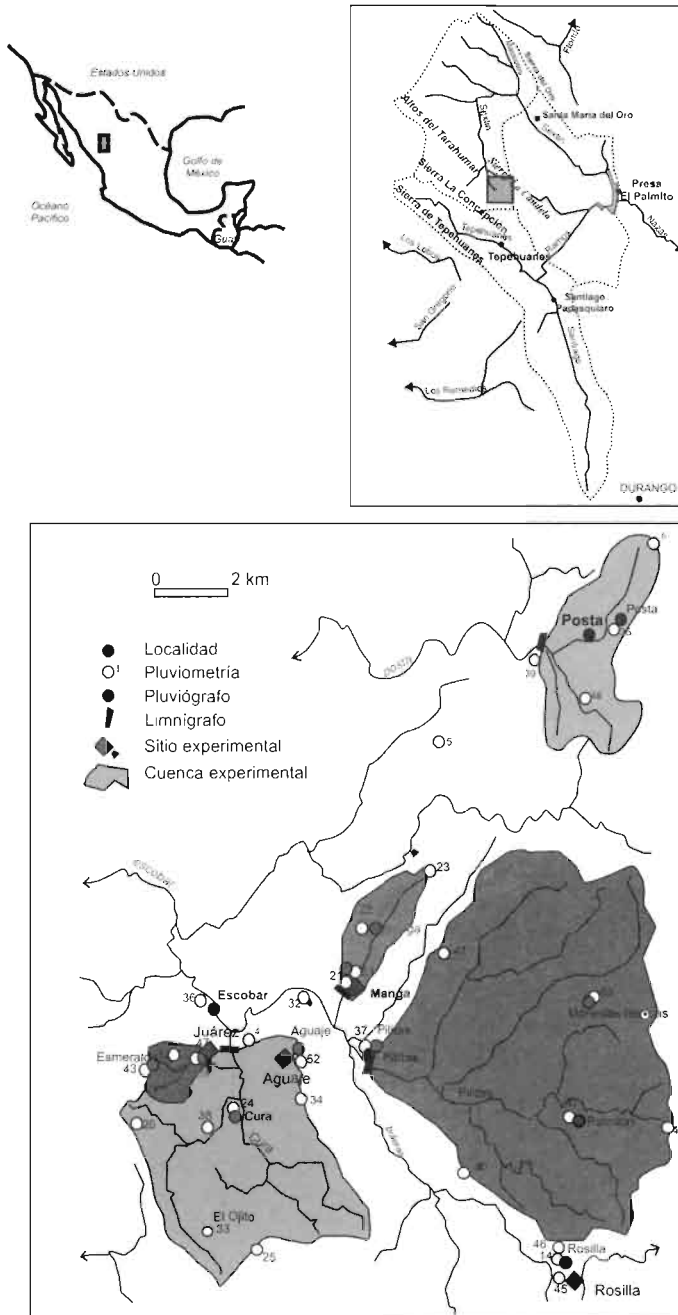


Figura 6.1. Cuencas vertientes experimentales de la Sierra Madre Occidental y red de estaciones de observación hidro-meteorológica.

Los suelos testifican una génesis edáfica distintiva del medio fersialítico⁷ modelado por las características geológicas, especialmente la presencia de grandes espesores de tobas y de ignimbritas del Mioceno así como de conglomerados, sometidos a la influencia antigua y reciente del clima.

Distribuidos a lo largo de la cadena montañosa entre 1500 y 3000 msnm, los suelos de la Sierra Madre Occidental son generalmente poco profundos y ricos en elementos gruesos; gravas, guijarros y piedras (Poulenard, 1995; Viramontes, 1995), y forman una cobertura discontinua con tres grandes tipos de suelos dominantes (FAO, 1998; González Barrios, 2000):

Los Leptosoles

Se agrupan a los antiguos Litosoles y Regosoles, son los más extendidos en la Sierra Madre. Son suelos poco profundos (menos de 0.3 m) distribuidos sobre todos los relieves masivos y sobre la mayor parte de las colinas y vertientes de la Sierra Madre Occidental.

Su gran extensión proviene del carácter relativamente joven de esta montaña donde los suelos se desarrollan poco, y dada la pendiente, están sometidos a una fuerte erosión que compensa ampliamente la velocidad de desarrollo de los perfiles, forzosamente lenta en esta región sometida a los fríos invernales y también a ocho meses de estación seca. En resumen son suelos poco evolucionados.

Los Cambisoles

De poca profundidad (0.6 a 2 m), pero con un perfil bien desarrollado, dan a la superficie del suelo un color beige, amarillo, rojo, violeta o verde, según el tipo de material de origen y su grado de alteración (González Barrios, 2000); se distribuyen en la mayor parte de las colinas y vertientes de la Sierra Madre. Las principales sub-unidades representadas son:

- los Cambisoles crómicos, que tienen un cromas⁸ elevado en su color;
- los Cambisoles vérticos, ricos en arcilla, con horizontes de estructura masiva y fisurados en seco;

⁷ Ver glosario

⁸ Ver glosario

- los Cambisoles gl icos, que tienen horizontes sometidos a la influencia de un manto freático.

Son los suelos cafés de la clasificación francesa. Se trata de suelos con un horizonte de alteración Bw bien marcado. Son suelos zonales del medio templado cuya presencia es bastante t pica en este medio tropical templado por la altitud. La presencia de variantes con carácter v rtico sin duda se relacionan con un clima templado caliente con estación seca marcada, es decir tendiente a subtropical, que no ha tenido inversión de estaciones secas y húmedas y que se asemejan a los climas mediterráneos.

De esto resultan:

- los procesos de rubefacción es decir de cristalización rápida de óxidos de fierro en hematita que tienen un poder cromático muy fuerte (rojo);
- filosilicatos II dominantes de tipo 2/1 (vermiculita, smectitas...) que pueden quizás explicar localmente un inicio del carácter v rtico (ver más abajo). Esto se aproxima a una génesis edáfica de tipo fersialítico.

El carácter g lico⁹ se debe relacionar evidentemente con los suelos de fondos bajos con mantos freáticos someros.

Los Feozems

Son los suelos más profundos (más de 2 m), se localizan en las planicies y fondos bajos de las vertientes. Muestran un color café oscuro con un perfil bien estructurado y desarrollado, rico en materia orgánica. Son suelos ricos en materia orgánica (relacionados a la vegetación herbácea), particularmente en el horizonte oscuro de superficie. Esto refleja una génesis en un clima típicamente contrastado con suficiente agua para que haya precolación en el perfil (los Feozems son suelos que sufren una cierta lixiviación de bases, pero no al punto de ser desaturados en superficie) pero con una estación seca igualmente marcada. En equilibrio especialmente en las zonas no muy erodadas, con vegetación importante de gramíneas y un buen funcionamiento biológico...

⁹ Ver glosario

Se observa una génesis edáfica global típica de las zonas de montaña tropicales con estaciones, húmeda y seca contrastadas. La abundancia de los Leptosoles muestra la intensidad de los fenómenos erosivos. Ciertos Cambisoles y Feozems presentan así características vérticas en presencia de arcillas abundantes. Sin embargo, no se desarrollan superficies de frotamiento en el perfil ni relieves de Gilgai¹⁰ en superficie.

El agua en los suelos de la Sierra Madre

Se realizaron numerosos análisis de suelo, *in situ* (medidas físicas realizadas en el campo) o en laboratorio, a los suelos de las cuencas experimentales y sus áreas de influencia en la Sierra Madre Occidental. En particular, más de 400 sitios fueron objeto de mediciones sistemáticas de la conductividad eléctrica (desde el cilindro simple hasta la infiltrometría con discos de succión controlada), densidad aparente, porosidad y granulometría. Esos elementos permitieron caracterizar el funcionamiento hidrodinámico de los suelos de la región a diferentes escalas.

Elementos gruesos

Como se mencionó anteriormente, los suelos de la Sierra Madre Occidental están caracterizados por una abundancia de elementos gruesos. Se puede constatar una distribución bi-modal con una de las modas hacia el 25 por ciento de la masa y otro hacia el 50 por ciento de la masa.

Esta presencia de elementos gruesos tiene repercusiones importantes en la dinámica del agua. En las pendientes inferiores a 20 por ciento, las piedras están fuera de la matriz y contribuyen a hacer el suelo poco permeable. En las pendientes más pronunciadas, las piedras están libres generalmente (por las razones citadas arriba) y contribuyen a favorecer la infiltración; en esas condiciones se puede constatar generalmente que cuando se levanta una piedra, el suelo es más blando y se nota una fuerte actividad biológica de la meso-fauna del suelo, lo cual no se observa en las vertientes poco escarpadas donde las piedras están selladas dentro de las costras superficiales.

¹⁰ Ver glosario

Esta fuerte pedregosidad esta ligada seguramente a la presencia de suelos poco espesos (Leptosoles) y por consecuencia a la proximidad de la roca madre que provee una abundancia de guijarros, piedras y bloques. En algunas zonas, también se puede concebir como la resultante de elementos gruesos por pérdida de partículas finas.

Si se razona en términos del conjunto de la zona de estudio, se pueden constatar tres caracteres remarcables en los suelos:

- una relación entre contenido de arcilla y contenido en elementos gruesos para el sitio CUR (cuenca del Cura);
- una relación entre la pendiente y el contenido de elementos gruesos para los sitios ESM (cuenca la Esmeralda, Figura 6.2) y para los sitios PIL (cuenca de Pilitas) hasta pendientes de 20 por ciento. Esto se interpreta evidentemente como una relación Pendiente \Rightarrow Erosión \Rightarrow Pérdida preferencial de partículas finas \Rightarrow Mayor contenido relativo en elementos gruesos;
- se constata al contrario que los pocos sitios en las pendientes más escarpadas (arriba de 25 ) presentan menores contenidos en elementos gruesos. Esto explicaria una erosión más baja en las pendientes fuertes (Figura 6.2).

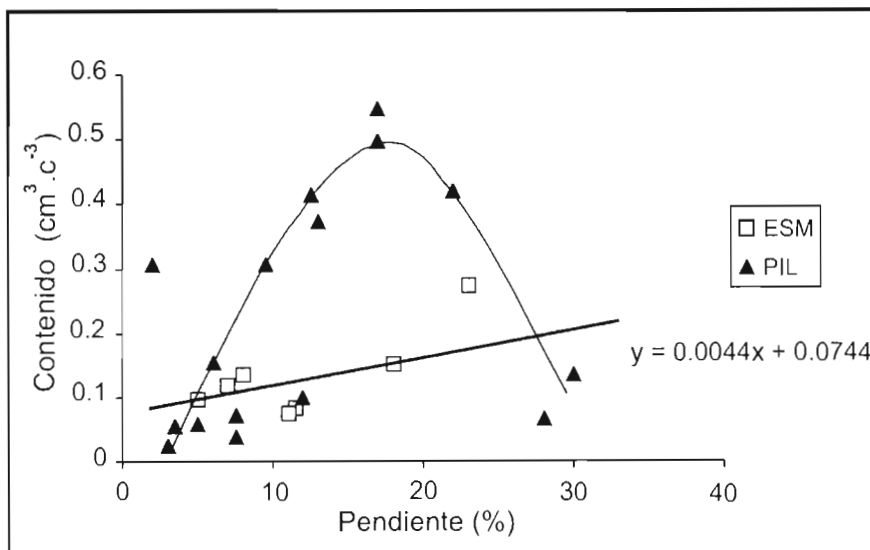


Figura 6.2. Relación entre la pendiente y el contenido en elementos gruesos, suelos de las cuencas Esmeralda y Pilitas.

Textura y contenido de materia orgánica

Se observa que las diferentes pruebas de infiltración fueron realizadas sobre suelos de textura muy variada y especialmente con fuertes fluctuaciones en el contenido de arcilla (de 8 a más de 40 por ciento). Las variaciones de contenido en materia orgánica en el horizonte de 0 a 10 cm son, por el contrario, mucho menores, de 0.5 a 2.5 por ciento (Figura 6.3).

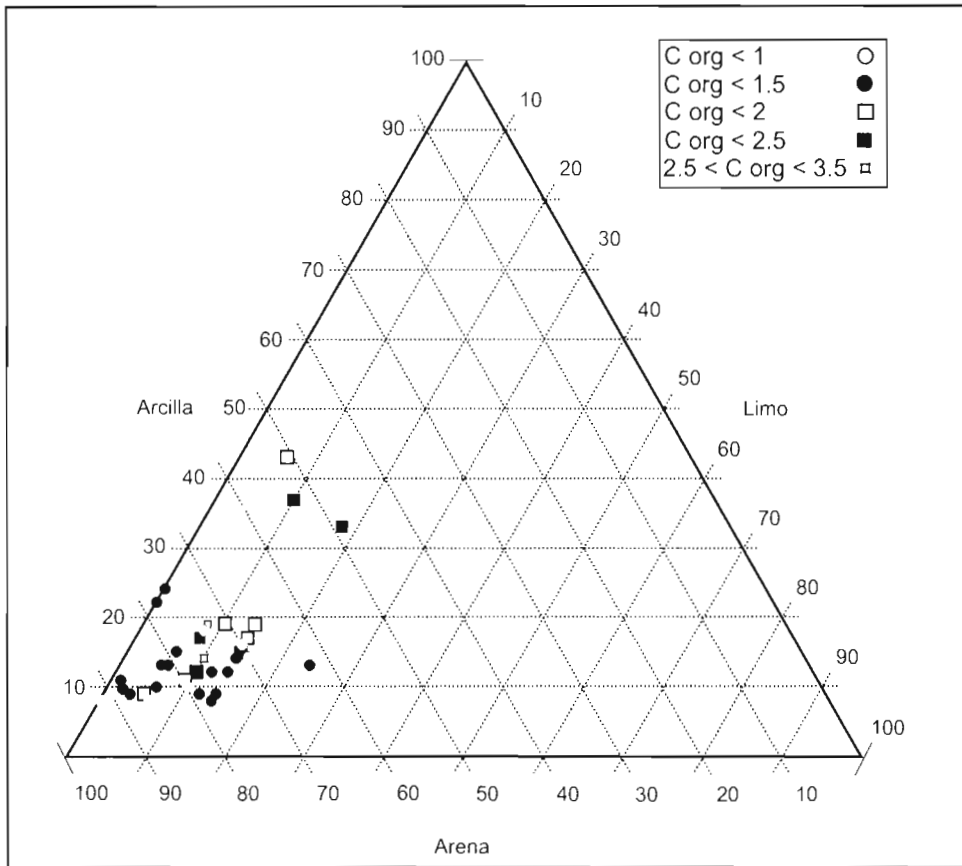


Figura 6.3. Repartición de los suelos en el diagrama de texturas, en función de sus contenidos en materia orgánica.

La cuenca el Cura presenta suelos con contenidos en arcilla estadísticamente más elevados que las otras tres. Sin embargo, la variación principal es una variación de sitios, a relacionar con el grado de evolución de los suelos y/o el contexto erosivo (zona de pérdida preferencial contra zona de depósito preferencial). Hay que notar que ninguna relación simple pudo establecerse para explicar la variabilidad de los contenidos en mate-

ria org anica de los suelos.

Sorprende observar una variabilidad extrema en todas las propiedades f isicas del suelo (Descroix *et al.*, 2002), tanto en t erminos de conductividad hidr aunica como de densidad aparente, porosidad y granulometria, en particular del contenido de arcilla y elementos gruesos. Esto se refleja seguramente por una extrema variabilidad de la capacidad de infiltraci on del suelo. La variabilidad del contenido en materia org anica (y del contenido total de carbono) se relaciona con la din amica actual de las superficies, las superficies desprovistas de vegetaci on activan fuertemente la mineralizaci on del carbono de los suelos (Podwojewski *et al.*, 2002) y de la vegetaci on (sobre pastoreo, remplazo de encinos por pinos...). Los contenidos en carbono (en g kg⁻¹ de tierra fina es decir menores a 2 mm) son bastante elevados mientras que lo almacenado calculado en 10 cm (ver m as abajo) es menor, lo cual esta ligado a la abundancia de los elementos gruesos. Esto ilustra el problema de una expresi on ponderal en la tierra fina ante la presencia de muchos elementos gruesos, y el inter es de calcular el volumen de los contenidos. De esta forma,  Qu  sentido tiene que la tierra fina sea m as rica en materia org anica y en carbono, si representa una proporci on muy baja del volumen?

Porosidad

Como se mencion o previamente, es delicado analizar la porosidad de la tierra fina cuando representa solamente del 30 al 60 por ciento del volumen total del suelo, por el enorme volumen de los elementos gruesos. Esta porosidad de la tierra fina puede naturalmente ser dividida en funci on de los resultados de las mediciones de capacidad de retenci on en agua con diferentes succiones. Aplicando la ley de Jurin Laplace se pueden disociar:

- la porosidad que corresponde a los poros de radio inferior a 0.2  m, capaces de retener el agua a pF 4.2 (pF = punto de marchitamiento permanente);
- la porosidad correspondiente a los poros de radio comprendido entre 0.2 y 10  m (poros llenos de agua a pF 2.5 y vacíos a pF 4.2);
- la porosidad total (resultado del simple c alculo $1-d_{atf}/d_r$).

Se puede constatar que la porosidad real de tamaño inferior a 0.2  m esta fuertemente ligada a la cantidad de arcilla (Figura 6.4). Se trata de una porosidad textural. Por el contrario, la porosidad de tamaño comprendido entre 0.2 y 10  m donde seguramente se almacena la reserva de agua útil para las plantas, es remarcablemente constante (las dos rectas de regi on son casi paralelas).

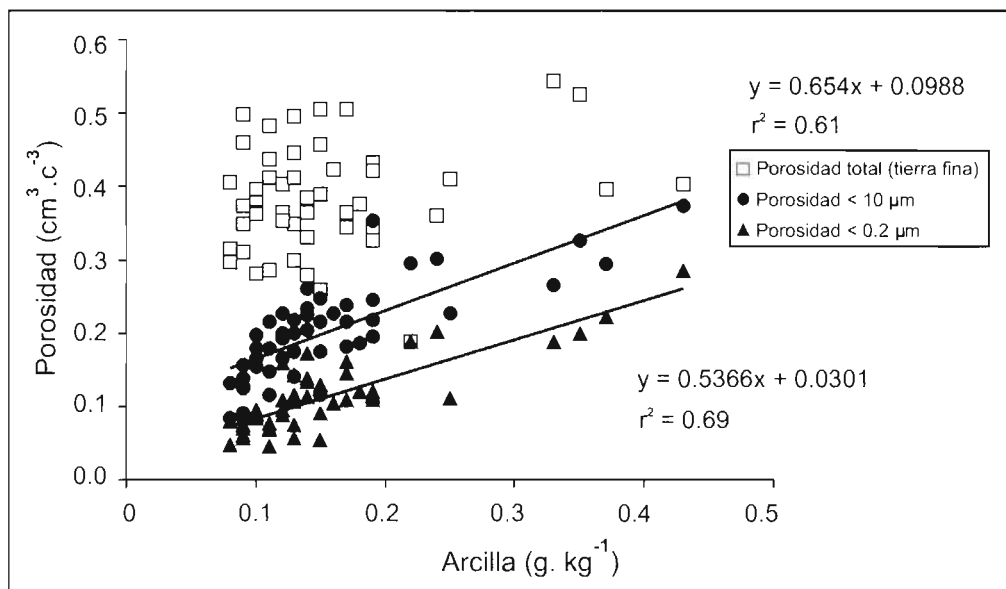


Figura 6.4. Relación entre la porosidad de los suelos y su contenido en arcilla en la Sierra madre Occidental.

Finalmente, la porosidad constituida de poros superiores a los 10 μm, es útil en las transferencias rápidas de agua y es claramente independiente de la cantidad de arcilla.

Estados de superficie en la Sierra Madre Occidental

Los estados de superficie constituyen un elemento que depende directamente del uso del suelo. La Figura 6.5 permite constatar que son probablemente el medio de clasificación del suelo que refleja más fielmente la información sobre sus características hidrodinámicas, a menudo marcadas por el uso que se da al suelo. Se puede constatar que no será en base al tipo de suelo, ni al tipo de roca madre, ni a la posición del sitio en la vertiente, lo que permitirá una segregación de clases de conductividad hidráulica tan marcada como de los estados de superficie.

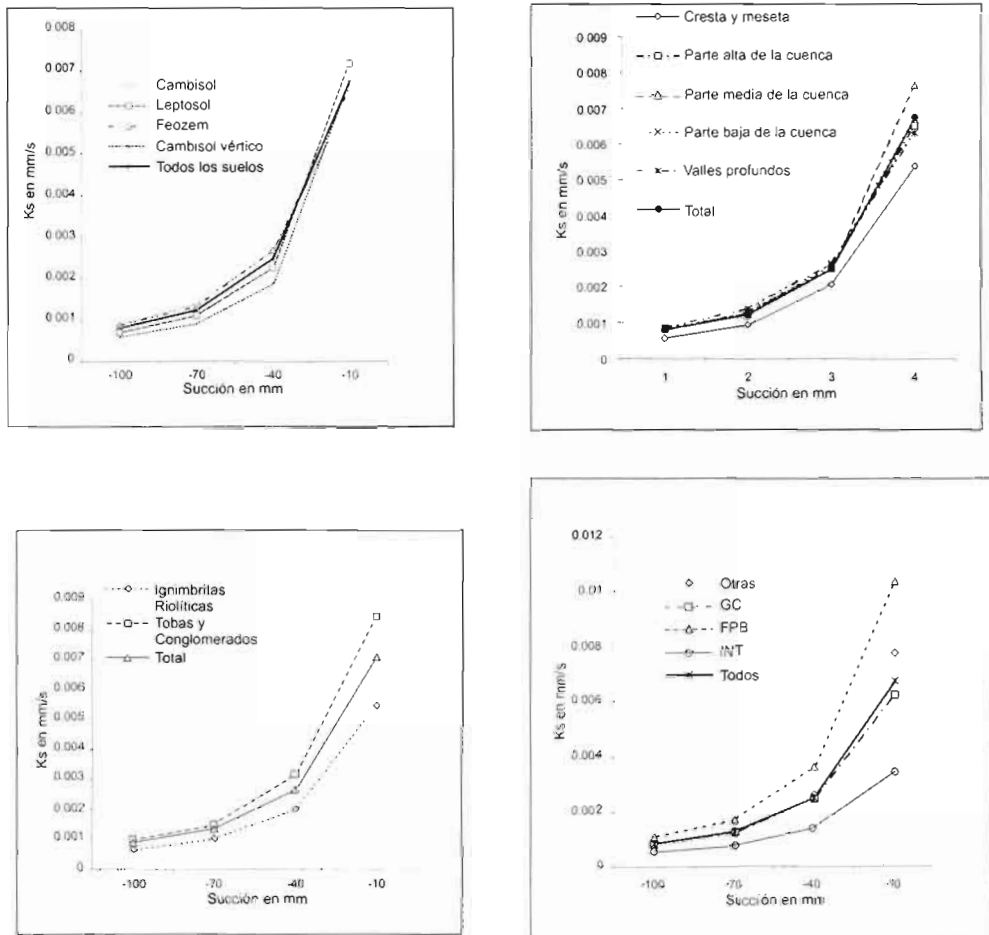


Figura 6.5. Clasificación de las medidas de conductividad hidráulica según los tipos de suelo, la litología, la posición del sitio de medición en la vertiente y los estados de superficie.

Estados de superficie ‘‘jóvenes’’

En las cuencas vertientes experimentales de la cuenca alta del Nazas, donde se realizaron las mediciones hidro-pluviométricas de 1994 a 1999 (Figura 6.1), se observó que todas las zonas situadas abajo de 2400 msnm habían sido transformadas en pastizales durante los últimos cincuenta años. Esto a partir de las haciendas y los pueblos que siguieron luego de la Reforma Agraria, como de los campamentos donde los empleados de grandes propiedades guardaban los rebaños. Poco a poco todo este espacio fue destinado a la ganadería.

Los sectores situados arriba de 2400 msnm son también, ante todo, ganaderos, aunque los bosques cubren aún un cierto porcentaje del espacio: más de la mitad cuando están arriba de 2700 msnm y más del 80 por ciento en las planicies más altas, alrededor de 2900 - 3000 msnm. Por consiguiente, a mayor elevación menor modificación de los pastizales. Por el contrario, en los sectores más elevados se realiza la tala de árboles con el objeto de aprovechar el bosque; la importante precipitación y la presencia de numerosos arbustos y residuos de explotación del bosque protegen por el momento los suelos del impacto del pisoteo.

Tipología

De la reciente degradación de la cobertura vegetal y del pisoteo del ganado se han formado varios tipos principales de estados de superficie¹¹ específicos (Figura 6.6): dos caracterizados por un encostramiento generalizado y uno por un empedramiento progresivo en la superficie. Estos tres estados de superficie cubren más del 95 por ciento del espacio en la zona consagrada exclusivamente a la ganadería. Los tres son recientes y su formación esta ligada al sobre pastoreo (Descroix *et al.*, 2001).

GC (costra con gravas o gravel-crust)

Este estado de superficie es típico de zonas de pastoreo con pendientes entre 2 y 20°; se trata de una costra delgada (Figura 6.6a) formada por partículas finas de suelo en las cuales se incrustan las gravas, lo que limita sustancialmente la infiltración del agua y favorece el escurrimiento. Su formación esta ligada al impacto de la lluvia (efecto *splash*¹²) en las superficies de suelo desnudo que se extienden cada vez más; este proceso desplaza a las partículas más finas del suelo que van a tapar los poros y a fijar las gravas (inferiores a 20 mm) en la matriz.

Ese tipo de costra se observa en las áreas con coeficientes de escurrimiento elevado, donde hay pérdidas de suelo importante, sobrepastoreadas y donde aumentan las superficies de suelo desnudo. Corresponde al tipo de costra definida también con ese nombre por Casenave y Valentin (1989). Los altos coeficientes de escurrimiento en ellas se explican por la incrustación de las gravas en la costra (Poesen *et al.*, 1990; Casenave y Valentin, 1992).

¹¹ Ver glosario

¹² Ver glosario

FPB (piedras y guijarros libres o free pebbles and blocks)

Este tipo de superficie se encuentra en el bosque, pero sobre todo, en los pastizales donde las pendientes sobrepasan 20^o. Se caracteriza por una fuerte proporción de bloques, piedras y guijarros (superiores a 20 mm), que no est n incrustados en la matriz del suelo (Figura 6.6b). Si se mantiene la carga animal excesiva, después de la formación de un pavimento, aparecen las terracitas debido al pisoteo del ganado. Los guijarros no se incrustan en la matriz debido a su gran número y a su tamaño, pero sobre todo a la combinación de la pendiente y el paso incesante de los rebaños que se desplazan constantemente.

INT (costras endurecidas o indurated topsoil)

Este tipo de superficie se encuentra en todos los tipos de medio con pendientes bajas (menos de 10^o); la localización más frecuente es en el interfluvio o en los pastizales bajos de las vertientes (donde la arcilla no ha sido aún redistribuida o, por el contrario, donde se acumula). Su caracterstica es un endurecimiento de los horizontes superficiales (de 20 a 40 cm) en los Feozems rojos. Estos horizontes están fuertemente compactados por su alto contenido de arcilla (contrariamente al GC) y por el pisoteo incesante del ganado, pero no representan más que del 5 al 10 por ciento de la superficie de los pastizales (Figura 6.6c). En zona tropical, ese tipo de superficie tiende hacia una costra ferruginosa.

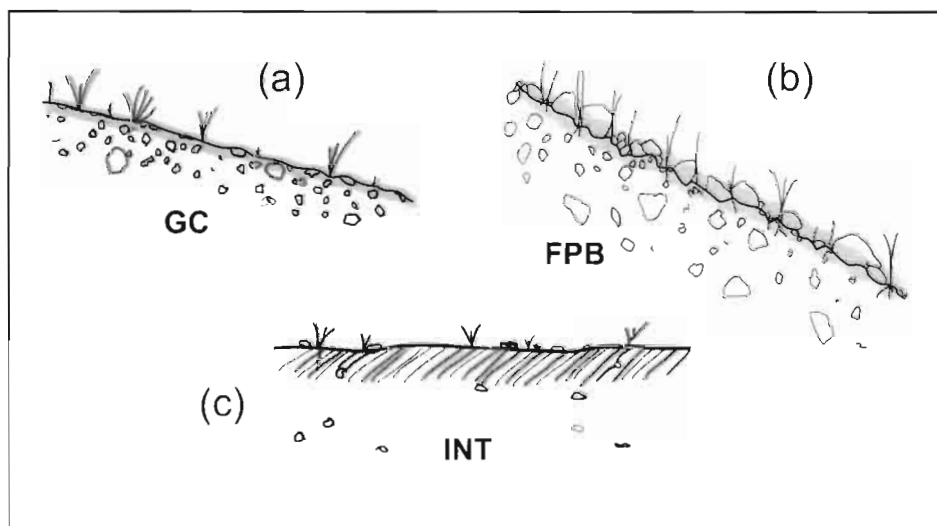


Figura 6.6. Perfil de tres principales estados de superficie descritos: a) GC (costra con gravas o gravel-crust; b) FPB (piedras y guijarros libres o free pebbles and blocks; c) INT (costras endurecidas o indurated topsoil).

Boyer (1999) realizó una cartografía de los estados de superficie en dos cuencas experimentales y mostró la lógica de su distribución espacial en función de las pendientes y de su localización en las vertientes.

Estados de superficie de la zona semiárida en un sector de montaña subtropical

Los estados de superficie actuales, postulados como resultado de un estado de erosión anterior, hacen pensar en los de zonas más áridas. Por ejemplo, las superficies "INT" y "GC" se encuentran también en la cuenca experimental "Atotonilco", en la zona semiárida, del norte centro de México. En ese otro sitio de observación hidrológica la precipitación anual es de 400 mm (contra 600 mm en promedio en las cuencas de la Sierra Madre), y los pastizales presentan grandes superficies de suelo desnudo no obstante de tener un mejor manejo (el sitio experimental se encuentra en un rancho privado de 40,000 hectáreas, con medio centenar de pozos disponibles para abrevar al ganado y con complemento de forrajes cuando los pastizales son muy poco productivos) (Estrada, 1999). Esto provoca la formación de organizaciones peliculares superficiales (OPS) y el endurecimiento significativo de los suelos de las vertientes. En resumen, se puede decir que en este medio definido como sub-húmedo donde la precipitación permite normalmente la presencia de pastizal muy denso con encinos, se encuentran también superficies típicas de las zonas semiáridas (Dufeu, 1998; Viramontes *et al.*, 2002).

Es difícil imaginar que, si el 95 por ciento del territorio esta sobrepastoreado y comprende uno de los tipos de superficie que se consideran como producto de la sobre-explotación de las herbáceas, esto no tenga un impacto hidrológico. No obstante que en las pendientes pronunciadas el proceso de degradación parezca "auto-frenado" por el recubrimiento de la superficie, este tipo de formación superficial esta más bien sujeta al escurrimiento al igual que los escasos sitios protegidos desde hace tiempo donde se pueden observar todavía los perfiles de suelo antes de su degradación.

Conclusión

Aparece claramente que el pisoteo del ganado y la degradación del estrato vegetal, modifican la estructura del suelo y el aspecto de las vertientes, favoreciendo el escurrimiento (por el cierre de poros, la compactación y el endurecimiento de la superficie del suelo). Por el contrario, en la superficie de vertientes más escarpadas, la degradación de la vegetación y de los suelos favorece una mayor pedregosidad que disminuye la velocidad del escurrimiento y la erosión al dispersar la energía cinética de las lluvias y favorecer la infiltración.

Es pues importante considerar cuales pueden ser las consecuencias de estas actividades y sus estados de superficie en el comportamiento hidrodin amico de las vertientes de la Sierra Madre Occidental.

Bibliografía citada

- Ambroise, B. 1998. Gen ese des d ebits dans les petits bassins versants ruraux en milieu temper e: 1-Processus et facteurs. *Revue de sciences de l'eau*. No. 4 471.
- Boyer, C. 1999. Variabilit e spatiale du comportement hydrodynamique des versants dans la Sierra Madre Occidental. M emoire de maîtrise de g eographie, Institut de G eographie Alpine, UJF-Grenoble, 108 p.
- Bergkamp, G. 1998. A hierarchical view of the interactions of runoff and infiltration with vegetation and micro-topography in semiarid shrublands. *Catena*, 33, 201-220.
- Berndtsson, R. and M. Larson. 1987. Spatial variability of infiltration in a semi-arid environment. *J. Hydrol.* 90, 117-133.
- Casenave A. et C. Valentin. 1989. Les  tats de surface de la zone sahelienne. Influence sur l'infiltration. Col. Didactique. Editions ORSTOM, Paris, 229 p.
- Casenave A. et C. Valentin. 1992. A runoff capability classification system based on surface features criteria in the arid and semi-arid areas of West Africa. *J. Hydrol.* 130, 231-249.
- Calder, I.R., L.R. Hall, H.G. Bastable, H.M. Gunston, O. Shela, A. Chirwa and R. Kafundu. 1995. The impact of land use change on the water resources in sub-Saharan Africa: a modelling study of lake Malawi. *Journal of Hydrology*, 170, 123-135.
- Cosandey, C., D. Boudjemline, E. Roose et F. Lelong. 1990. Etude exp erimentale du ruissellement sur des sols   v eg etation contrast ee du Mont Loz ere. *Z f ur Geomorphologie*, 34 (1), 61-73.
- Croke, J., P. Hairsine and P. Fogarty. 1999. Runoff generation and re-distribution in logged eucalyptus forests, south-eastern Australia. *Journal of Hydrology*, 216, 56-77.
- Descroix, L., D. Viramontes, M. Vauclin, J.L. Gonzalez Barrios and M. Esteves, 2001. Influence of soil surface features and vegetation on runoff and erosion in the Western Sierra Madre. *Catena*, 43: 115-135.
- Descroix, L., J.L. Gonzalez Barrios, J.P. Vandervaere, D. Viramontes and A. Bollery. 2002. An experimental analysis of hydrodynamic behaviour on soils and hillslopes in a subtropical mountainous environment (Western Sierra Madre, Mexico). *Journal of Hydrology*, 266: 1-14.
- Dufeu, R. 1998. Les parametres du ruissellement et l'erosion, impact du surp aturage dans la Sierra Madre Occidental (Mexique). Mem. Fin d'études ISTMO-ORSTOM 95p.
- Estrada, J. 1999. Importance et fonctionnement des petis barrages dans une zone semi-

- aride du Nord Mexicque. Thèse de l'Université Montpellier 2, 320 p.
- FAO/ISRIC/ISSS. 1998. World Soil Resources. Report No.81 FAO, Rome.
- Fritsch, J.M. 1990. Les effets du défrichement de la forêt amazonienne et de la mise en culture sur l'hydrologie de petits bassins-versants en Guyane française. Thèse, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 390 p.
- Galea, G., P. Breil, et A. Ahmad. 1993. Influence du couvert végétal sur l'hydrologie des crues, modélisation à validations multiples. *Hydrol. Continent.*, vol. 8, n°1 :17-33.
- Hudson, J.A. and K. Gilman. 1993. Long term variability in the water balances of the Plynlimon cathments. *Journal of Hydrology*, 143 : pp 355-380.
- González Barrios, J.L. 2000. Los suelos de la sierra. Memorias del Seminario sobre el uso y manejo del agua en las cuencas hidrologicas de México. IRD-INIFAP CENID RASPA. Gomez Palacio, Dgo.
- Podwojewski, P., J. Poulénard, T. Zambrana and R. Hofstede. 2002. Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the paramo of Llangahua and La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). *Soil Use and Management*, 18: 45-55.
- Poesen, J., F. Ingelmo-Sánchez and H. Mucher. 1990. The hydrological response of soil surfaces to rainfall as affected by cover and position of rock fragments in the top layer. *Earth Surf. Process. Landforms*, 15:653-671.
- Poulénard, J. 1995. Surpâturage et érosion dans la Sierra Madre Occidentale. Projet ORSTOM-CENID RASPA, Mexique. Mémoire de fin d'études ISTOM. 82p.
- Viramontes, D. 1995. Caracterización de los suelos y la vegetación en la parte alta de la cuenca del Nazas. Folleto científico n°3, publication Orstom-Cenid Raspa, Editeur Cenid Raspa, Gomez-Palacio Durango, México.
- Viramontes, D., L. Descroix, A. Bollery et J. Poulénard. 2002. Comportement hydro-érosif des sols de la Sierra Madre Occidentale : processus hydrologiques et évolution d'un milieu soumis à la surexploitation. *Géomorphologie*, 3: 239-25.
- Scott Munro, D. and L.J. Huang. 1997. Rainfall, evaporation and runoff responses to hillslope aspects in the Shenchong Basin. *Catena*, 29, 131-144.
- Snelder, D.J. and R.B. Bryan. 1995. The use of rainfall simulation tests to assess the influence of vegetation density on soil loss on degraded rangelands in the Baringo District, Kenya, *Catena*, 25, 105-116.
- Woo, M., G. Fang and P. DiCenzo. 1997. The role of vegetation in the retardation of rill erosion. *Catena*, 29: pp 145-149.

Capítulo 7

Condiciones que favorecen la erosión y el escurrimiento en manto

José Luis González Barrios, Luc Descroix, David Viramontes, Jérôme Poulénard, Alain Plenecassagne, Laura Macias, Christelle Boyer, Arnaud Bollyer, Rodolfo Jasso Ibarra

Se realizaron mediciones bajo condiciones de lluvia natural en la red de parcelas y cuencas vertientes equipadas de la Sierra Madre Occidental (180 eventos de lluvia de 1994 a 1998). Esto permitió prescindir del uso de un simulador de lluvias además de contar con una de base de datos en condiciones reales. Las parcelas de medición, por el contrario, llevan implícita un “ruido de fondo” ya que su instalación perturba las condiciones de escurrimiento e infiltración natural. En la medida de lo posible, se instalaron estas parcelas en función de la topografía, procurando no alterar los estados de superficie existentes. Sin embargo, es claro que los únicos datos sin ese “ruido de fondo” son los observados a la salida de las cuencas vertientes.

Para las cuencas de varios miles de km², es difícil dar una idea de las formas del escurrimiento y de los límites de su desencadenamiento en el campo a partir de los gastos observados en la salida. Sin embargo, es la única fuente de información que se dispone para periodos largos en los estudios hidrológicos en el norte de México. Ejemplo de ello son: la estación El Palmito puesta en servicio en 1929 en el sitio donde más tarde se instalaría la presa del mismo nombre (inaugurada en 1946); las estaciones Sardinias (en el río Sextín) y Salomé Acosta (en el río Ramos) puestas en servicio en 1970 para cuantificar los dos grandes afluentes del río Nazas y que funcionaron correctamente excepto en la gran crecida de 1991-1992.

Estados de superficie y comportamiento hidrodinámico de las vertientes

¿Comportamiento hortoniano¹?

Se toman como ejemplo los histogramas de la estación El Cura para los años 1995 y 1996 (Figura 7.1), la cuenca vertiente tiene una superficie de 21.8 km², desarrollada sobre riolitas, con una cobertura vegetal de 43 por ciento y con pendientes poco escarpadas (en promedio 6.6°).

La precipitación y los gastos del año 1995, representativos de los años observados (1994 a 1999), muestran un retorno rápido a 0 en los escurrimientos después de las precipitaciones, característico del escurrimiento hortoniano debido a que la intensidad de la lluvia sobrepasa la capacidad de infiltración del suelo (Horton, 1933). Si se refiere al año 1996, único que no es representativo de los años observados, se aprecia que hasta el 18 de agosto el comportamiento de los escurrimientos es conforme al de 1995. Posteriormente se tiene la aparición de un escurrimiento de base en el arroyo, de algunas centenas de litros por segundo, y esto durante tres semanas, por el hecho de una pluviosidad importante.

La aparición del flujo base fue observado posteriormente en solo dos ocasiones: en 1997 durante algunos días al final de la temporada, originado por una abundante precipitación, y del 15 al 20 de junio de 1998, es decir antes de la llegada de las lluvias del monzón², originado por los remanentes de un huracán (60 mm en 4 días) (Boyer, 1999).

Sequía de los años observados

Pero la observación de series de precipitaciones observadas en la Sierra (Figura 7.1) muestra que los años 1994 a 1999 fueron secos y que inversamente, 1996 por el contrario entra en el promedio de precipitación del periodo 1970-2000. Se puede deducir que el año 1996, poco representativo del periodo de observación, es de hecho representativo de la serie "larga" ¿Es decir de una situación "normal" o "promedio"?

¹ Ver glosario

² Ver glosario

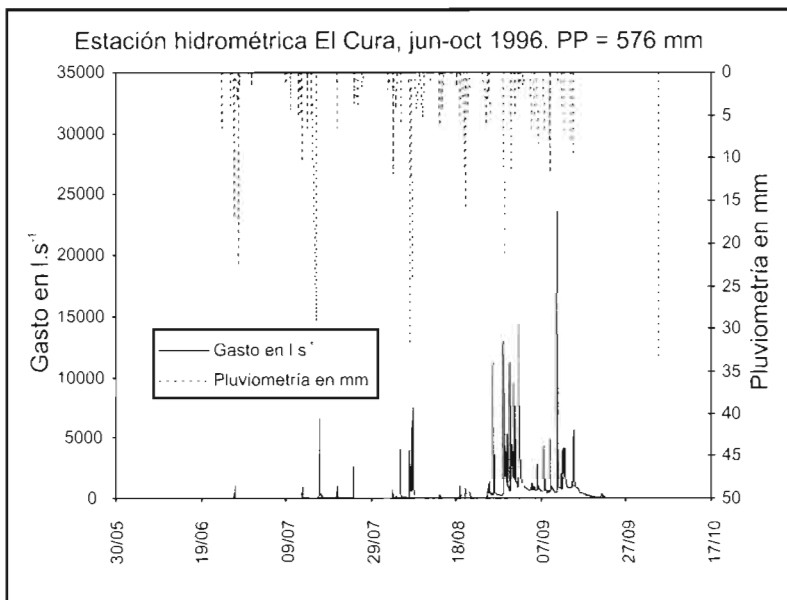
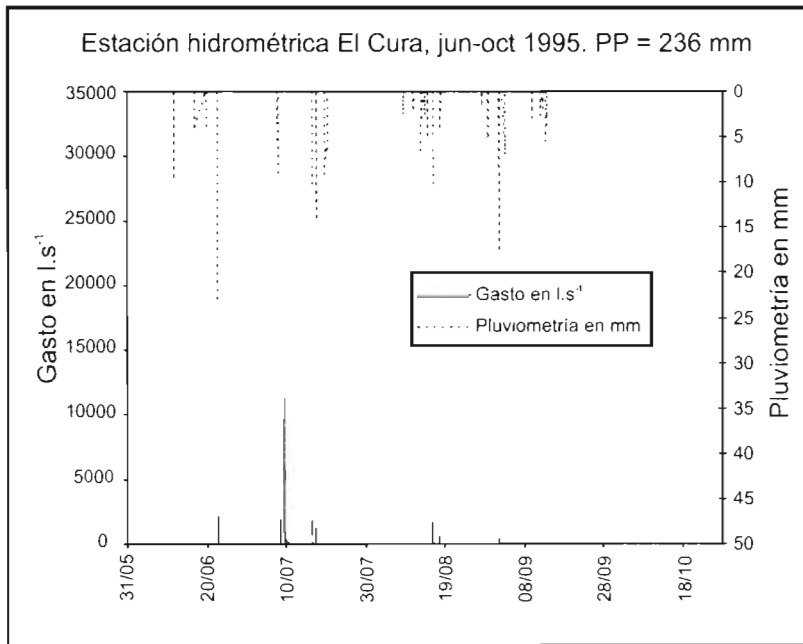


Figura 7.1. Comparación de los hidrogramas de la estación del arroyo el cura para 1995 y 1996.

A priori sí, pero la falta de observaciones a la escala de la parcela o del una pequeña cuenca experimental nos obliga a tomar como referencia las cuencas grandes de los ríos Ramos y Sextín en los que se confirma que 1996 está más cerca de los años anteriores a 1993 y que es posiblemente el único año representativo de los años de mediciones (Viramontes, 2000).

Esto fue confirmado por un testimonio oral (sujeto a la subjetividad) de los habitantes de los pueblos de la Sierra, que afirmaban al ver un escurrimiento semi perenne reestablecido en los arroyos después del 20 de agosto de 1996, que en efecto esa era la situación normal, al menos a la que ellos estaban acostumbrados a ver (Inard-Lombard, 2000).

El comportamiento hortoniano de los escurrimientos medidos, ¿Es debido a la degradación de los suelos o a medidas efectuadas durante los años secos?

En la Figura 7.2 se aprecia la respuesta hidrológica de las cuencas a la precipitación y a la sucesión de años secos que prevaleció durante el período de observaciones.

Antes que nada, se aprecia que el déficit de precipitación, a la escala de las grandes cuencas (4,660 km² del río Sextín y 7,130 km² del río Ramos), es menor que en las cuencas experimentales (déficit de 20-25 por ciento en lugar de 30-35 por ciento en la Ciénega de Escobar, ver Cuadro 7.1). A pesar de ello, después de 1993, los coeficientes de escurrimiento y las láminas escurridas disminuyeron sensiblemente en cada una de las cuencas (excepto en 1996). Los escasos escurrimientos observados a partir 1994 se asemejan a los registrados en la cuenca El Cura en 1995, al igual que en 1994, 1997, 1998 y 1999 (Figura 7.1).

Por el contrario, en la Figura 7.2 se aprecia que el año de 1996 se asemeja más a los años anteriores a 1991, tanto en su precipitación como en sus escurrimientos. El año de 1997 tuvo un comportamiento particular, con una precipitación elevada y poco escurrimiento. Este año es un año caliente en términos de El Niño (*El Niño Southern Oscillation*, ENSO; Rossel, 1997), lo que provocó abundantes precipitaciones en invierno, aunque no llegaron a tener el volumen del invierno 1991-1992 ni su efecto en términos de escurrimiento. En este sentido, las lluvias de diciembre 1991 y enero 1992 llenaron la presa El Palmito, incluso llegando a provocar inundaciones en Comarca Lagunera, situada 150 km aguas abajo.

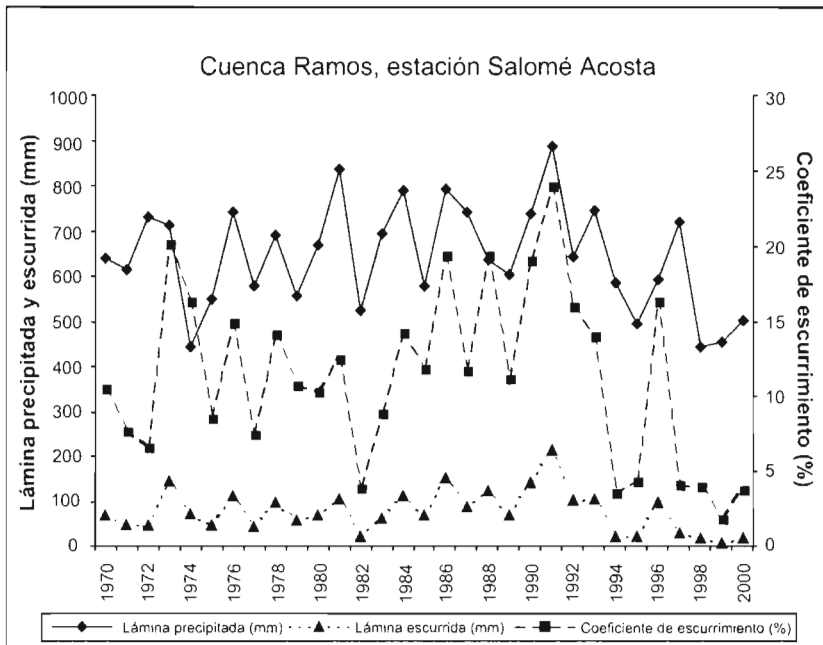
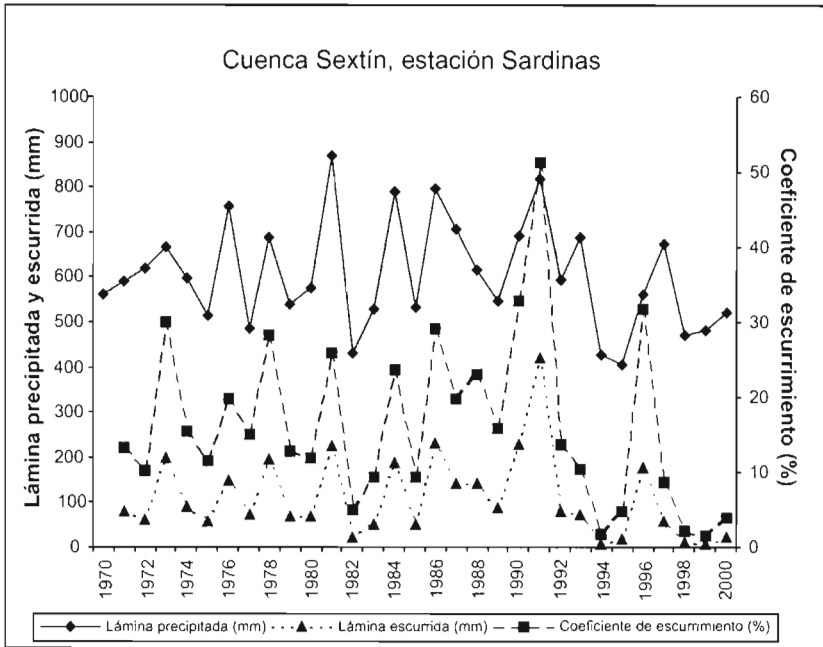


Figura 7.2. Precipitación, gastos observados y coeficiente de escurrimiento para las cuencas del río Sextín y del río Ramos de 1970 a 2000.

Al analizar los registros de los períodos más largos de lluvia en las grandes cuencas, y los seis años de mediciones en las cuencas experimentales más pequeñas, se puede observar que el escurrimiento en los pastizales de la Sierra Madre Occidental es mixto. Éste presenta un funcionamiento principalmente hortoniano durante los años secos y durante las primeras semanas de las épocas de lluvias; y un escurrimiento cappusiano³ (Cappus, 1960) ante la ocurrencia de huracanes, al igual que en los inviernos de los años “calientes” (es decir con El Niño) y en años de precipitación normal, a partir de una precipitación acumulada de 200 mm en un mes de la estación de lluvias.

Cuadro 7.1. Precipitación anual en los sitios de medición, de 1994 a 1999 (años de observación hidrológica).

Sitio experimental	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Rosilla				345	360	612	339	365		
Aguaje				295	324	690	298	320		
Manga				234	284	602	322	272		
Cuenca experimental										
Manga				245	321	578	281	260	300	
Cura				295	330	643	290	360	340	
Esmeralda				315	340	652	310	390	380	
Pilitas				312	310	620	315	280	310	
Estación de Ciénega de Escobar*	428	432	512	370	490	694	460	410	365	445

* Se trata de la estación más cercana de la red nacional de medición de CNA. Esta situada a 10 km al oeste del centro del dispositivo experimental; su precipitación anual promedio (1965-1998) es de 584 mm (desviación estándar = 141 mm).

Para resumir a la vez espacialmente y temporalmente esta variación de facies hidrológica, se puede estimar que existe un umbral de 500 mm de precipitación anual abajo del cual todo escurrimiento es hortoniano, y arriba del cual aparece un escurrimiento cappusiano. Se puede estimar que este aparece cuando se han producido 200 mm de precipitación en algunas semanas, llenando con ello, en una gran parte del espacio, la capacidad de absorción de agua de los suelos.

³ Ver glosario

Esta capacidad ha sido calculada (Descroix *et al.*, 2002): en 32 mm en promedio para los Cambisoles de un espesor de hasta 20 cm, y de 135 mm cuando tienen de 20 a 60 cm de profundidad; esas dos categorías representan 94 por ciento del espacio en los pastizales y bosques de la Sierra Madre Occidental (Viramontes, 1995; Barral y Anaya, 1995). La poca profundidad de esos suelos y la impermeabilidad total de las ignimbritas riolíticas subyacentes, explican el rápido paso a un funcionamiento en zonas saturadas contributivas, las cuales solo se pudieron observar durante 1996, debido a la escasa precipitación durante el periodo de observaciones.

Conclusión: el efecto de la duración del evento cuando el reservorio es pequeño

Las lluvias de invierno y las lluvias de los remanentes de huracanes muestran un funcionamiento interesante: escurren, al cabo de algunas horas o días, a pesar de tener valores de intensidad más bajos (0.5 a 2 mm h^{-1}) que las conductividades hidr ulicas⁴ observadas en el campo. Estas últimas, a pesar de presentar una fuerte variabilidad espacial (Descroix *et al.*, 2002) tienen valores promedio de:

- 11 mm h^{-1} en las superficies de tipo "INT"
- 14.5 mm h^{-1} en las superficies de tipo "GC"
- 29 mm h^{-1} en las superficies de tipo "FPB"

Ahora bien, si las lluvias son poco intensas y con una duración de varios días continuos (característica de las lluvias de invierno y de los huracanes), éstas llegan a saturar el reservorio del suelo incluso si éste se encuentra vacío al principio de las precipitaciones, teniendo a su favor que estas lluvias se producen generalmente en un momento en que la evapotranspiración es baja (caso de las lluvias de invierno). Así, el suelo puede saturarse en dos días con una precipitación de 1 mm h^{-1} (Viramontes *et al.*, 2002), lo que puede provocar que el reservorio "desborde" y que las vertientes funcionen como superficies saturadas contributivas (Imbeaux, 1892); aunque requieran 20 mm de lluvia al principio de la temporada y de 5 a 15 mm al final de la estación para que un evento de lluvia de una hora de duración provoque escurrimiento. Este efecto de la duración fue observado en el sitio semiárido de Atotonilco (Estrada, 1999).

⁴ Ver glosario

Consecuencias en las propiedades físicas de los horizontes superficiales de los suelos: ¿Porqué no hay cárcavas?

Las mediciones de las propiedades físicas de los suelos fueron realizadas de 1997 a 2001 en las cuencas de la Sierra. En 1997 se realizaron las mediciones de infiltrometría con cilindro único (método de Roose *et al*, 1993) y de densidad aparente (método del cilindro). Se tomaron muestras de suelo en cada sitio para determinar la granulometría⁵ (en el laboratorio del CENID RASPA en Gómez Palacio) así como para determinar los parámetros siguientes:

- capacidad de campo⁶
- punto de marchitamiento permanente⁷
- contenido de carbono total⁸
- porosidad⁹

En 1998, el trabajo de medición en el campo se llevó a cabo en los mismos sitios pero con el método de infiltrometría TRIMS (Vauclin y Chopart, 1992). En cada sitio se realizaron: una prueba en modo multipotencial (haciendo variar la depresión aplicada al infiltrómetro) y tres pruebas simples (con una depresión única de 10 mm) realizadas, una con disco grande (25 cm de diámetro) y las otras dos con disco pequeño (8 cm) para tener datos en modo multi-radial (Vandervaere, 1995). El hecho de tomar el promedio de las medidas realizadas con los discos pequeños para el cálculo de la conductividad hidráulica (K), limita el efecto de la variabilidad espacial de sus valores. Se utilizó en cada sitio la plataforma de un disco grande para efectuar el muestreo de densidad aparente con el método “de la alberca”, el cual resultó más robusto que el método de densidad aparente con el cilindro.

Con el fin de determinar la relación entre variables y su relación con la conductividad hidráulica, se realizó un análisis en componentes principales (ACP).

⁵ Ver textura en glosario

⁶ Ver glosario

⁷ Ver glosario

⁸ Ver glosario

⁹ Ver glosario

Los resultados se exponen en la Figura 7.3; el número de variables del espacio de las dos primeras componente se explica en el Cuadro 7.2.

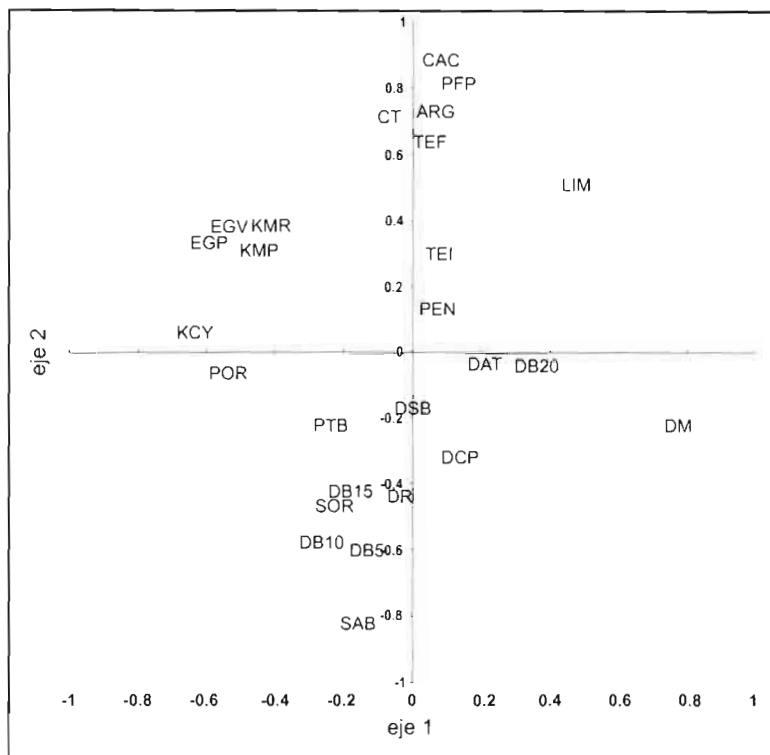


Figura 7.3. Espacio de las variables del ACP parámetros del suelo (tomado de Descroix *et al.*, 2002).

El espacio de las variables permite poner en evidencia los siguientes puntos (Descroix *et al.*, 2002):

- Existe una correlación evidente entre los valores de conductividad hidráulica (KMR y KMP en particular) y el contenido en elementos gruesos (EGP y EGV), esto de acuerdo a lo constado en escurrimiento y erosión;
- La pendiente (PEN) la densidad aparente total (DAT, matriz del suelo más elementos gruesos) y el diámetro del bulbo de humectación (DSB) no tienen relación notoria con la conductividad hidráulica

Cuadro 7.2. Parámetros físicos del suelo tomados en cuenta en el ACP.

Conductividad hidráulica	KMR KMP KCY	K medida con TRIMS en modo multi-radial K medida con TRIMS en modo multi-potencial K medida con el método Beerkan
Densidad aparente	DAT DCP DM DR	densidad aparente del suelo completo (matriz, piedras y guijarros) densidad de piedras y guijarros densidad de la matriz densidad real
Porosidad	POR	porosidad
Pendiente	PEN	valor de la pendiente
Dimensión del bulbo de humedecimiento de las pruebas de cilindro	PTB DSB DB5 DB10 DB15 DB20	profundidad total del bulbo diámetro superficial del bulbo diámetro del bulbo a 5 cm de profundidad diámetro del bulbo a 10 cm de profundidad diámetro del bulbo a 15 cm de profundidad diámetro del bulbo a 20 cm de profundidad
Textura	ARG LIM SAB	% de arcilla % de limo % de arena
Elementos gruesos	EGV EGP	% de elementos gruesos (en volumen)% de elementos gruesos (en peso)
Sortividad	SOR	sortividad
Contenido en agua	TEI TEF	contenido inicial de agua contenido final de agua
Propiedades del suelo	CAC PFP CT	capacidad de campo punto de marchitamiento permanente carbón total

Esos parámetros físicos explican las fuertes variaciones de conductividad hidráulica entre los diferentes estados de superficie (Descroix *et al.*, 2001). El punto más importante parece ser el papel de la pedregosidad (Poesen, 1990) y en particular el papel de las piedras grandes libres en los terrenos con pendiente.

- El primer eje explica 24 por ciento de la varianza y es determinado también por la porosidad (POR) que se correlaciona positivamente a la conductividad, y la densidad

de la matriz del suelo (DM) que se correlaciona negativamente con K.

- El segundo eje (que explica 16 por ciento de la varianza), es caracterizado por el contenido en arcilla (ARG), la capacidad de campo (CAC), el punto de marchitamiento permanente (PFP), el contenido de carbono total (CT), y el contenido en agua a saturación (TEF), todas estas variables se correlacionan positivamente con K; por el contrario, la densidad real (DR) se correlaciona de manera negativa.

Se utilizaron esos parámetros para determinar, en el paisaje donde domina fuertemente la erosión aerolar (o laminar), los parámetros que originan las cárcavas (De Ploey, 1991). Varios de estos son muy difíciles de cuantificar salvo introduciendo una desviación en el tratamiento estadístico de los datos. Se procedió entonces a un análisis factorial de correspondencias (AFC) para encontrar las relaciones entre variables estudiadas.

Así, se tomaron en cuenta:

- los elementos vegetales (en porcentaje de cobertura): mantillo (LIT), árboles (ARB), gramíneas (GRM), plantas anuales (ANN);
- los elementos litológicos: afloramientos de ignimbritas (IGN);
- los elementos edafológicos: proporción de arena (SAB), estados de superficie (GC) pedregosidad (PIE) gravas (GRV), encostramientos (CRO);
- los elementos topográficos: pendiente (PEN), rugosidad (RUG) presencia de terracitas (TER), distancia de la cárcava al dren principal (DRR), pendiente de esta distancia (PRR);
- los elementos descriptivos de las cárcavas: cuenca vertiente que la alimenta (SRF), longitud (LON) y volumen de la cárcava (VOL).

La Figura 7.4 representa el espacio de las variables de este análisis según los dos componentes principales. Estos dos ejes representan respectivamente el 34 y el 17 por ciento de la varianza explicada. Este análisis permite subrayar las relaciones siguientes:

- el tamaño de las cárcavas (longitud y volumen) se correlaciona positivamente con el tamaño de su cuenca vertiente, ciertamente, pero sobretodo: con el encostramiento de los suelos de la cuenca, la presencia de ignimbritas y de gramíneas;
- el tamaño de las cárcavas se relaciona negativamente a la pendiente y a la rugosidad así como a todos los elementos que componen esa rugosidad: terracitas, pedregosidad,

presencia de gravas.

Este análisis fue realizado a partir de una muestra de 31 cárcavas repartidas en 400 km².

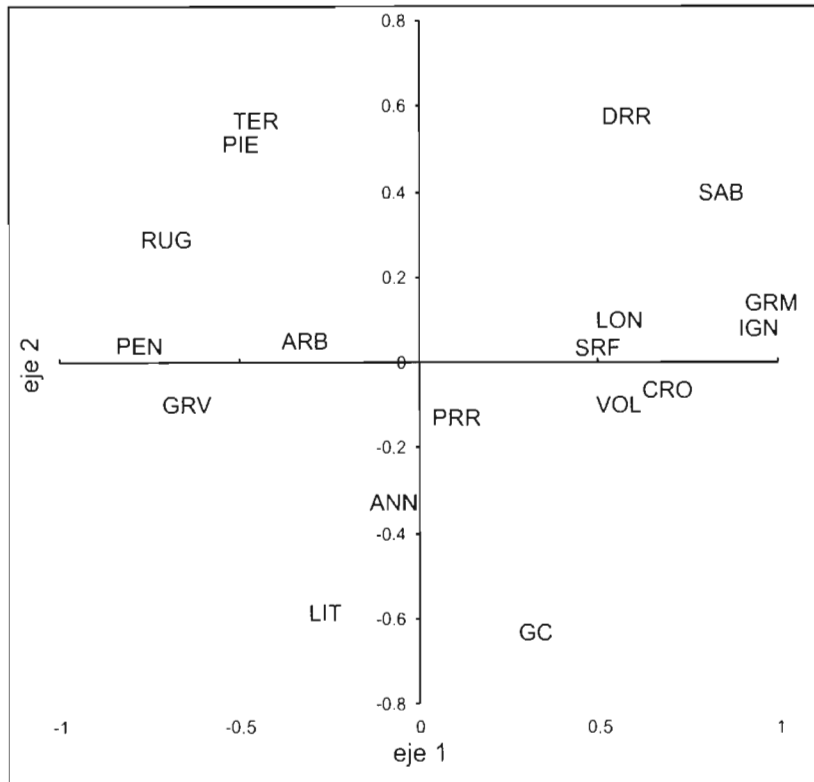


Figura 7.4. Espacio de las variables del AFC en las cárcavas (tomado de trabajos en curso).

Esto confirma la oposición ya encontrada en términos de los estados de superficie, entre:

- los sectores de pendiente suave y vertientes largas, encostradas y pastoreadas que presentan una fuerte incidencia de cárcavas, si los suelos son suficientemente profundos; la erosión laminar esta presente como lo atestigua el empobrecimiento de elementos finos en los horizontes superficiales y la frecuente presencia de un horizonte de acumulación de arcilla en superficie situado normalmente ente 20 y 40 cm de profundidad;

- los sectores de vertientes cortas pero escarpadas, muy rugosos y pedregosos, donde las cárcavas son pequeñas por el hecho de haber alcanzado ya la roca madre y donde la erosión es esencialmente laminar; las cárcavas aparecen en general en los talwegs¹⁰ principales, y su socavamiento esta bloqueado por la fuerte pedregosidad.

Esta segregación aparece netamente en el espacio de las cárcavas tal como aparece en la Figura 7.5, donde los dos conjuntos se distinguen netamente, con sus elementos constitutivos. Las categorías seleccionadas para el análisis de correspondencias son señaladas en el Cuadro 7.3.

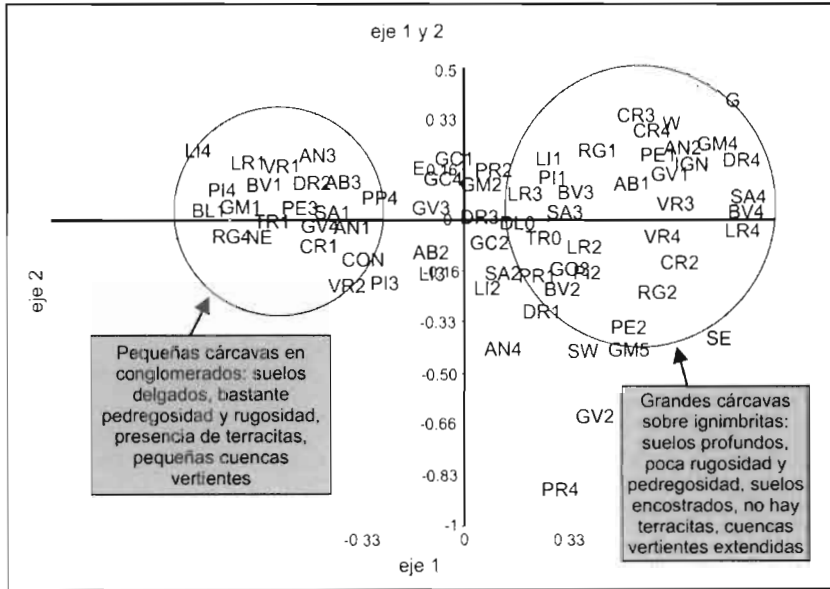


Figura 7.5. Espacio de los individuos del AFC cárcavas: las clases de variables permiten distinguir netamente varios tipos de cárcavas.

De hecho, en los estados de superficie caracterizados por la abundancia de elementos gruesos (costras de tipo INT y GC, capítulo anterior), se constata una correlación satisfactoria entre el contenido de elementos gruesos y la conductividad hidráulica a saturación (Figura 7.6). Sin embargo, los puntos de conductividad hidráulica extrema PIL 32 y 33 se separan bastante de esta regresión exponencial. Mientras más elevado sea el contenido en elementos gruesos, mayor será la conductividad hidráulica. La regresión múltiple que toma en cuenta el contenido de elementos gruesos y la porosidad de la tierra fina, mejora un poco la regresión (el coeficiente de determinación pasa de 0.42 a 0.52).

¹⁰ Ver glosario

Cuadro 7.3. Conjunto de clases de variables tomadas en cuenta en el AFC "cárcavas".

Volumen de la cárcava (m ³)	VR1	0-100	longitud de la cárcava (m)	LR1	0-90
	VR2	100-1000		LR2	90-230
	VR3	1000-10 000		LR3	230-600
	VR4	+ de 10 000		LR4	+ de 600
Distancia entre lo bajo de la cárcava y el arroyo de agua (m)	DR1	0	Pendiente entre la cárcava y el arroyo de agua (°)	PR1	0
	DR2	10-35		PR2	2-9
	DR3	35-150		PR3	10-26
	DR4	150-250		PR4	90
Superficie del impluvium (m ²)	BV1	1000-10000	Litología del impluvium	CON	Conglomerados
	BV2	10000-25000		IGN	Ignimbritas
	BV3	25000-250000			
	BV4	+ de 250000			
Pendiente del impluvium (°)	PE1	0-9,5	Rugosidad del impluvium °	RG1	0-5
	PE2	9,5-15		RG2	5-10
	PE3	15-25		RG3	10-15
Tasa de vegetación del impluvium (%)	AB1	0	Tasa de cobertura de gramíneas (%)	GN1	0-3
	AB2	1-10		GM2	3-15
	AB3	11-30		GM3	15-31
		GM4		+ de 31	
Tasa de cobertura del mantillo (%)	LI1	0-2	Tasa de cobertura por anuales (%)	AN1	0
	LI2	2-6		AN2	0,1-1,5
	LI3	6-12		AN3	1,5-3
	LI4	+ de 12		AN4	+ de 1,5
Tasa de cobertura de las gravas (%)	GV1	0-15	Tasa de cobertura de las arenas (%)	SA1	0
	GV2	15-25		SA2	1-7
	GV3	25-35		SA3	7-13
	GV4	+ de 35		SA4	+ de 13
Tasa de cobertura de las piedras (%)	PI1	0-3	Presencia de bloques	BL0	NO
	PI2	3-9		BL1	SI
	PI3	9-20	Tasa de superficie encostrada	CR1	0
	PI4	+ de 20		CR2	
		CR3			
		CR4			
Tasa de superficie con gravas-costra (%)	GC1	0-11			0,5-10
	GC2	19-28			10-21
	GC3	28-40			+ de 21
	GC4	+ de 40			
Presencia de Terracitas	TR0	NO			
	TR1	SI			

A partir de estos resultados, se dibuja un escenario en el que el desmonte, la deforestación y sobre todo el exceso de pastoreo conducen a la formación de nuevos estados de superficie (¿Originados por la actividad humana?) que generan nuevos comportamientos hidrológicos en los suelos y en las vertientes. Más adelante se verá lo que sucede a la escala de las grandes cuencas vertientes.

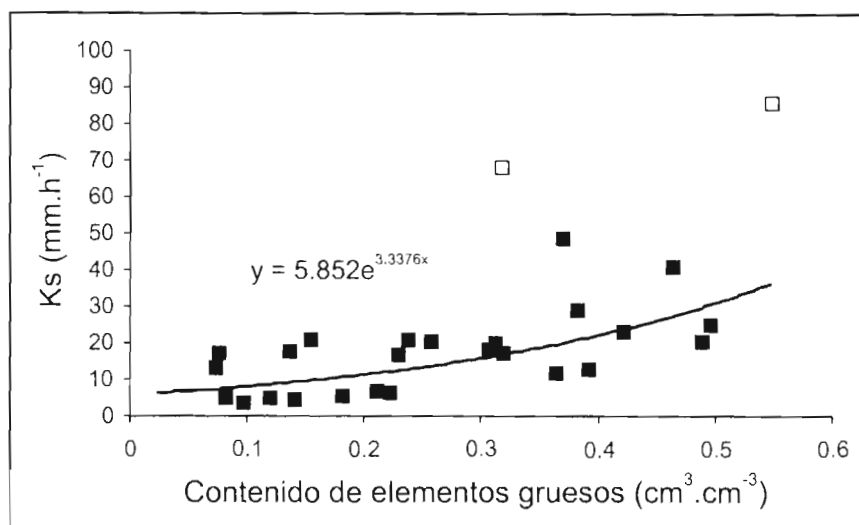


Figura 7.6. Correlación entre conductividad hidráulica y contenido en elementos gruesos.

El Cuadro 7.4 muestra cual puede ser el impacto del sobrepastoreo en el comportamiento hidrodinámico en suelos y vertientes.

Cuadro 7.4. Características físicas de los horizontes de superficie (0-5 cm) de un suelo en dos sitios vecinos.

Tipo de sitio	Ks (cilindro)m m/h	Densidad aparente	Porosidad (%)	Capacidad de campo (%)	Carbono total (%)
No pastoreado (sitios PIL32 et PIL 33)	77	1.21	49	10.5	1.4
Sobre pastoreado (sitios PIL 31 y PIL 34)	24	1.55	35	8	0.9

Al comparar los dos puntos de medición, localizados en la misma vertiente a 40 metros uno del otro a ambos lados de un cerco (en iguales condiciones de pendiente, tipo de suelo, exposición, etc.) pero en una parcela con diez años de clausura y en otra fuertemente sobrepastoreada, se pudo constatar que la densidad aparente se incrementa de manera significativa bajo el efecto del pisoteo del ganado y que inversamente, existe una neta disminución de la conductividad hidráulica a saturación (Ks), de la porosidad, de la capacidad de campo y del contenido en carbono total. Eso significa que el sobrepastoreo provoca una compactación del suelo y una fuerte disminución de la capacidad de infiltración y almacena-

miento del agua en el suelo (Dufeu, 1998; González Barrios *et al.*, 2000); esto a su vez implica una degradación de su estructura y de su fertilidad. Estas mediciones fueron hechas puntualmente.

El Cuadro 9.2 del Capítulo 9, muestra que a la escala de parcelas de 50 m², las consecuencias son más drásticas. En efecto, si la presencia de un árbol protege parcialmente de la erosión y del escurrimiento, en los pastizales sobreexplotados el pisoteo del ganado acrecienta netamente el escurrimiento y las pérdidas de suelo y tiene por corolario la aparición de una porosidad no funcional, llamada porosidad vesicular (Casenave y Valentin, 1898; Casenave y Valentin, 1992); los poros se cierran por la compactación del suelo y por los efectos del efecto *splash*¹¹ (dispersión) exagerado por la pérdida de protección vegetal del suelo en superficies cada vez más grandes.

A la escala puntual y de la parcela, se constatan las modificaciones drásticas en los estados de superficie y en las características físicas del suelo, que tienen consecuencias en el funcionamiento hidrodinámico de las vertientes. La sobre explotación del espacio parece tangible (ver capítulo siguiente) y tiene consecuencias evidentes a nivel del balance hídrico (González Barrios y Descroix, 2000). Su evidencia a escala local, como se ha mostrado aquí, debe esclarecerse en los próximos capítulos donde serán tratadas las modificaciones de los balances hídricos en superficies más grandes.

Conclusión

Los trabajos realizados considerando las propiedades físicas del suelo tuvieron como objetivo mostrar la extrema variabilidad espacial de esas propiedades y la dificultad de representarlas en el espacio (Poulenard, *et al.*, 1996; Viramontes y Descroix, 2000; Descroix *et al.*, 2002). Sin embargo, se pudieron determinar también las propiedades físicas correspondientes a la sobreexplotación de las tierras y en particular al sobrepastoreo. Este cambio drástico en los estados de superficie y en las condiciones de infiltración, modifican el régimen hidrológico hasta la escala de la cuenca vertiente de 5,000 km². En efecto, como lo muestran los trabajos en curso (Descroix *et al.*, 2003), la erosión laminar (o areolar) es más importante por el hecho de la extrema extensión espacial del sobre pastoreo y de las condiciones de superficie encostradas que genera. El resultado es, además de la generalización de las "terracitas" en las pendientes superiores a 20 por ciento una pedregosidad muy importante y extensa, que tiene solo una ventaja en términos de la preservación del medio, ya que constituye un recubrimiento que protege al suelo de la energía cinética de la lluvia.

¹¹ Ver glosario

Bibliografía citada

- Barral, H. y E. Anaya. 1995. La ganadería y su manejo en relaci on con los recursos agua y pastizal en la zona semi-árida de México. Publicaciones ORSTOM-INIFAP. Gómez Palacio, México No. 5, 78p.
- Boyer, C. 1999. Variabilit  spatiale du comportement hydrodynamique des versants dans la Sierra Madre Occidentale. Mémoire de maîtrise de géographie, Institut de Géographie Alpine, UJF-Grenoble, 108 p.
- Cappus, C. 1960. Bassin expérimental de l'Alrance. Etude des lois de l'écoulement. Application au calcul et   la prévision des débits. La Houille Blanche, juillet-août 1960, A.
- Casenave A. et C.Valentin. 1989. Les  tats de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. Col. Didactique. Editions ORSTOM, Paris, 229 p.
- Casenave A. et C.Valentin. 1992. A runoff capability classification system based on surface features criteria in the arid and semi-arid areas of West Africa. J. Hydrol. 130, 231-249.
- De Ploey, J. 1991. Bassin-versants ravin s : analyse et prévisions selon le modele Es. Bulletin de la Société géographique de Li ge 27, 69-76.
- Descroix, L., D. Viramontes, M. Vauclin, J.L. González Barrios and M. Esteves. 2001. Influence of surface features and vegetation on runoff and soil erosion in the western Sierra Madre (Durango, North West of Mexico). Catena. 43-2 :115-135.
- Descroix, L., J.L. Gonzalez Barrios, J.P. Vandervaere, D. Viramontes, and A. Bollery. 2002. An experimental analysis of hydrodynamic behaviour on soils and hillslopes in a subtropical mountainous environment (Western Sierra Madre, Mexico). Journal of Hydrology, 266: 1-14.
- Descroix, L., J.L. González Barrios, D. Viramontes, M. Esteves, J. Poulenard, and A. Bollery. 2003. Gully and laminar water erosion on subtropical mountainous slopes : impact of land use changes and consequences on scale effect. Soumis   Earth Surface Processes and Landforms, 2003.
- Dufeu, R. 1998. Les parametres du ruissellement et l'erosion, impact du surp turation dans la Sierra Madre Occidentale (Mexique). Mem. Fin d'études ISTMO-ORSTOM 95p
- Estrada, J. 1999. Importance et fonctionnement des petis barrages dans une zone semi- ride du Nord Mexicque. Thèse de l'Université Montpellier 2, 320 p.
- González Barrios, J.L. et L. Descroix. 2000. Bilan et perspectives de la ressource en eau dans la Région Hydrologique n  36 (Nord Mexique). RGA n 2-2000 Tome 88 115-128
- González Barrios, J.L., L. Descroix, J. Poulenard, D. Viramontes, C. Boyer, A. Bollery, B. Inard-Lombard y S. Dignonnet. 2000. Los suelos de la Sierra. Implicaciones en el transporte y el almacenamiento del agua. Memorias del Seminario internacional "Uso y manejo del agua en las cuencas hidrográficas del norte de México. IRD-INIFAP CENID RASPA. Gómez Palacio, México.
- Horton, R.E. 1933. The role of infiltration in the hydrological cycle. Trans. Am. Geophys.

- Union, 14: 446-460.
- Imbeaux, M.E. 1892. La durance, régimes, crues et inondations. Annales des Ponts et chaussées. Paris 7eme. Série. tome 3
- Inard Lombard, B. 2000. Les causes et conséquences de l'émigration de la population de quatre communautés rurales de la Sierra Madre Occidentale (Nord Mexique). Mémoire de maîtrise de géographie, Université Joseph Fourier, Grenoble, 118 p.
- Poesen, J., F. Ingelmo-Sanchez and H. Mucher. 1990. The hydrological response of soil surfaces to rainfall as affected by cover and position of rock fragments in the top layer. *Earth Surf. Process. Landforms*, 15:653-671.
- Poulenard, J., L. Descroix et J. L. Janeau. 1996. Surpaturage et formation de terrassettes sur les versants de la Sierra Madre Occidentale. *RGA Revue de Géographie Alpine* No. 2 T.84 Grenoble, France.
- Roose, E., P. Blancaneaux et P. Freitas. 1993. Un test simple pour observer l'infiltration et la dynamique de l'eau dans les horizons du sol. *Cahiers Orstom, série Pédologie*, vol. 16, n°1 :43-72.
- Rossel, F. 1997. Influence du Niño sur les régimes pluviométriques de l'Equateur. Th. Doct. Univ., Montpellier II, 122,280.
- Rossel, F. 1997. Influence du Niño sur les régimes pluviométriques de l'Equateur. Th. Doct. Univ., Montpellier II, 122,280.
- Vandervaere J.P. 1995. Caractérisation hydrodynamique du sol in situ par infiltrométrie à disques : analyse critique des régimes pseudo-permanents, méthodes transitoires et cas des sols encroûtés. Thèse Université Joseph Fourier, Grenoble. 329 p.
- Vauclin, M. et J-L. Chopart. 1992. L'infiltrométrie multi-disques pour la détermination in situ des caractéristiques hydrodynamiques de la surface d'un sol gravillonnaire de Côte d'Ivoire. *Agron. Trop.*, 46 :259-271.
- Viramontes, P.D. 1995. Caracterización de los suelos y la vegetación en la parte alta de la cuenca del Nazas. Folleto científico n°3, publication Orstom-Cenid Raspa, Editor Cenid Raspa, Gomez-Palacio Durango, México.
- Viramontes, P.D. 2000. Comportement hydrodynamique du milieu dans le haut bassin du Nazas (Sierra Madre Occidentale, Mexique). Causes et conséquences de son evolution. Tesis doctoral Université Joseph Fourier - Grenoble, Francia 449p.
- Viramontes, P.D. et L. Descroix. 2000. Dégradation progressive du milieu et conséquences hydrologiques : étude de cas dans la Sierra Madre Occidentale (Nord Mexique) *RGA n°2-2000 Tome 88* 27-42.
- Viramontes, D., L. Descroix, A. Bollery, et J. Poulenard. 2002. Comportement hydro-érosif des sols de la Sierra Madre Occidentale : processus hydrologiques et évolution d'un milieu soumis à la surexploitation. *Géomorphologie*, .3 (2002):239-252.

TERCERA PARTE

Pastizales y bosques bajo presión

Introducción

Los parámetros sociales y humanos analizados en la primera parte, y los factores físicos, desagregados en la segunda parte, se combinan para explicar la evolución de los medios influidos por la actividad humana en la Sierra Madre Occidental. De hecho, los pastizales y el bosque experimentan décadas de explotación de tipo "minero". El Capítulo 8 aborda este tema bajo el título: **Demasiado ganado y demasiada tala de bosques: una economía minera**. Esta sobreexplotación se traduce en una modificación de gran amplitud en el paisaje: suelos desnudos, pisoteo del ganado, pastizales deteriorados, aclareo excesivo de bosques, y de hecho, por una evolución paralela de los estados de superficie y las condiciones que preceden el tránsito del agua de lluvia una vez que hace contacto con el suelo; los suelos, erosionados, adelgazados, encostrados o endurecidos, disminuyen la capacidad de infiltración del agua de lluvia.

El creciente avance de estos espacios deteriorados ya implicaron modificaciones en los regímenes hidrológicos, lo que es el objeto del Capítulo 9: **El agua amenazada por la degradación de los recursos vegetales**. En efecto, se puede esperar que a largo plazo, estos cambios de condiciones de superficie afecten el conjunto de los procesos terrestres del ciclo del agua. Esto cobra mayor importancia al recordar que una de las hipótesis de inicio es que la Sierra Madre Occidental es una fuente de agua para el conjunto del norte del país. Los desequilibrios observados en pequeñas superficies ya se presentan en grandes superficies. La pregunta de saber si la degradación pronunciada de la vegetación podría tener algún efecto de retroacción en la cantidad de lluvia queda en el ámbito de la especulación; es precisamente este tema que se aborda en forma de un debate bibliográfico en el Capítulo 10: **¿Y si el bosque desaparece?** Sin embargo, esta pregunta queda planteada

y es una de tantas cuestiones científicas que son la base de muchos programas de investigación actualmente¹. No obstante, tal interrogante ha estado presente desde hace mucho tiempo en las investigaciones científicas del planeta.

El conjunto de cuestiones planteadas en esta tercera parte, fundamentales para las investigaciones que se llevaron a cabo durante 12 años en la Sierra Madre Occidental, pueden traducirse en dos conclusiones principales:

1. Las modificaciones en los paisajes y en los suelos observadas en pequeñas superficies (por ejemplo para uno tipo de suelo) tienen repercusiones, en grandes superficies, a nivel de las cuencas vertientes grandes y en su comportamiento hidrológico;

2. Por lo tanto, la gestión del recurso hidráulico debe en realidad ser una gestión del espacio; es necesario integrar en los organismos de gestión del agua a los usuarios del espacio incluso si no parecen *a priori* usuarios del agua; como usuarios del espacio, en este caso el espacio agropastoral y/o forestal, los agricultores y los tala bosques juegan un papel importante en la modificación del ciclo hidrológico, y deben por consiguiente ser considerados de pleno derecho como usuarios del agua.

En efecto, al deteriorar los pastizales, un ganadero tiene responsabilidad ante los usuarios del agua situados aguas abajo; de igual forma un silvicultor al realizar una tala completa de una porción de bosque (práctica prohibida en México). Ambas acciones tienen consecuencias en términos hídricos, por lo tanto pueden modificar el balance del agua, o al menos el régimen de sus escurrimientos, lo que a su vez puede comprometer el suministro de los usuarios aguas abajo.

Es necesario volver a aprender a considerar el conjunto suelo-vegetación-agua como un solo y mismo recurso; la modificación de uno de los elementos tendrá repercusiones en los otros dos.

¹ Es una de las principales cuestiones científicas planteadas en el programa AMMA, Análisis Multidisciplinario de la Monzón Africano, que estará, en 2005, en su fase intensiva de inicio.

Capítulo 8

Demasiado ganado y demasiados leñadores: una economía minera

David Viramontes, Eva Anaya, Coral García, Jérôme Poulenard, Henri Barral, Laura Macias,
María Guadalupe Rodríguez Camarillo

Como se mencionó en los capítulos anteriores, la sobreexplotación de los recursos naturales toma esencialmente dos formas: el pastoreo excesivo y la deforestación. Ambos están muy diseminados en el mundo y a veces constituyen una regla.

Sobrepastoreo: ¿Hay demasiadas vacas o insuficientes encargados de los hatos?

A pesar de un sistema de explotación rústico y poco rentable, la ganadería extensiva para la producción de carne es la principal actividad económica y tradicional de esta región. Es una forma de explotación característica de los países en vías de desarrollo (el ganado vive casi en libertad), en un ambiente del oeste (a excepción de las viejas camionetas tipo “*pick-up*” de los años 70 usadas como medio de transporte). La necesidad económica, los apoyos gubernamentales para la producción así como la venta del ganado garantizada todos los años, promueven la ganadería en esta región como una actividad próspera. Sin embargo, el aprovechamiento de los pastizales parece realizarse sin ninguna reflexión sobre la durabilidad de la explotación.

En la gestión de los agostaderos, existe una rotación a través del año: en la temporada de lluvias, una parte de las tierras es inaccesible al ganado para permitir la recuperación de la cobertura vegetal (en la zona de reserva), mientras que el resto de las tierras se encuentran abiertas al pastoreo. Este sistema de producción existía bajo la organización ejidal, manteniéndose en algunas comunidades después de la reciente desaparición del ejido. Sin embargo, a pesar de las grandes superficies de agostadero, la rotación no se realiza durante períodos bastantes largos como para permitir una buena recuperación de la vegetación. Este fenómeno es acumulativo y trae como consecuencia una degradación a largo plazo, además de la disminución de la capacidad productiva de la zona.

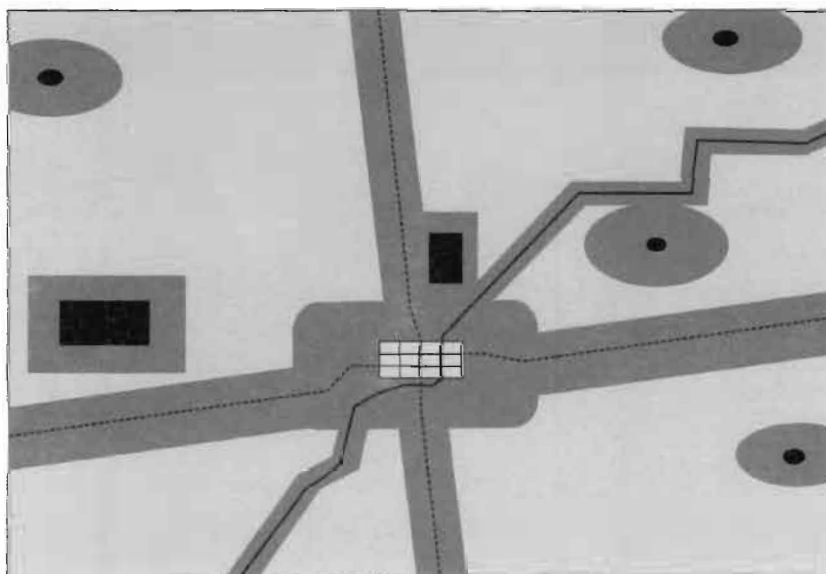
Se observa un agudo sobrepastoreo en torno a los abrevaderos (jagüeyes, bordos, presones...), vías de acceso y comunidades (Figuras 8.1 y 8.2). Estas zonas son consideradas con mayor presión de pastoreo y, en consecuencia, con mayor degradación de los suelos (Poulenard, 1995). El recorrido de los animales se realiza siempre hacia una fuente de agua, y es precisamente esta distancia de recorrido la que condiciona la densidad animal en cada uno de los abrevaderos del agostadero. Entre menor sea la distancia de recorrido, mayor será la densidad animal. Los ganaderos también mantienen una estrecha vigilancia de sus hatos, incluso si estos se encuentran lejos. El temor al robo del ganado, históricamente numeroso es aún frecuente, constituye una de las razones para concentrar los hatos en torno a las comunidades rurales.

Al igual que las montañas del sur de Europa hasta hace algunas décadas, o como las de África del norte hoy en día, las montañas de América Latina se enfrentan en la actualidad a una sobreexplotación que acentúa los fenómenos de degradación de los suelos y de la vegetación (De Noni *et al.*, 2001). La Sierra Madre Occidental no es la excepción y en el caso de la cuenca del río Nazas, en el estado de Durango, se realizaron investigaciones referentes a la degradación de la cobertura vegetal provocada por la tala de árboles (Rodríguez, 1997) y el sobrepastoreo (Poulenard *et al.*, 1996), además de los estados de superficie originados por esta sobreexplotación (Descroix *et al.*, 2001), así como las consecuencias hidrológicas de esta degradación a escala de la cuenca (Viramontes 2000; Viramontes y Descroix, 2002; Viramontes y Descroix, 2003).

Es necesario medir la amplitud del problema. En la cuenca alta del río Nazas, representativa de un parte fundamental de la Sierra Madre Occidental, el sobrepastoreo es extremadamente acentuado, encontrándose cargas animales tres o cuatro veces superiores a las que permite el estado y la calidad de los pastizales (Viramontes y Descroix, 2003). El Cuadro 8.1 muestra la amplitud de la sobreexplotación del espacio en esta región.

Cuadro 8.1. Carga animal observada y deseable en dos comunidades rurales de la porte alta de la cuenca del río Nazas (en hectáreas por unidad animal de bovino adulto).

Comunidad rural	Pastizal disponible en 1994	Pastizal necesario en 1994	Pastizal disponible en 1997	Pastizal necesario en 1997
Posta de Jihuites	2.25	10.50	3.75	9.67
Boleras	3.95	19.40	5.26	17.14
Ambas	3.38	16.34	4.83	14.64



-  Poblado
-  Zona agrícola
-  Acceso
-  Zona de abastecimiento
-  Cauce
-  Zona sobre pastoreada

Figura 8.1. Zonas de pastoreo excesivo (según Poulenard, 1995).



Figura 8.2. Alrededores de la Posta de Jihuites: pastizales sobreexplotados.

En parte, el desequilibrio entre el recurso y su consumo ciertamente se reduce por la disponibilidad de forraje que los campesinos proporcionan a su ganado después de la cosecha del maíz de grano (Figura 8.3). Sin embargo, a pesar de todo existe un importante déficit de forraje.

En la Sierra Madre Occidental se aprecia en su paisaje rastros de una fase de erosión previa a la actual. En numerosos sitios, las vertientes poseen estados de superficie que, formados por una fase de erosión intensa, se han vuelto tan pedregosos que su recubrimiento limita sensiblemente la erosión en relación a los sectores vecinos. Resulta difícil hablar de una fase pasada de erosión, en la medida en que la cobertura vegetal y los suelos se deterioran cada vez más y las condiciones climáticas no han cambiado. No obstante, se observa en muchos lugares cárcavas sobre las vertientes que parecen inactivas, con vegetación herbácea en el fondo de las mismas.

Es sobre todo este sobrepastoreo que provoca la degradación de los suelos tal y como se observa actualmente.

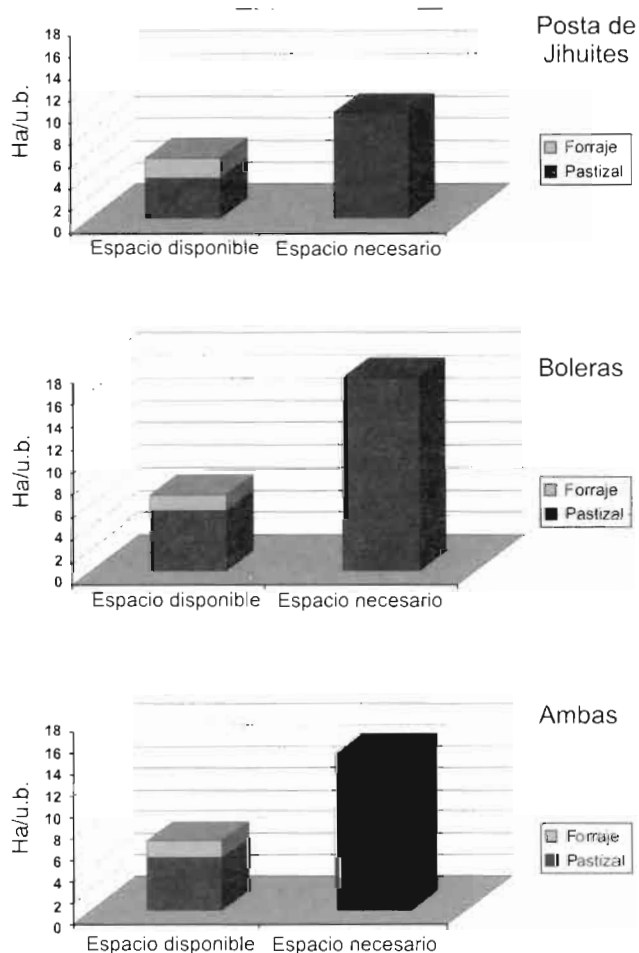


Figura 8.3. Amplitud del déficit forrajero que explica el sobrepastoreo.

La presión ganadera es tal que ha provocado, por el pisoteo constante del ganado, la formación de "terraccitas" en vertientes enteras. La existencia de estas terraccitas es un indicador específico de sobrepastoreo de montaña, ya observadas anteriormente en los Alpes y los Andes (Serrate, 1978). Estas terraccitas se forman en las vertientes por el paso de animales en busca de pastos (en este caso en terrenos con pendientes superiores a los 17°), formando veredas que asemejan pequeñas terrazas y que se ubican cada uno o dos metros en altitud (Figuras 8.4 y 8.5). Estas terraccitas se forman tanto en las savanas de altitud donde solo se aprecian encinos adultos sobre la pradera (Figura 8.4), como en los pastizales que no presentan vegetación arbórea (Figura 8.5).



Figura 8.4. Terracitas en una vertiente de savana de altitud arbolada.



Figura 8.5. Terracitas en pastizales deteriorados.

Es importante resaltar lo mencionado por Viramontes (2000) en el sentido de que se trata al mismo tiempo de una "degradación verde de los pastizales", dado que éstos se ven invadidos por leñosas no apetecibles por el ganado, principalmente pinos. La Figura 8.6 muestra las etapas de esta degradación que se produce al paso de algunos años o máximo de algunas decenas de años.

A pesar de la sobreexplotación de los agostaderos, el desarrollo de la ganadería no se detiene. El cuadro 8.2 muestra la evolución del número de cabezas de ganado en el estado de Durango y los municipios de la zona de estudio. Entre 1970 y 2000 el número de cabezas de ganado en el estado de Durango pasó de 1'037,857 a 1'429,965. Los municipios de la Sierra, Guanacaví, Tepehuanes, San Bernardo e Indé, incrementaron significativamente el número de cabezas, por el contrario, los municipios de El Oro y Santiago Papasquiario disminuyeron su carga de ganado (Figura 8.4.). Terracitas en una vertiente de savana de altitud arbolada.

Cuadro 8.2. Número de cabezas de ganado en el estado de Durango y los municipios de la Sierra Madre Occidental.

	1970	1990	2000
Estado de Durango	1'037,857	1'102,045	1'429,965
Guanacaví	39,035	29,663	58,400
Tepehuanes	23,818	28,247	37,050
Santiago Papasquiario	64,699	69,971	61,751
San Bernardo	28,002	25,710	41,984
El Oro	82,250	51,082	61,345
Indé	32,281	38,820	42,300

(Fuente: INEGI, 1970; INEGI, 1990; INEGI, 2001)

Una explotación minera de los recursos forestales

La explotación forestal es la segunda actividad económica de la Sierra Madre Occidental. Esta actividad es reciente en la zona. La producción comercial de madera comenzó en los años setenta con la instalación del organismo federal PROFORMEX. La implantación de esta ocupación forestal se desarrolló rápidamente en los bosques del norte de México. Sin embargo, en la mayoría de los casos, el bosque es visto como un don de la naturaleza y no

como una empresa por desarrollar. La explotación tipo minero es característica de la mayoría de los bosques del norte de México.

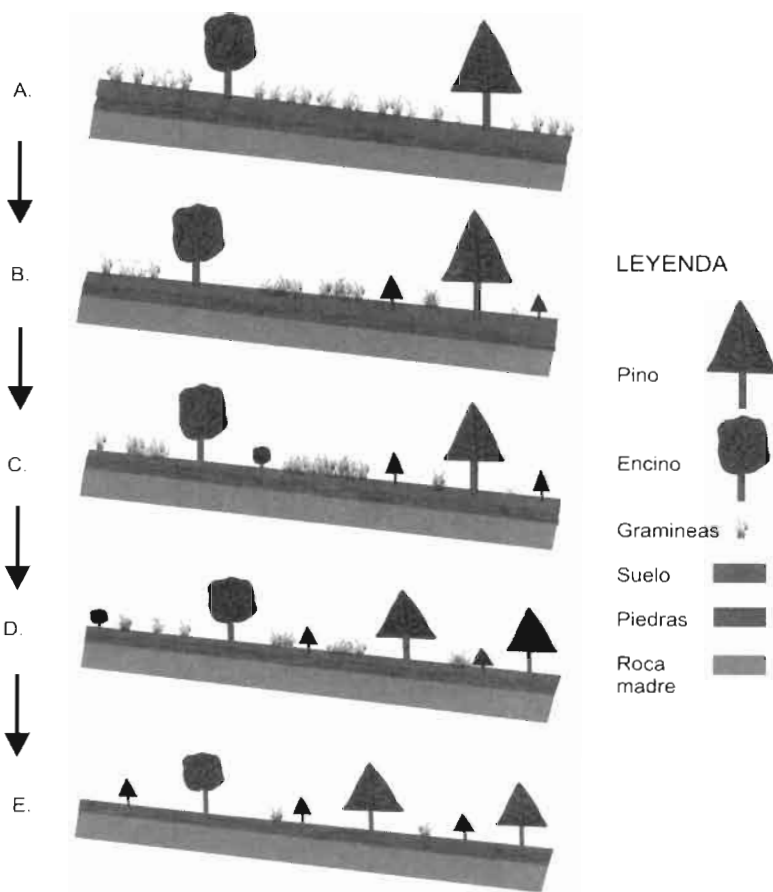


Figura 8.6. Etapas de la degradación verde de los pastizales, logrando invadir el espacio las leñosas no apetecibles por el ganado.

Actualmente, la parte montañosa del oeste del estado de Durango (Sierra Madre Occidental) es la zona forestal más importante de México. Su explotación se realiza por las empresas instaladas en las ciudades (Durango, Santiago Papasquiario, Tepehuanes). Los campesinos de la Sierra venden sus permisos de tala y no participan en las operaciones. Así, los árboles representan una ganancia extra, otorgada por la naturaleza, en tanto que los campesinos se ocupan de su ganado.

El Cuadro 8.3 muestra la evolución de la producción de madera en el estado de Durango. Se observa como la producción se incrementó entre los años 70 y 80, logrando estabilizarse

posteriormente.

Cuadro 8.3. Evolución anual de la producción de madera en el estado de Durango.

Años	Producción de madera en m ³ /año
1971 – 1974	803,000
1975 – 1979	1'379,000
1980 – 1989	2'335,000
1990	2'216,000
2000	2'371,890

Sin embargo, las cifras oficiales no muestran totalmente la realidad. Según los organismos del Gobierno (SAGARPA, SEMARNAT e INEGI) la capacidad de producción de madera en el estado es 2'355,000 m³, en tanto que la demanda de madera por las empresas es 3'864,000 m³. Esta demanda superior a la oferta de los bosques de la Sierra, además de los problemas vinculados a la economía regional, provocan una fuerte presión sobre los recursos y a menudo violaciones a la ley forestal. De esta forma, los permisos de tala controlados por los organismos de gobierno son poco respetados. Se corrompe fácilmente a los campesinos a causa de sus problemas económicos y al poco interés que muestran hacia el bosque; para ellos su principal actividad es la ganadería. Además, el control que se ejerce a los camiones que transportan madera es mínimo o simbólico, permitiendo que una forma de explotación controlada y selectiva se transforme en una explotación "discreta", sin que ésta se traduzca, de un año a otro, en una gran superficie deforestada.

Un constante: la tala masiva

El Cuadro 8.4 muestra la evolución de la cobertura de las formaciones vegetales entre 1972 y 1998 para la cuenca del río Sextín (5050 km²), situada al norte del estado de Durango en la Sierra Madre Occidental. Los resultados muestran un claro retroceso del bosque (éste representó, entre 1992 y 2002, de 60 a 70 por ciento de la producción total). Como consecuencia de la sobreexplotación de sus recursos en gran parte ocasionada por la tala clandestina. A nivel espacial, los resultados presentados en el cuadro 8.4 se derivaron de la interpretación de imágenes satélite LANDSAT (1972) y SPOT (1998) (Rodríguez 1997; Viramontes 2000; García 2002).

La producción de madera autorizada para el estado de Durango se limita, desde hace veinte de años, a menos de 2 millones de m³ al año. En la realidad, a menudo se superan los 5 millones de m³. Esto debido a la fuerte demanda y, hasta hace algún tiempo, a la falta de control y a la corrupción. Sin embargo, la actual "Cruzada Nacional por los Bosques y el Agua" parece evolucionar las mentalidades, surgiendo cada vez más zonas reforestadas artificialmente.

Cuadro 8.4. Evolución de las superficies de las distintas formaciones vegetales de 1972 a 1998 (cuencas de los ríos Sextín y Ramos).

Año	Cuenca río Ramos (7,128 km ²)		Cuenca río Sextín (5,050 km ²)	
	1970	1998	1970	1998
Bosque	77.7 %	42 %	76.7 %	48.0 %
Praderas	16.6 %	27 %	11.5 %	22.0 %
Savana de altitud	4.3 %	29.5 %	10.0 %	28.5 %
Matorral xerófilo	0.4 %	0.5 %	0	0
Cultivos	1.0 %	1.0 %	1.8 %	1.5 %

Conclusión

Los recursos naturales explotados en la cuenca alta del río Nazas son renovables. Sin embargo, el medio se explota a una tasa más elevada que la capacidad de renovación.

Con un mercado en plena expansión y en un país que pretende desarrollarse, la demanda de los recursos (ganado y madera) genera una fuerte presión al medio montañoso de la Sierra Madre Occidental. No obstante, la capacidad de producción de las zonas de pastizal y de bosque es inferior a las actuales necesidades de producción.

Ahora bien, la explotación de los recursos naturales en el norte de México, y específicamente en la Sierra Madre Occidental, es reciente. En esta zona, aislada del resto del país, las actividades económicas se limitan de manera rústica y tradicional a la ganadería extensiva y, recientemente, a la explotación de la madera. Así, la explotación comercial de estos recursos comenzó hace apenas algunas décadas. Resta saber cuanto tiempo podrá tolerar esta zona montañosa el tipo de producción (forestal y ganadera) que tiene o bien, si la sociedad mexicana podrá encontrar nuevas formas más adaptadas de producción a las capacidades naturales del medio.

Bibliografía citada

- De Noni, G., M. Viennot, J. Asseline et G. Trujillo. 2001. Terres d'altitude, terres de risques. La lutte contre l'érosion dans les Andes  quatoriennes. IRD  d., coll. Latitude 23, Paris, 280 p.
- Descroix, L., D. Viramontes, M. Vauclin, J. L. Gonz alez B. and M. Esteves. 2001. Influence of surface features and vegetation on runoff and soil erosion in the western Sierra Madre (Durango, North West of Mexico). *Catena*. 43-2 :115-135.
- García, C. 2002. Utilisation de l'imagerie satellite pour la cartographie du couvert végétal et de l'étude du comportement hydrologique d'un bassin versant. CNRS-LTHE Grenoble France
- Poulenard, J. 1995. Surp turation et érosion dans la Sierra Madre Occidentale. Mémoire de fin d'étude ISTOM, Cergy, 82 p.
- Poulenard, J., L. Descroix, et J.L. Janeau. 1996. Surp turation et formation de terrassettes sur les versants de la Sierra Madre Occidentale. *RGA, Revue de Géographie Alpine*, N 2, t.84, Grenoble.
- Rodríguez, M.G. 1997. Determinación de la cobertura vegetal en la Sierra Madre Occidental para su calibración por percepción remota. Tesis de licenciatura, Escuela de Ciencias Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango, Durango, México, 60 p.
- Serrate, C. 1978. Dynamique des versants de haute montagne : Andes Centrales péruviennes, Alpes briançonnaises. Thèse, Université Paris VII, 400 p.
- Viramontes, D. 2000. Comportement hydrodynamique du milieu dans le haut bassin du Nazas (Sierra Madre Occidentale, Mexique). Causes et conséquences de son évolution. Thèse de géographie de l'Université Joseph Fourier-Grenoble 1 : 450 p.
- Viramontes, D. et L. Descroix. 2002. Modifications physiques du milieu et conséquences sur le comportement hydrologique des cours d'eau de la Sierra Madre Occidentale (Mexique). *Revue des Sciences de l'Eau*, 15/2 : 493-513.
- Viramontes, D. et L. Descroix. 2003. Changes in the surface water hydrologic characteristics of an endoreic basin of northern México from 1970 to 1998. *Hydrological Processes*, 17 : 1291-1306.

Capítulo 9

Agua amenazada por la degradación de los recursos vegetales

Luc Descroix, David Viramontes, Eva Anaya, Henri Barral, Alain Plenecassagne, José Luis González Barrios, Jeffrey Bacon, Laura Macias

Este capítulo es el resumen de los trabajos llevados a cabo en Boleras durante ocho años (1993 a 2000) sobre las consecuencias hidrológicas de los cambios de uso del suelo. Se determinó que la deforestación es rápida y el sobre pastoreo agudo. Probablemente este último con mayor influencia en el régimen de los arroyos a partir de la creación de nuevos estados de superficie que tienen un comportamiento hidrodinámico diferente de su condición original (suelo con vegetación). De esta manera, se llevaron a cabo mediciones precisas esencialmente en las áreas de pastoreo. Asimismo, se realizaron trabajos bajo condiciones de bosque que se describen más abajo, aunque las conclusiones en ellos son más difíciles de generalizar en el contexto de la Sierra Madre Occidental, dado que las "parcelas de bosque" (sitio La Rosilla estudiadas en 1995 y 1996), no fueron objeto de un aprovechamiento forestal como los que se observan en las grandes superficies de la Sierra de la Candela o de la Sierra Tarahumara. Además, los grandes bosques de pinos explotados se encuentran situados en los sectores más altos y más húmedos, con un rápido crecimiento de la vegetación secundaria y donde es posible que la alteración hidrológica como consecuencia de la deforestación sea mínima; esto está en proceso de investigación actualmente en el macizo de la Candela sobre el arroyo "Ciénega de la vaca". En fin se puede señalar que todos los habitantes de la Sierra con los que se mencionó este problema fueron unánimes al decir que los pastizales y el bosque se han degradado en forma significativa durante las últimas décadas y que antes había más agua

(y duraba más tiempo) en los arroyos.

La problemática científica y el impacto hidrológico de los cambios de uso del suelo

El impacto de los cambios de uso del suelo en el comportamiento hidrológico de las cuencas es actualmente uno de los mayores problemas que enfrentan los responsables de la administración y el manejo del agua. Esos cambios son de tipo muy diverso:

- la construcción de presas y de obras hidráulicas puede influir rápidamente en el régimen y el balance del agua de una cuenca;
- la urbanización puede que no modifique significativamente los coeficientes de escurrimiento, pero puede exagerar las crecientes y los estiajes de los arroyos como lo demostraron Rose y Peters (2001) en Georgia (Estados Unidos);
- el sobre pastoreo y la deforestación pueden provocar un impacto sobre el cual se centra este trabajo.

Los habitantes de la región francesa del Dauphiné o de Haute Provence observaron, desde los primeros desmontes, el incremento en el número de crecidas y su gravedad; esto fue objeto de múltiples especulaciones y querellas de expertos antes de ser estudiadas científicamente. Si la administración de los bosques ha sido llamada "aguas y bosques" en diferentes regiones del mundo, esto se debe a que la relación entre ambos se encuentra bien establecida. En los Estados Unidos, desde 1909, la cuenca experimental de Wagon Wheel Gap (Colorado) fue equipada para estudiar la influencia hidrológica de los usos del suelo (Hewlett *et al.*, 1969).

Los estudios experimentales suponen una comparación entre cuencas relativamente similares cuyo manejo forestal es diferente. Los estudios de ese tipo son numerosos, pero se restringen a los gastos totales y a los coeficientes de escurrimiento. Los estudios en parcelas y cuencas experimentales en diferentes regiones climáticas del mundo muestran un aumento de los escurrimientos cuando hay cortes del bosque y compactación del suelo, sobre todo si han tenido lugar en grandes superficies.

Los numerosos estudios que han abordado esas interacciones han demostrado los efectos: bajo clima tropical húmedo, (Fritsch, 1990; Calder *et al.*, 1995; Woo *et al.*, 1997; Scott Munro y Huang, 1997), mediterráneo (Kosmas, *et al.*, 1997; Sorriso *et al.*, 1994), templado (Cosandey *et al.*, 1990; Galea *et al.*, 1993; Hudson y Gilman, 1993; Caugant, 1998; Andréassian, 1999; Croke *et al.*, 1999); y en clima semi-árido y árido (Snelder et

Bryan, 1995; Bergkamp, 1998).

A pesar de esta uniformidad de respuesta, los investigadores interesados en los procesos explicativos han presentado argumentos muy diversos (Ambroise, 1998) que van desde la importancia de la vegetación y de los suelos, hasta las mismas modificaciones del medio; o a todos los factores que interaccionan en el medio natural. En resumen, el trayecto del agua puede variar y los flujos pueden funcionar de manera diversa en el tiempo y el espacio.

Hibbert (1967) produjo una de las primeras síntesis con datos experimentales de 39 cuencas, concluyendo que la reducción de cobertura forestal conduce a un incremento de los gastos y que inversamente, la reforestación de suelos desnudos disminuye los escurrimientos.

Bosch y Hewlett (1982) sintetizaron los resultados de experimentos realizados en 94 cuencas vertientes de diferentes regiones del mundo. Sus resultados confirmaron el aumento de los coeficientes de escurrimiento con la deforestación. También pusieron en evidencia los hechos siguientes:

- las respuestas del escurrimiento a los cambios de las coberturas vegetales en la cuenca son sensiblemente más importantes en los climas húmedos;
- las formas vegetales masivas tienen una gran influencia en el escurrimiento; las coníferas reducirían más los escurrimientos que los árboles de hoja ancha, las formaciones arbustivas tienen muy poco impacto;
- sin embargo, constataron que en el conjunto de resultados, la correlación entre la tasa de aumento del bosque y la reducción del escurrimiento es mediocre.

El primer punto fue perfectamente ilustrado por Hudson y Gilman (1993) en Plynlimon (oeste de Inglaterra) y por Cosandey (1995) en el Mont Lozère. En esos dos casos la precipitación anual es mayor a 2000 mm y los bosques de regeneración reducen la lámina escurrida anual en varios cientos de milímetros, comparados con las praderas naturales preexistentes.

Otra síntesis fue realizada por Stednick (1996), donde actualiza los datos de Bosch y Hewlett (1982) y confirma la relación entre los cortes forestales y el incremento de escurrimiento; además, fija un umbral de 20 por ciento de deforestación bajo el cual no interviene modificación alguna. El autor concluye que "la variabilidad de respuesta en los gastos anuales respecto a los cortes forestales sugiere un comportamiento complejo no

lineal". Esta síntesis integra cuencas de regiones muy diferentes en Estados Unidos, particularmente en el estado de Oregon, que también reciben más de 2000 mm de lluvia al año y donde las láminas de escurrimiento anual se incrementan de 200 a más de 400 mm cuando hay cortes forestales.

Sin embargo, en las zonas menos lluviosas los coeficientes de escurrimiento no se modifican en todos los casos y de manera importante como consecuencia de los cambios de uso del suelo. Esta es la razón por la cual es pertinente utilizar índices de gastos más que sus variaciones; para ello Tallaksen (1995) propone algunos índices que son empleados en los países tropicales secos.

Si es verdad que los escurrimientos se incrementan como consecuencia de la tala de los bosques o después de la transformación de éstos en praderas o en áreas de cultivo, los resultados muestran una gran diversidad de explicaciones que se relacionan con la vegetación, los suelos, las modificaciones del medio... Los datos de entrada (lluvia) y de salida (escurrimiento) del agua en una cuenca no muestran la fuerte complejidad del camino de agua que recorre el sistema. En un sector árido del pie-de-monte andino, Braud *et al.*, (2001) observaron resultados inesperados; en una cuenca ampliamente cubierta de arbustos y poco escarpada donde se produce dos veces más escurrimiento y diez veces más sedimentos que otra cuenca de la misma región más escarpada y poco cubierta por la vegetación. Estos autores habían mostrado antes que "la variabilidad espacial de la lluvia y de los tipos de suelo tenían una influencia en el escurrimiento, en un orden de grandeza superior al de la variabilidad espacial de la vegetación" (Braud *et al.*, 1999).

A escala de la parcela experimental, varios autores que han trabajado en diferentes bosques del mundo (Fristch, 1990; Sorriso *et al.*, 1994; Scott Munro y Huang, 1997; Croke *et al.*, 1999) constataron que los árboles y el mantillo constituyen un regulador de los escurrimientos y una pantalla protectora contra el impacto de las gotas de lluvia en la superficie del suelo.

En conclusión, parece que el bosque retiene el agua, es decir que su presencia disminuye los escurrimientos (en relación con otros tipos de vegetación o de uso del suelo). El bosque tiene sobre todo un papel regulador; su capacidad de retener agua le permite también restituir una parte a largo plazo, mucho tiempo después de los episodios de lluvia; esto hace que una cuenca vertiente forestal tenga estiajes y crecidas menos marcados que una cuenca cultivada o pastoreada.

El corte del bosque y el pisoteo excesivo provocan la aparición de nuevos estados de superficie que, con la desaparición progresiva de los sistemas radiculares, modifican las condiciones de escurrimiento, de infiltración y de balance de agua, incluyendo las aguas de recarga de los mantos freáticos, al modificarse drásticamente los caminos del agua.

El encostramiento de los suelos, contrariamente al mantillo, determina en gran parte la amplitud del escurrimiento. Esto concuerda con las observaciones realizadas sobre los efectos de las costras superficiales del suelo (Valentin y Casenave, 1992; Janeau y Ruiz, 1992; Tarin, 1992; Vandervaere, 1995; Janeau *et al.*, 1999). El papel de los suelos con superficies pedregosas tiene un impacto ambivalente (Ruiz Figueroa y Valentin, 1983). Por un lado, las piedras pueden impedir la infiltración directa de las gotas de lluvia y por otro lado, pueden también aumentar los valores de infiltración ya que absorben la energía cinética de la lluvia (Poesen y Lavee, 1994; Valentin, 1994). Las piedras amortiguan el impacto de las gotas y permiten una disminución del efecto *'splash'* sobre los suelos al proteger su matriz. Además el conjunto de elementos gruesos de la matriz del suelo permite la infiltración del agua que cae directamente o proveniente de una lámina de agua escurrida desde lo alto de la vertiente.

El forestal Poncet (1981) presentó una posición original al decir que *-no es sino después de algunos años, y con la iniciativa de los investigadores soviéticos, que la comparación, por métodos estadísticos, de los escurrimientos de cauces o ríos de grandes cuencas, que cubren más de 1,000 km con diferente cobertura vegetal pero en condiciones similares (geología, relieve, clima...), pudo constatar un incremento de los escurrimientos, y por consecuencia del balance hidrológico global de las grandes cuencas, paralelo al incremento de la tasa de cobertura forestal-*.

Escurremiento y erosión como consecuencia de la deforestación y del sobre pastoreo en la Sierra Madre Occidental

Al no poder deforestar grandes superficies para comparar escurrimientos y pérdidas de suelo antes y después de la deforestación, se procedió a comparar en un sitio los datos de una parcela bajo condiciones de bosque y una parcela deforestada.

Para estimar el impacto del sobre pastoreo, se seleccionaron parcelas en las que se sabía que fueron clausuradas desde hacia tiempo, y se compararon con parcelas pastoreadas (ver detalle del dispositivo en las Figuras 6.1). En el Capítulo 8 se mostró como el pisoteo por el ganado transforma los parámetros físicos del suelo. Los Cuadros 9.1 y 9.2 resumen las consecuencias del deforestación y del sobre pastoreo a la escala de la parcela.

¹ Ver glosario

Cuadro 9.1. Influencia de los factores ambientales en el escurrimiento y la erosión en bosque.

Variabes	Coficiente de escurrimiento (%)	Pérdidas de suelo
Presencia/ausencia de árbol (parcelas de 50 m ²)	23	133
Sin árbol	8.5	30
Sin árbol pero con mantillo	2.8	1.1
Tipo de árbol (parcelas de 1 m ² , 7 repeticiones)	9	74
Pinos	3	45
Encinos		
Pendiente (parcela de 1 m ² , 3 repeticiones)	6	30
12 %	9	110
33 %	5	53
57 %		

Cuadro 9.2. Influencia de los factores ambientales en el escurrimiento y la erosión en áreas de pastoreo (parcelas de 50 m²).

Variabes (2 repeticiones en cada caso)	Coficiente de escurrimiento (%)	Pérdidas de suelo
<i>Presencia/ausencia de árbol</i>		
Sin árbol	34	45
Sin árbol pero en clausura	19	12
Con árbol	19	26
<i>Pendiente</i>		
12 %	31	42
27 %	21	29
<i>Porosidad vesicular</i>		
con	35	70
sin	7	7
<i>Pisoteo por el ganado</i>		
con	43	90
sin	8	7

Los valores del escurrimiento y pérdida de suelo dados en los Cuadros 9.1 y 9.2 aportan algunas informaciones:

- la cubierta de árboles protege bien al suelo. El amortiguamiento de la energía cinética de las gotas de lluvia, en las hojas, hace bajar sensiblemente los dos parámetros bajo los árboles; esto es más notorio en el bosque que en los pastizales, dado que las gramíneas y las herbáceas perennes protegen al suelo, a condición de no estar pastoreadas (se constata, por otra parte, que el pastizal sin árbol limita más el escurrimiento y las pérdidas de suelo, que el árbol en terreno sobrepastoreado);
- la pendiente no es un factor que agrava el escurrimiento y la erosión; sino al contrario, en los pastizales donde los estados de superficie lo dejan suponer (ver Capítulo 6); se observa un fenómeno inverso al esquema común de todos los pastizales; las pendientes fuertes tienen un recubrimiento que las protege, producto del estado de erosión anterior y presentan un escurrimiento y pérdidas de suelo inferiores a las áreas de poca pendiente que están encostradas frecuentemente. En general, se pudo observar que las áreas empedradas tienen una macro-porosidad importante y una actividad biológica (meso-fauna) desarrollada bajo las piedras; esto puede incrementar la infiltración y la conductividad hidráulica. Durante la lluvia, se observa el impacto de las gotas en las piedras y el escurrimiento del agua sobre ellas hasta las áreas más permeables situadas abajo;
- en el bosque, los encinos protegen mejor el suelo que los pinos, esto se debe sobre todo a que su mantillo es más espeso y cubre más;
- la presencia de porosidad vesicular (poros inactivos por estar tapados) es un factor que exagera netamente el escurrimiento y la erosión;
- lo mismo pasa con el pisoteo del ganado según el Cuadro 9.2.

Las parcelas deforestadas e instrumentadas, fueron taladas y pastoreadas varios años antes y presentaban en gran parte de su superficie las características de un suelo endurecido cuya formación es favorecida por el gran contenido en arcilla y el pisoteo del ganado (terrazas y planicies de las crestas, partes bajas de las vertientes). Cuando afloran los horizontes ricos en arcilla, su erosión es responsable de la formación de costras espesas (tipo INT). Al final de la época seca se pueden observar fisuras de retracción en el horizonte B.

Al tratar de establecer la influencia inmediata de la deforestación y ante la imposibilidad de desmontar una superficie de 10,000 hectáreas tal y como fue realizado por el Servicio de Investigaciones Agrícolas de Estados Unidos en Tombstone (Arizona), se procedió a deforestar una micro cuenca de 400 m² (Figura 9.1 a, b y c).

El desmonte del área se realizó al principio de la temporada de lluvias de 1995 y sus consecuencias fueron las siguientes:

- el escurrimiento es ligeramente superior en la micro cuenca desmontada desde el primer año, la diferencia se incrementa en el segundo año, probablemente por el hecho de la desaparición progresiva del mantillo (Figura 9.2);
- inversamente, las pérdidas de suelo son más bajas durante el primer año en la micro cuenca desmontada; esto es debido probablemente a las ramas y residuos del corte que atrapan los sedimentos, este efecto persiste pero de menor manera durante el segundo año (Figura 9.3).



Figura 9.1. Las micro cuencas de la Rosilla. A la izquierda (a) micro cuenca con bosque; a la derecha (b) micro cuenca antes del corte; y (c) justo después del corte.

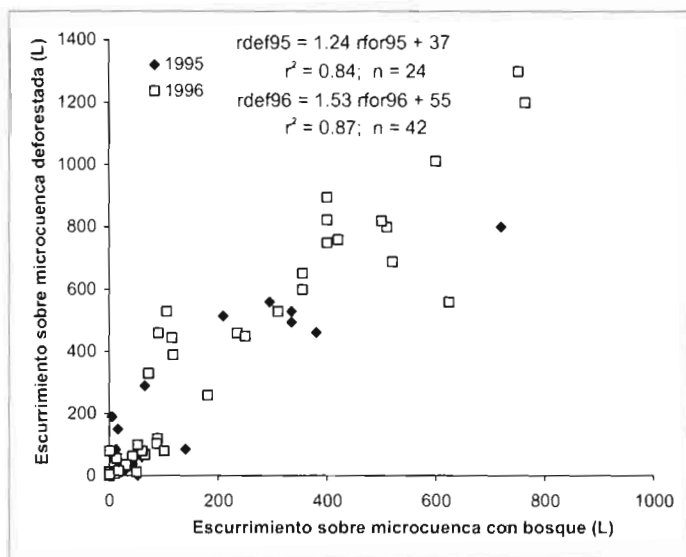


Figura 9.2. Relación entre escurrimento en la micro cuena deforestada (rdeb) y escurrimento en la micro cuena con bosque (rboi) para 1995 y 1996.

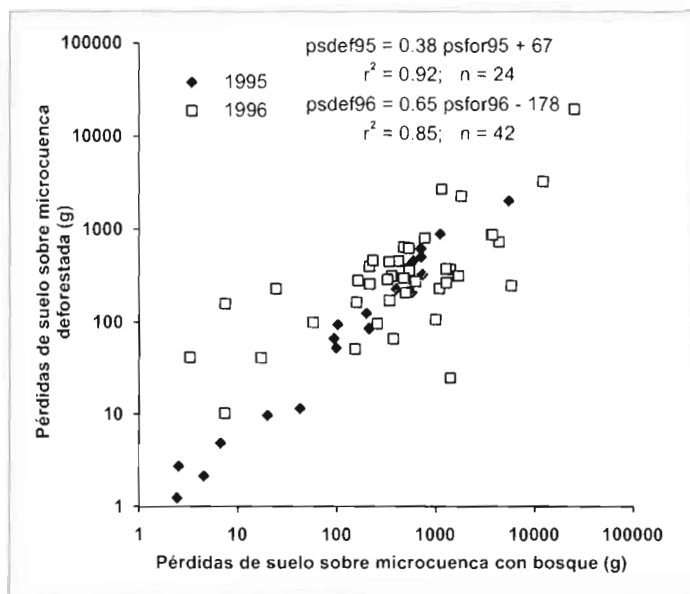


Figura 9.3. Relación entre pérdidas de suelo en la micro cuena deforestada (psdeb) y la micro cuena con bosque (psboi) para 1995 y 1996.

Consecuencias hidrológicas a nivel de grandes cuencas vertientes

Después de investigar las modificaciones del escurrimiento a nivel de parcelas y de micro cuencas vertientes, se intentó determinar si la evolución de los usos del suelo podía tener una influencia en el comportamiento hidrológico de las grandes cuencas vertientes. Se emplearon los datos de gastos diarios de dos estaciones que controlan las dos ramas tributarias del río Nazas, aguas arriba de de la presa El Palmito. Se trata de la estación Salomé Acosta en el río Ramos (cuenca vertiente de 7,130 km²) y de la estación Sardinás en el río Sextín (5,060 km²). Los datos utilizados son los gastos promedios diarios de 1970 a 1998 presentados en el Cuadro 9.3 (Viramontes y Descroix, 2002).

Cuadro 9.3. Tiempo de respuesta promedio total y por década de las cuencas vertientes.

		Total	Separación por década			Diferencia años 70 y 90
			1970 – 1979	1980 – 1989	1990 – 1998	
Cuenca Ramos	Número de eventos	2273	836	847	590	1.6 %
	Promedio (días)	1.45	1.45	1.46	1.43	
	Desviación estándar	0.38	0.38	0.36	0.40	
	Coefficiente de variación	0.26	0.26	0.25	0.28	
	t Student (80 %)		*	*	*	
			1971 – 1979	1980 – 1989	1990 – 1997	
Cuenca Sextín	Número de eventos	1720	615	701	404	5.5 %
	Promedio	1.32	1.34	1.34	1.26	
	Desviación estándar	0.36	0.35	0.33	0.41	
	CV	0.27	0.26	0.25	0.32	
	t Student (80 %)		☺✓	*	☺✓	

* Diferencia de medias no significativa

☺✓ Diferencia de medias significativa

Antes de proceder al an alisis estadístico de los datos, de los gastos diarios, se asegur  primero que las series estudiadas no contuvieran ninguna tendencia o anomalía que pudiera influir en el tratamiento y que pudieran hacerlo erróneo, para esto se utilizaron los procedimientos de investigación de tendencias propuestos por el programa Khronostat del IRD (Viramontes, 2000).

Posteriormente se utilizaron tres herramientas para detectar las evoluciones de los gastos a partir de sus registros entre los años 1970 y 1990.

La primera se basa en la descomposición de los gastos del cauce en gastos base y gastos de crecida, según un algoritmo propuesto por Gustard *et al.* (1989) citado por Humbert y Kaden (1994). Se trata de distinguir en el gasto de un escurrimiento, la parte que corresponde a la lluvia que se acaba de producir (crecida) y la parte que corresponde a las aportaciones retrazadas (mantos freáticos temporales, vaciado lento de los suelos, etc.) y que se producen cuando no llueve (gasto de base). La Figura 9.4 muestra que la relación entre gasto de crecida (Kcrue) y el gasto de base (Kbase) aumenta sensiblemente entre la primera mitad (1970-1984) y la segunda (1985-1998) del periodo estudiado para el río Ramos; se nota la misma tendencia pero menos pronunciada para el río Sextín (Viramontes y Descroix, 2002).

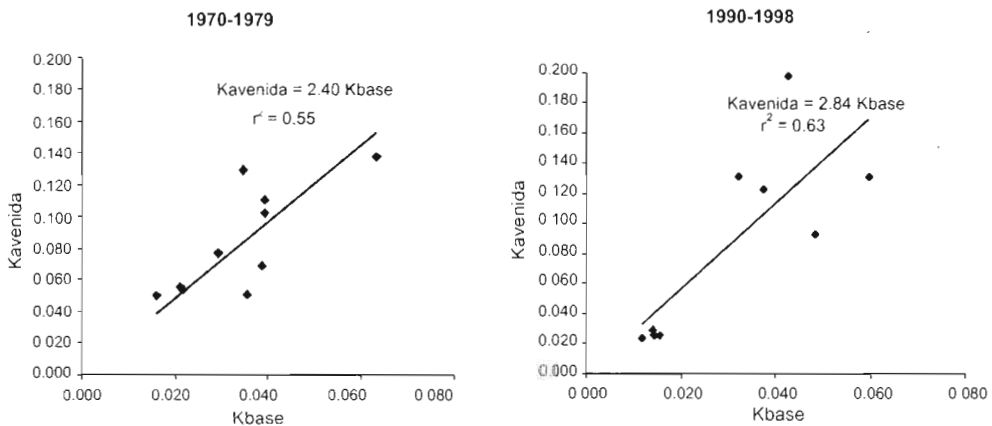


Figura 9.4. Evolución de la relación entre coeficiente de escurrimiento de crecida (Kcrue) y coeficiente de escurrimiento de base (Kbase) durante los periodos 1970 - 1979 y 1990 - 1998 en la cuenca del río Ramos.

La segunda herramienta analiza el tiempo de respuesta de los escurrimientos de agua, es decir, el tiempo que transcurre entre la precipitación y la aparición o aumento del escurrimiento en la salida de la cuenca. En este caso también se constata una ligera evolución, en esta ocasión de manera más significativa en la cuenca del Sextín que en la

cuenca del Ramos; el tiempo de respuesta de la primera disminuye 5.5 por ciento entre la década de 1970 y la década de 1990, mientras que para la cuenca del Ramos disminuye solo 1.6 por ciento.

Esta disminución significa que el escurrimiento es más rápido y que la retención del agua en la cuenca vertiente es inferior a lo que era antes. Esto es debido probablemente a la disminución de la cobertura vegetal y a las modificaciones que ello han ocasionado en los estados de superficie.

La última herramienta utilizada fue el parámetro del modelo Nazasm (Descroix *et al.*, 2002); este parámetro de decremento de la humedad traduce el tiempo necesario para que el suelo retome su estado de humedad. El parámetro *alfa* es el inverso del tiempo de escurrimiento del suelo: mientras más elevado sea, menor será el tiempo de escurrimiento del suelo. El Cuadro 9.4 permite constatar que en las dos cuencas, se presenta un incremento en este parámetro entre la década de 1970 y la década de 1990. Esto indica una disminución del tiempo necesario para que el suelo recobre su estado de humedad, lo que podría ser una consecuencia de la modificación de los estados de superficie del suelo.

Cuadro 9.4. Valores de los parámetros del modelo Nazas para el río Ramos y el río Sextín.

Parámetros de la cuenca del Ramos	Período			
	1970 – 1998	1970 – 1979	1980 – 1989	1990 – 1998
Capacidad máxima del reservorio (H_{max})	220	220	220	220
Parámetro de decremento de la humedad (<i>alfa</i>)	0.031	0.02	0.029	0.04
Parámetros de la cuenca del Sextín	Período			
	1971 – 1997	1971 – 1979	1980 – 1989	1990 – 1997
Capacidad máxima del reservorio (H_{max})	130	130	130	130
Parámetro de decremento de la humedad (<i>alfa</i>)	0.04	0.040	0.054	0.3061

Discusión y conclusión

En relación a las cifras dadas en el Cuadro 9.1, donde la parcela sin mantillo se encontraba deforestada desde hacia algún tiempo, se ve bien que finalmente una deforestación reciente tiene poco impacto en el escurrimiento. No obstante, en la parcela de 50 m² “sin árbol pero con mantillo” recién deforestada (Cuadro 9.1), ¿Cómo se puede explicar que

presenta el triple de escurrimiento y 25 veces más pérdida de suelo, cuando las dos micro cuencas tuvieron, para los mismos años de medición, modificaciones mucho menores y sutiles? Probablemente esto se encuentre ligado al hecho de que las micro cuencas fueron deforestadas como si se tratara de un verdadero corte: se dejaron residuos del corte lo cual limitó considerablemente los efectos del desmonte tanto en términos de erosión como de escurrimiento.

Sin embargo, no fue posible darles seguimiento por más de dos años consecutivos. Por ello, resulta difícil señalar lo que pasaría con las micro cuencas, más allá de esos dos años, respecto al comportamiento hidrológico aparentemente poco modificado por el corte. No se puede saber si el mantillo que cubría el suelo se perdió y lo dejó desnudo, y por lo tanto más propenso a la degradación por el fenómeno *splash* y el escurrimiento. Hay que señalar de todas formas que los resultados del Cuadro 9.1 muestran que el desmonte total hace más frágil a los suelos y aumenta de manera importante el escurrimiento y la pérdida de sus partículas.

La comparación de los Cuadro 9.1 y 9.2 muestra que los coeficientes de escurrimiento y de pérdidas de suelo no son muy diferentes bajo el bosque y bajo el pastizal. Solo las partes de los bosques verdaderamente situados bajo la corona de los árboles son protegidas por espesos mantillos y son más permeables y menos sujetas a la erosión.

Las investigaciones llevadas a cabo en otros sitios sobre el impacto de la deforestación y el funcionamiento hidrológico de las cuencas, se realizaron en zonas muy húmedas (Guyana, Oregon, país de Gales, Mont Lozère). En estas zonas la presencia del bosque se traduce en una disminución de 200 a 400 mm de la lámina de agua escurrida al año. En nuestro caso, la lámina media anual de escurrimiento es de 100 mm, por lo tanto resulta difícil estimar el impacto inmediato de la deforestación al no contar con una cuenca forestal específicamente equipada, además de que este impacto puede también ser una consecuencia del sobrepastoreo y de los cambios de los estados de superficie que ello provoca. Por esta razón se emplearon índices más sensibles en el estudio de las dos cuencas grandes, ya que la evolución esperada es evidentemente menor en la Sierra Madre Occidental, donde la lámina escurrida anual es de aproximadamente 100 mm. Todo esto condujo a investigar nuevos índices del régimen de escurrimiento.

Bibliografía citada

Ambroise, B. 1998. Genèse des débits dans les petits bassins versants ruraux en milieu temperé: 1-Processus et facteurs. Revue de sciences de l'eau. No. 4 471-495

- Andréassian, V. 1999. Indicateur d'impact de l'évolution du couvert forestier sur la ressource en eau à l'échelle des bassins versants des Cévennes et de la Montagne noire. Programme Environnement, Vie et Société CNRS, Rapport Final, 55 p.
- Bergkamp, G. 1998. A hierarchical view of the interactions of runoff and infiltration with vegetation and micro-topography in semiarid shrublands. *Catena*, 33, 201-220.
- Bosch, J.M., and J.D. Hewlett. 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of hydrology*, 55 : pp 3-23.
- Braud, I., P.C. Fernández, and F. Bouraoui. 1999. Study of the rainfall-runoff process in the Andes region using a continuous distributed model. *J. of Hydrol.*, 216:155-171.
- Braud, I., A.I.J. Viche, J. Zuluaga, L. Fornero, and A. Pedrani. 2001. Vegetation influence on runoff and sediment yield in the Andes region: observation and modelling. *J. of Hydrol.*, 254:124-144.
- Calder, I.R., L.R. Hall, H.G. Bastable, H.M. Gunston, O. Shela, A. Chirwa and R. Kafundu. 1995. The impact of land use change on the water resources in sub-Saharan Africa: a modelling study of lake Malawi. *Journal of Hydrology*, 170, 123-135.
- Caugant, C. 1998. Impact de l'évolution du couvert forestier sur le comportement hydrologique de bassins versants du Massif Central. Mém. DEA, Géomorphologie. Université Paris 1, Cemagref, 153 p.
- Cosandey, C., D. Boudjezmine, E. Roose et F. Lelong. 1990. Etude expérimentale du ruissellement sur des sols à végétation contrastée du Mont Lozère. *Z für, Geomorphologie*, 34 (1), 61-73.
- Cosandey, C. 1995. La forêt réduit-elle l'écoulement annuel ? *Annales de Géographie*, 581-582, pp 7-25.
- Croke, J., P. Hairsine and P. Fogarty, 1999. Runoff generation and re-distribution in logged eucalyptus forests, south-eastern Australia. *Journal of Hydrology*, 216, 56-77.
- Descroix, L., J.F. Nouvelot. and M. Vauclin. 2002. Evaluation of an antecedent precipitation index to model runoff yield in the western Sierra Madre (North-west Mexico). *Journal of Hydrology*, 263:114-130.
- Fritsch, J.M. 1990. Les effets du défrichement de la forêt amazonienne et de la mise en culture sur l'hydrologie de petits bassins-versants en Guyane française. Thèse, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 390 p.
- Galea, G., P. Breil, et A. Ahmad. 1993. Influence du couvert végétal sur l'hydrologie des crues, modélisation à validations multiples. *Hydrol. Continent.*, vol. 8, n°1 :17-33.
- Gustard, A., L.A. Roald, S. Demuth, H.S. Lumadjeng, and R. Gross. 1989. Flow regimes from experimental and network data (FRIEND). Institute of Hydrology, Wallingford (UK), 2 vol.
- Hewlett, J.D., H.W. Lull, and K.G. Reinhart. 1969. In defence of experimental watersheds. *Water Resour. Res.*, 5 (1): 306-316.

- Hibbert, A.R. 1967. Forest treatment effects on water yield. In: W.E. Spooer and H.W. Lull (Editors). *Int. Symp. For Hydrol.*, Pergamon, Oxford, 813 p.
- Hudson, J.A. and K. Gilman. 1993. Long term variability in the water balances of the Plynlimon cathments. *Journal of Hydrology*, 143 : pp 355-380.
- Humbert, J. et U. Kaden, 1994. D etection des modifications de l'écoulement fluvial au moyen de l'indice de débit de base. *Revue de Géographie Alpine*, 82 : 2 pp 25-36.
- Janeau, J-L., et R. Ruiz de Esparza. 1992. Cartographie des  tats de surface d'une toposéquence représentative du bassin versant de San Ignacio. In *Actas del Seminario Mapimi*. Instituto de Ecología - ORSTOM - CEMCA. México, 161 - 176.
- Janeau J.L., A. Mauchamp and G. Tarin. 1999. The soil surface characteristics of vegetation stripes in Northern Mexico and their influences on the system hydrodynamics. *Catena*, 37, 165-173.
- Kosmas, C., N. Danalatos, L.H. Cammerat, M. Chabart, J. Diamantopoulos, R. Farand, L. Gutierrez, A. Jacob, H. Marques, J. Martinez-Fernandez, A. Mizara, N. Moustakas, J.M. Nicolau, C. Oliveros, G. Pinna, R. Puddu, J. Puigdefabregas, M. Roxo, A. Simao, G. Stamou, N. Tomasi, D. Usai, and A. Vacca. 1997. The effects of land use on runoff and soil erosion rates under Mediterranean conditions. *Catena*. 29 : pp 45-59.
- Poesen, J. and H. Lavee. 1994. Rock fragments in top soils : significance and processes. *Catena*, 23 (1-2) 1-28.
- Poncet, A. 1981. Interactions Forêts et climats, in "Eaux et climats", mélanges offerts en homage   CH. P guy, Grenoble CNRS, 1981, pp 445-461.
- Rose, S. and N.E. Peters. 2001. Effects of urbanisation on streamflow in the Atlanta area (Georgia, USA): a comparative hydrological approach. *Hydrol. Process.* 15 : 1441-1457.
- Ruiz Figueroa, J.F. et C. Valentin. 1983. Effects of various types of cover on soil detachment by rainfall. Ed. Orstom, Abidjan, 17 p.
- Scott Munro, D. and L.J. Huang. 1997. Rainfall, evaporation and runoff responses to hillslope aspects in the Shenchong Basin. *Catena*, 29, 131-144.
- Snelder, D.J. and R.B. Bryan. 1995. The use of rainfall simulation tests to assess the influence of vegetation density on soil loss on degraded rangelands in the Baringo District, Kenya, *Catena*, 25, 105-116.
- Sorriso-Valvo, M., R.B. Bryan, A. Yair, F. Lovino and L. Antronico. 1994. Impact of afforestation on hydrological response and sediment production in a small Calambrian catchment. *Catena*, 25 : pp 89-104.
- Stednick, J.D. 1996. Monitoring the effects of timber harvest on annual water yield. *Journal of Hydrology*, 176:79-95.
- Tallaksen, L.M. 1995. A review of baseflow recession analysis. *J. of Hydrol.*, 165: 349-370.

- Tarin, G. 1992. Caracterización hidrodinámica de suelo a nivel de una formación en mogote, utilizando un simulador de lluvia en la Reserva de la Biósfera de Mapimí, Durango. Tesis profesional, Biología, Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Torreón, Coahuila, México. 125 p.
- Valentin, Ch. and A. Casenave. 1992. Infiltration into sealed soils as influenced by gravel cover. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56, 6: 1667-1673.
- Valentin, C. 1994. Surface sealing as affected by various rock fragment cover in West Africa. *Catena*, 23 (1-2) 87-98.
- Vandervaere, J.P. 1995. Caractérisation hydrodynamique du sol in situ par infiltrométrie à disques : analyse critique des régimes pseudo-permanents, méthodes transitoires et cas des sols encroûtés. Thèse Université Joseph Fourier, Grenoble. 329 p.
- Viramontes, D. 2000. Comportement hydrodynamique du milieu dans le haut bassin du Nazas (Sierra Madre Occidentale, Mexique). Causes et conséquences de son évolution. Thèse de géographie de l'Université Joseph Fourier-Grenoble 1 : 450 p.
- Viramontes, D. et L. Descroix. 2002. Modifications physiques du milieu et conséquences sur le comportement hydrologique des cours d'eau de la Sierra Madre Occidentale (Mexique). *Revue des Sciences de l'Eau* ,15/2: 493-513.
- Woo, M., G. Fang and P. DiCenzo. 1997. The role of vegetation in the retardation of rill erosion. *Catena*, 29 : pp 145-149.

Capítulo 10

¿Y si el bosque desaparece?

Luc Descroix, José Luis González Barrios, Raúl Solís Moreno

¡Lluvia y bosque! Estos elementos se encuentran ligados sin discusión, dado que entre más lluvia mayor densidad de vegetación natural. Las zonas boscosas frecuentemente se asocian a las montañas, las unas y las otras continuamente se encuentran ligadas, aunque en otras épocas pudieron parecer desagradables e incluso insoportables (Corbin, 2001). En la actualidad, al buscar en Europa medios naturales vírgenes o al menos poco perturbados por la actividad humana, esta búsqueda se dirige en forma intuitiva hacia la montaña, es decir hacia las zonas de lluvia. La propia lluvia ha sido objeto de diferentes percepciones en distintas épocas: han existido períodos, como la edad romántica, donde la lluvia era recibida como beneficiaria y purificadora; o bien, a juicio de Alain Corbin (2001), cuando la lluvia era menospreciada en los años 1950 – 1960 y en ese entonces *"nadie se arriesgaba a reconocer que una lluvia fina podía ser muy agradable en ciertos momentos del año"*. La percepción de la lluvia varía aún más dentro del espacio: en Europa, en algunas ocasiones se vuelve desagradable cuando los días grises y lluviosos se prolongan por varias semanas, llegando a provocar inundaciones en las planicies; por el contrario en el Sahel, en África, es unánimemente bien recibida que hasta los niños se precipitan corriendo bajo las gotas de lluvia; o al norte de México, ya sea en el desierto Chihuahuense o en la Sierra Madre Occidental, donde la lluvia siempre es portadora de buenas noticias.

De manera científica, una de las preguntas que se han hecho las sociedades y los expertos desde hace mucho tiempo, a través de las diferentes épocas y en medios muy diferentes es: *¿Los bosques pueden hacer llover?*

Las relaciones entre la distribución espacial de las lluvias y la localización de las formaciones vegetales son objeto de debates históricos, los cuales no se pueden realizar sin recordar los que protagonizaron los especialistas, desde mediados del siglo XIX a finales del XX, sobre el papel que tiene el bosque en la formación de los escurrimientos y las causas de la erosión actual en los Alpes del Sur.

La propia presidencia de México ha lanzado una "Cruzada Nacional por los Bosques y el Agua", lo que demuestra que el debate no está cerrado. Antes de analizar los resultados de trabajos realizados sobre el papel que tiene el bosque en la localización de las lluvias, se propone partir de las reflexiones o frases emitidas por los responsables mexicanos de la gestión del agua y/o de los bosques.:

Estas reflexiones provienen de un discurso del gobierno del estado de México que, en enero del 2002, declaró que era necesario terminar con la tala indiscriminada de los árboles dado que cada árbol adulto "produce" 8,000 litros de agua al año; al mismo tiempo, el secretario del medio ambiente del gobierno Mexicano, parecía convencido de que reforestando las montañas se puede encontrar el agua necesaria para abastecer los acuíferos y las presas.

Las reflexiones también provienen de una encuesta realizada en el año 2000 por la periodista Sandra Gambino en la Sierra Madre Occidental, titulada "*La Sierra se está secando*". En esta encuesta se pueden leer las impresiones de los habitantes de la Sierra y de los responsables políticos:

- un habitante de la población "La Ciudad" (sobre la carretera Durango – Mazatlán):
-la intensa sequía que padece la Sierra es ocasionada por la tala indiscriminada de los bosques, sale un camión con madera cada tres minutos, se están terminando los bosques y el futuro de los niños está en peligro ya que los pinos generan agua-,
- un chofer maderero: *-se continúa extrayendo madera como antes, sin control ya que no hay policías adentro de la Sierra, y en la mayoría de los casos, los formularios son falsificados-* y más adelante añade *-ahora hace más calor y ya no llueve, los árboles están más secos que nunca-*,
- un gerente de aserradero: *-nos traen madera todos los días; no nos interesa saber de donde viene, lo que nos interesa es producir tablas todos los días para satisfacer la demanda-*, y añade *-el precio de la madera que se entrega a los aserraderos es muy bajo, representa solo el 40 por ciento del precio del mercado declarado-*,

- el representante de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural del estado de Durango: *-el bosque es vital para generar agua, los volúmenes de lluvia que se precipitan en la Sierra disminuyeron drásticamente, provocando una grave sequía-* y señala, *-el primer factor que provoca la sequía es la tala inmoderada del bosque, la cual jamás ha estado regulada-*, posteriormente añade *-la disminución de las lluvias en la parte alta de la cuenca del río Nazas tiene consecuencias directas en La Laguna, y esto se ha agravado en los últimos años-* y finaliza diciendo *-las condiciones de sequía de la Sierra son catastróficas, el paisaje que antes era verde hasta el mes de abril, ahora es seco y sin vida, el verde ha desaparecido y en su lugar todo es color amarillo, café u ocre-*,

- la esposa de un campesino: *-cada vez hace más calor, la tala del bosque ha provocado que ya no llueva más-*.

La periodista concluye: *-el panorama es desolador, la tala inmoderada, la ausencia de un programa de reforestación y de una cultura patrimonial, hacen que el principal pulmón del norte de México este en proceso de "desinflarse"; poniendo en peligro las regiones como La Laguna y los estados de Sinaloa y Nayarit, que dependen de las aguas generadas en la Sierra de Durango-*.

El vínculo entre la disminución de la lluvia y el incremento de la temperatura a causa de la deforestación es una idea compartida en México y África. Estas mismas reflexiones son expresadas en Senegal, donde la savana arbórea se convirtió, en 60 kilómetros al interior de la misma, en una estepa muy pobre cuando a los años de sequía se agregó, en 1992, la decisión del Fondo Monetario Internacional (FMI) de eliminar el subsidio del gas. Así, el consumo de carbón se incrementó rápidamente, provocando un retroceso de 60 km de la vegetación arbustiva o arbórea.

Un estudio muy interesante y completo sobre las relaciones entre el bosque y el agua es la obra de Andreassian (2002), que en su tesis, comienza por presentar los antecedentes de la percepción y las investigaciones científicas sobre el vínculo entre el bosque y la hidrología en general (objeto de sus investigaciones y de su doctorado), y también de la relación entre la vegetación y la lluvia.

La visión histórica de la autorregulación vegetación – lluvia

El vasto panorama histórico trazado por Andreassian (2002) comienza en la antigüedad. Sin embargo, solo se mencionarán algunas de las apreciaciones más recientes. Así, Bernardín de Saint Pierre (1787), señala en relación a la Isla de Francia (Isla de Mauricio): *- La atracción vegetal de los bosques se relaciona con la atracción metálica de los picos*

de sus montañas, de tal forma que un campo vecino situado en lugar descubierto, a menudo presenta falta de lluvia, mientras que en el bosque llueve casi todo el año. Pocos años después, Rauch (1801) declara: *-se sabe, ya no se puede dudar, que los apacibles bosques que forman el más hermoso ornamento de la naturaleza, ejercen el más poderoso imperio sobre todos los meteoros ácueos-*. En 1819, el prefecto de Basses-Alpes (actualmente provincia francesa "Alpes de Haute Provence") propagó la siguiente idea: *-las altas montañas ejercen una atracción sobre las nubes, y esta atracción es la mayor posible cuando las cumbres son boscosas; entonces las nubes no solamente son atraídas, sino retenidas-* (Dugied, 1819). Para justificar la necesidad de reforestar las montañas, el silvicultor Baudrillart (1823) afirmó: *-la cantidad de agua que caía antes en Francia era mucho más considerable de lo que es actualmente-, debiéndose esto –a la disminución de las montañas boscosas y a la destrucción del bosque que cubría sus cumbres-, y agrega, -la destrucción de los bosques, en particular sobre las montañas, da por resultado la disminución de las aguas, la irregularidad de las lluvias y el cambio de temperatura-*. Algunos años más tarde, un agrónomo Boussingault (1837), concluye de sus trabajos: *-las grandes superficies deforestadas disminuyen la cantidad de aguas que escurren en el territorio de un país, y es imposible decir si esta disminución se debe a una menor cantidad anual de lluvia, a una mayor evaporación de las aguas pluviales, o a estos dos efectos combinados-*.

Formado en la escuela de puentes y caminos (*Ponts et Chaussées*) al igual que Saint Pierre y Rauch, Dausse (1842) estaba convencido que *–el hombre tiene el poder de cambiar en algunos años, por deforestación, un clima húmedo en un clima seco-*. Más escéptico, Becquerel (1865) plantea una serie de cuestionamientos que según él quedan por aclarar, entre los cuales menciona: *-¿Los bosques ejercen una influencia sobre las cantidades de agua que se precipitan y sobre la distribución de las lluvias a través del año, así como sobre los regímenes de las aguas escurridas y las aguas de manantia?-*. Él refuerza así la opinión de Surell, ingeniero de puentes y caminos que afirmaba en 1841: *-esta influencia del bosque sobre el clima no se demuestra rigurosamente, y se apoya más en presunciones que en observaciones positivas-*. No obstante, en 1878, el silvicultor Matthieu, estudiando los datos pluviométricos de tres estaciones situadas una en el bosque de Hayas, cerca de Nancy, la segunda en sus linderos y la última a 20 km situada en la planicie, pone de manifiesto que la estación situada en la zona agrícola sólo recibe el 80 por ciento de las precipitaciones de las dos estaciones forestales. Para los silvicultores, esta diferencia es la prueba irrefutable que el bosque atrae la lluvia (Andreassian, 2002). Este autor señala una clara diferencia de percepción entre una escuela "forestal" y una "agrupación de ingenieros". Este hecho, que el bosque hace llover, es corroborado en la escuela de los silvicultores en 1909 por Jacquot que indica *-lo que se estableció en Nancy, se corrobora indudablemente por todas las observaciones inscritas en Rusia, en Alemania, Austria, Suiza y hasta en la India-*. Por el contrario, fue refutado completamente por Vallès (1857) que afirmó: *-es en terrenos desnudos, más que sobre los bosques, que la lluvia cae con mayor abundancia-*. Entre estas dos fechas, Cézanne (1872) ya había resuelto las dos contradicciones afirmando: *-los bosques son incapaces de modificar sensiblemente la cantidad de agua pluvial que cae en la cuenca de un río-*.

La reciente evolución de esta cuestión

Más recientemente, la intervención de los medios electrónicos de cálculo permitió recurrir a modelos capaces de tomar en cuenta la posible retroacción o autorregulación de la vegetación sobre las lluvias. Sin embargo, se realizan observaciones, cada día en mayor número, aunque las referencias son en general más europeas o africanas que mexicanas o norteamericanas, poniendo de manifiesto que en esas regiones la cuestión está en el centro de las preocupaciones científicas.

Nuevamente los silvicultores hacen hincapié en el papel que tienen los macizos forestales en la génesis de la lluvia. Así, Martin (1950) puso de manifiesto, para la pequeña comunidad de *Landes de Gascogne* enclavada al interior del más grande macizo forestal europeo, que entre los períodos de observación de 1782-1818 y de 1891-1900, alrededor de este macizo forestal de reciente constitución, la precipitación media anual habría pasado de 709 mm a 938 mm, mientras que ésta no mostró cambios en Toulouse y sólo aumentó 6 por ciento en París. El aumento de la pluviosidad sobre la región reforestada de *Landes* sería pues del orden de 25 por ciento. No obstante, esto plantea el problema de la fiabilidad del equipo de medición utilizado en ambos casos. Más al norte, el Jutland aún boscoso en el siglo XVI, aunque las guerras eliminarían posteriormente los bosques de encino, sufrió de sequías de primavera durante el siglo XIX afectando sus cultivos. Esto motivó la constitución de la "sociedad de *Landes*" en 1866, con la finalidad de reforestar la región con pinos con la esperanza de humedecer el clima de primavera (Bavier y Bourquin, 1957). La sociedad y el Estado Francés reforestaron 118,000 hectáreas de mesetas y 40,000 hectáreas de cimas; después de lo cual, las precipitaciones registradas en los meses de abril, mayo y junio habrían pasado de 100 mm en 25 días de lluvia hacia 1870, a 150 mm en 35 días de lluvia, mejor distribuida y de menor intensidad.

Más recientemente, Poncet (1981) concluye que *-los macizos forestales retardan los vientos hasta una altura sobre el suelo que corresponde a la capa límite de turbulencia de mayor circulación atmosférica, reforzada por la aspereza aerodinámica de las altas frondosidades. Este fuerte frenado actúa en primer lugar sobre la evapotranspiración real de la cubierta forestal y sobre el régimen térmico. Pero este frenado de los vientos, favorable a los intercambios térmicos con la cobertura del suelo, propicia también las condensaciones y facilita las precipitaciones-*. No obstante, este autor es uno de los pocos en citar estudios en los cuales demuestra que las zonas de bosque tienen coeficientes de escurrimiento anuales superiores a zonas deforestadas, ambas en igualdad de condiciones.

Los universitarios aportaron su contribución a estas investigaciones; así, para el historiador Thompson (1980), *-la idea según la cual el bosque incrementa las lluvias no es nueva. De acuerdo a las narraciones que Fernando Colón realizara de su padre, Cristóbal*

Colón, éste sabía -por experiencia- que la desaparición del bosque que cubría las islas Canarias, Madera y Azores habría reducido la niebla y la lluvia. Del mismo modo, pensaba que las lluvias que se producen en Jamaica y en las Antillas después de mediodía, eran la consecuencia del exuberante bosque de las propias islas.- Por otra parte, el paso de una masa de aire de una meseta desnuda a un bosque implica, según Escourrou (1981), una disminución de la velocidad del viento y por lo tanto una ascendencia del aire que refuerza la intensidad de las lluvias: -La reforestación permitió, en algunos lugares, aumentar las lluvias en más de 6 por ciento y esta acción es sobre todo sensible durante los años secos. La destrucción del bosque denso en África puede tener consecuencias incalculables cuando se sabe que las lluvias son mayores del 30 por ciento, la humedad relativa del 15 por ciento y las temperaturas más bajas de 15°C en las zonas forestales-.

En los Alpes del Sur, la precipitación de los meses de verano (junio a agosto incluidos), disminuyó de 0.5 a 8 por ciento según los registros entre 1881 y 2000 (Descroix, 1994). Esta tendencia no se observa en los registros de los macizos que se sabe que fueron intensamente reforestados (*Ventoux-Lure, Préalpes de Digne*).

En las regiones tropicales, la deforestación pudo desempeñar un papel importante. Costa de Marfil presentó una sobreexplotación de sus recursos forestales desde hace una treintena de años; ahora bien, el bosque tropical húmedo presenta una evapotranspiración anual próxima a la de los océanos tropicales (1500 a 2500 mm.). Esta destrucción del bosque ¿No equivale a alejar el Sahel de las zonas de suministro de vapor de agua?. Por lo que se refiere a las sequías del Sahel posteriores a 1968, Labeyrie (1985) consideraba que *-el pastoreo excesivo, que va creciendo a medida que la población de la región del Sahel aumenta, contribuye sin duda a volverlas cada vez más intensas y cada vez más fatales-*.

Corresponde a Charney (1975) mostrar, en el contexto todavía de la región del Sahel, el papel de la vegetación en el desencadenamiento de la convección por medio del albedo: *-un incremento del albedo de 14 al 35 por ciento al norte de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), provoca un desplazamiento de ésta de varios grados hacia el sur, y una disminución del 40 por ciento de la precipitación en el Sahel durante la temporada de lluvias-*. Algunos años después, Anthes (1984), citado por Diongue (2001), realizó un estudio de las observaciones y teorías sobre la capacidad de la vegetación para reforzar las precipitaciones convectivas. Establece tres principales mecanismos: i) incremento de la energía estática húmeda vinculada a una disminución del albedo; ii) creación de circulaciones de gran escala asociadas a las heterogeneidades; iii) reforzamiento de la humedad atmosférica debido a un incremento de la evaporación.

Estos dos autores estudian los fenómenos atmosféricos y trabajan a escala regional. A escala local, se hace hincapié en el papel de los microclimas. Así, se puede leer en un

manual de hidrología y riego dedicado a las regiones tropicales: *-El hombre no puede actuar directamente sobre los microclimas. Por el contrario, puede pretender organizar sus tierras con el fin de modificar, de crear o de mantener los microclimas-* (Dupriez y Leener, 1990). La Figura 10.1 muestra los efectos positivos que puede tener la cubierta vegetal sobre el microclima de una región. Parecería que el papel de los setos, arbolados y árboles aislados es muy importante en la regulación de las temperaturas, tanto en la superficie del suelo como en la capa límite. Por el contrario, los efectos a mezo o macro escala son casi imposibles de probar. Esto le permite a Bruijnzel (1990), investigador de la UNESCO, decir: *-numerosos trabajos realizados en los climas tropicales húmedos y templados, generalmente condujeron a la conclusión de que el bosque no tiene consecuencia sobre la precipitación a nivel local, y que los resultados que indicaron lo contrario, carecen casi todos ellos de robustez en los datos en los cuales se basan-*.

En este caso, es necesario observar que los trabajos más destacados sobre la autorregulación vegetación-lluvia conciernen a los grandes macizos forestales tropicales y a los sectores más lluviosos. Esto se debe a que tanto en hidrología como en precipitación, el impacto de la vegetación es más estudiado y más destacado en estas zonas que en las regiones de poca precipitación.

Algunos datos observados

Los vínculos de la lluvia con la vegetación se encontraron siempre presentes en el razonamiento de los científicos. No obstante, algunas observaciones impulsaron las investigaciones hacia la existencia de una autorregulación. Rabin *et al.* (1990) utilizó imágenes de satélite e información *in situ* que le permitieron observar que la convección se formaba, en primer lugar, sobre una zona con un suelo a mayor temperatura (por ejemplo un campo de trigo) que sobre zonas adyacentes cubiertas de vegetación "verde". Los gradientes de flujo inducidos por los contrastes de superficie pueden ser atenuados dentro de la capa límite por turbulencia si las zonas heterogéneas tienen dimensiones pequeñas. Taylor y Lebel (1998) demostraron que *-bajo ciertas condiciones de superficie, se establece una correlación positiva entre las precipitaciones ocurridas en un determinado día y las precipitaciones ocurridas previamente. Estas condiciones se presentan cuando las combinaciones de lluvias anteriores han modificado los tipos de evaporación local. Los gradientes de lluvia en los acontecimientos subsiguientes tienden a persistir, reforzando la configuración de humedad de los suelos-*. Esto muestra el importante papel que tienen las condiciones de superficie. Además, Philippon y Fontaine (2002) así como Fontaine *et al.* (2002), establecieron que las temporadas de lluvias más húmedas en el Sahel se encuentran precedidas de inviernos (boreales), durante los cuales el contenido de agua en los suelos es anormalmente elevado sobre las regiones del Sahel y Sudan.

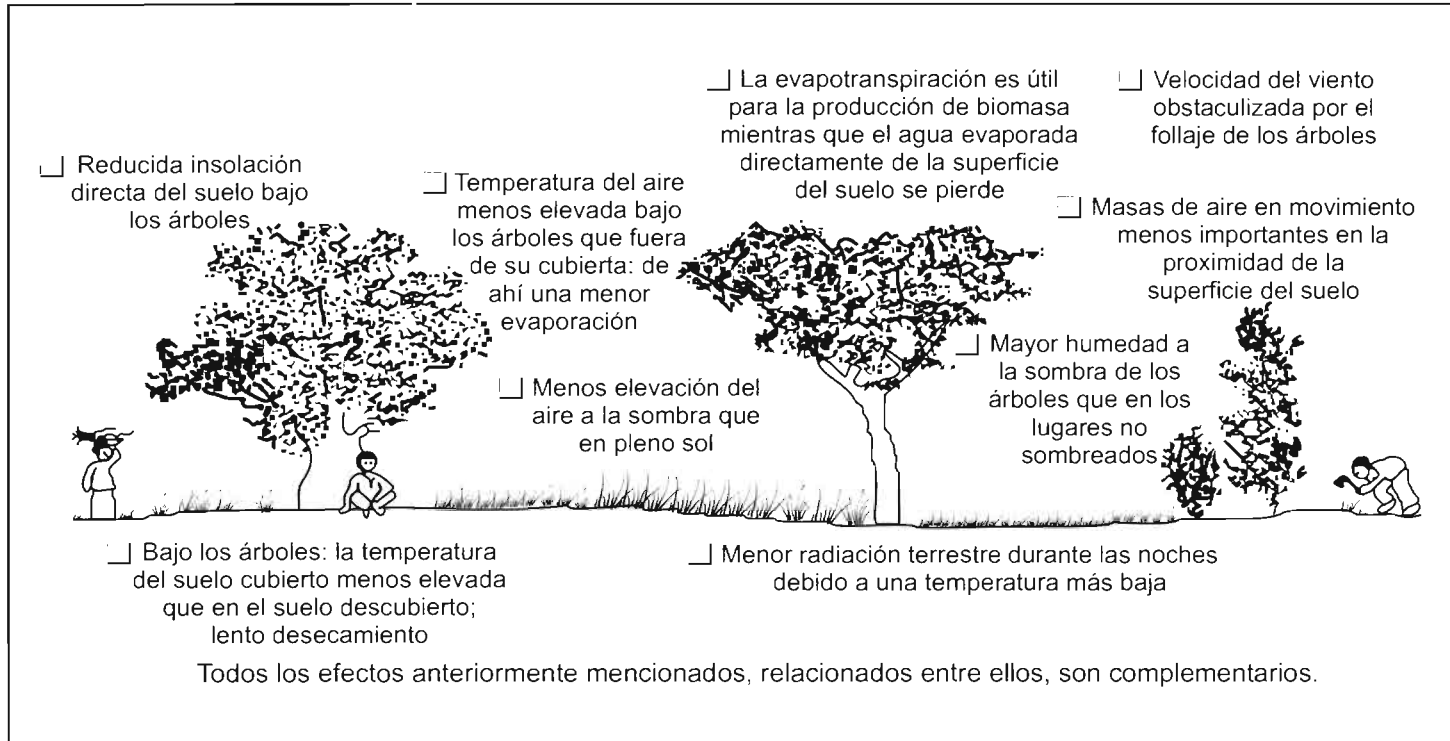


Figura 10.1. Efectos positivos de la vegetación sobre el microclima de una región (de acuerdo a Dupriez y Leener, 1990).

Cualquiera que sea el argumento, la duda persiste; Lavabre y Andressian (2000) afirman: *-el bosque tiene un impacto significativo en el clima local (menor albedo, mayor evapotranspiración). A la escala regional, a pesar de algunos resultados de investigación en el sentido de un efecto positivo sobre la pluviosidad, es difícil sin embargo concluir sobre un efecto cualquiera de la cobertura forestal-*

Muchas conclusiones basadas en los resultados de los modelos

Las autorregulaciones vegetación-clima son difíciles de determinar. Por ello, cada vez más se recurre a los modelos de simulación (con el riesgo de construir un modelo para responder a una pregunta científica y que éste sea desarrollado, desde un principio, para responder en el sentido buscado). Con respecto a la recirculación del agua, Cosandey y Robinson (2000) concluyen: *-las estimaciones varían mucho de un modelo a otro. Henderson-Sellers (1987) compara los resultados de 4 de ellos: la modificación de las precipitaciones que resultarían de la deforestación del Amazonas variaría desde un incremento de 75 mm (Lettau et al., 1979) a una reducción de 200 a 230 mm (Henderson-Sellers y Gornitz, 1984), o de 100 a 800 mm según las zonas (Wilson, 1984 citado por Henderson-Sellers, 1987). Lean y Warrilow. (1989) mencionan que la lluvia disminuiría un 20.3 por ciento, los escurrimientos 11.9 por ciento y la evapotranspiración de 27.2 por ciento. Dickison et al. (1986) encuentran también una reducción de la evaporación (hasta de 50 por ciento) y de las precipitaciones (20 por ciento). Un modelo propuesto por Shukla et al. (1990) proporciona estimaciones similares-*. En el mismo macizo forestal, se determinó que *-el efecto de la deforestación es un recalentamiento del suelo y un incremento de la convergencia de humedad inducida por un refuerzo de la ZCIT (Polcher y Laval, 1994)-*. Otros modelos permitieron definir que: *-la evaporación a partir del océano Atlántico Tropical, del África del Oeste y del África Central contribuyen 23, 27 y 17 por ciento respectivamente a las lluvias sobre el África del Oeste-*; otros autores hacen variar esta proporción de 10 al 90 por ciento, utilizando modelos diferentes (Gong y Eltahir, 1996). Zeng et al. (1999) señalan que al considerar la autorregulación "humedad del suelo – vegetación", se reproducían mucho mejor los valores de precipitación que al considerar estos elementos por separado. Por otra parte, el mismo equipo de investigadores observó que: *-cuando el modelo combinado (atmósfera-tierra-vegetación) es forzado por algunos factores como la temperatura de la superficie del océano SST por sus siglas en inglés (Sea Surface Temperature), una autorregulación positiva de los cambios vegetales conduce al incremento del gradiente espacial entre las regiones desérticas y las regiones forestales, a costa de las zonas de savana. Cuando la variación interanual de la SST se toma en cuenta, la variabilidad climática tiende a reducir la precipitación y la vegetación de las regiones más húmedas, y a aumentarlos en las zonas más secas, amortiguando la transición desierto-bosque-* (Zeng y Neelin, 2000). Asimismo, en África del Oeste se ha constatado que: *-cambios de la circulación general desempeñaron un papel importante en el desencadenamiento de la sequía en la región del Sahel (1968 – 1995), aunque otros mecanismos pueden ser responsables de la persistencia de las condiciones secas. Un Análisis de Componentes Principales (ACP) centrado en la velocidad vertical de los vien-*

tos indica un cambio importante en la circulación general antes de la sequía, durante los años 1960. Cambios similares de circulación general en los años 1970 no estuvieron acompañados de un retorno a las condiciones húmedas- (Long et al., 2000).

Por último, Shinoda y Gamo (2000) y Shinoda (2000) apreciaron la existencia de correlación entre una vegetación más provista de lo normal (altos valores del índice de diferencia de vegetación normalizado NDVI por sus siglas en inglés *Normalized Difference Vegetation Index*), y los valores de temperatura sobre la capa límite de convección inferior a lo normal; este último hecho conduce a un gradiente de temperatura altitudinal superior y en consecuencia a una mejor convección y una mayor precipitación. Estos autores ponen de manifiesto que las lluvias llamadas de los "mangos", que se producen en el Sahel algunos meses antes de la temporada de lluvias, pueden también causar esta mejora de la convección. Esta retroacción entre vegetación y precipitación explica en gran parte el mecanismo de la desertificación.

Un ejemplo de búsqueda de relación rugosidad-precipitación en la Sierra Madre Occidental

Como se mencionó en el Capítulo 5, la relación lluvia-vegetación es muy grande a causa de la estratificación de las formaciones vegetales en función de la precipitación media anual. Esta fuerte relación impide encontrar, por análisis factorial, cualquier relación opuesta que muestre autorregulación o retroacción de la vegetación sobre la distribución espacial de las lluvias. A continuación, se tratan de interpretar los resultados de trabajos de campo efectuados durante una misión en noviembre 2002. En esta misión se visitaron los sitios de un gran número de estaciones climáticas con registros de lluvia localizadas en la Sierra Madre Occidental.

Para ello, se seleccionaron una treintena de estaciones distribuidas, de norte a sur, en una superficie superior a los 400 km² y donde, por otra parte, las condiciones (a excepción del tipo de forestación) fueron en general las mismas.

Es necesario precisar que el número de estaciones se redujo considerablemente; de 312 estaciones a cerca de treinta. Por lo general esta cifra se considera como el límite de una población estadísticamente representativa. Sin embargo, no fue posible encontrar un mayor número de estaciones en condiciones homogéneas. Así, se seleccionaron solo aquellas estaciones situadas a nivel del bosque y en las altas mesetas (altiplanicies) de la Sierra Madre Occidental, de tal modo que el relieve, la altitud, la rugosidad y el tipo de formación vegetal fueran grosso modo los mismos. De esta manera, las estaciones presentan condiciones uniformes en bosque de pinos, entre 2200 y 3000 msnm, y sobre la

zona de altiplanicies riolíticas de la Sierra. La lista de las estaciones, señaladas en la Figura 10.2, también se presenta en el Anexo 1.

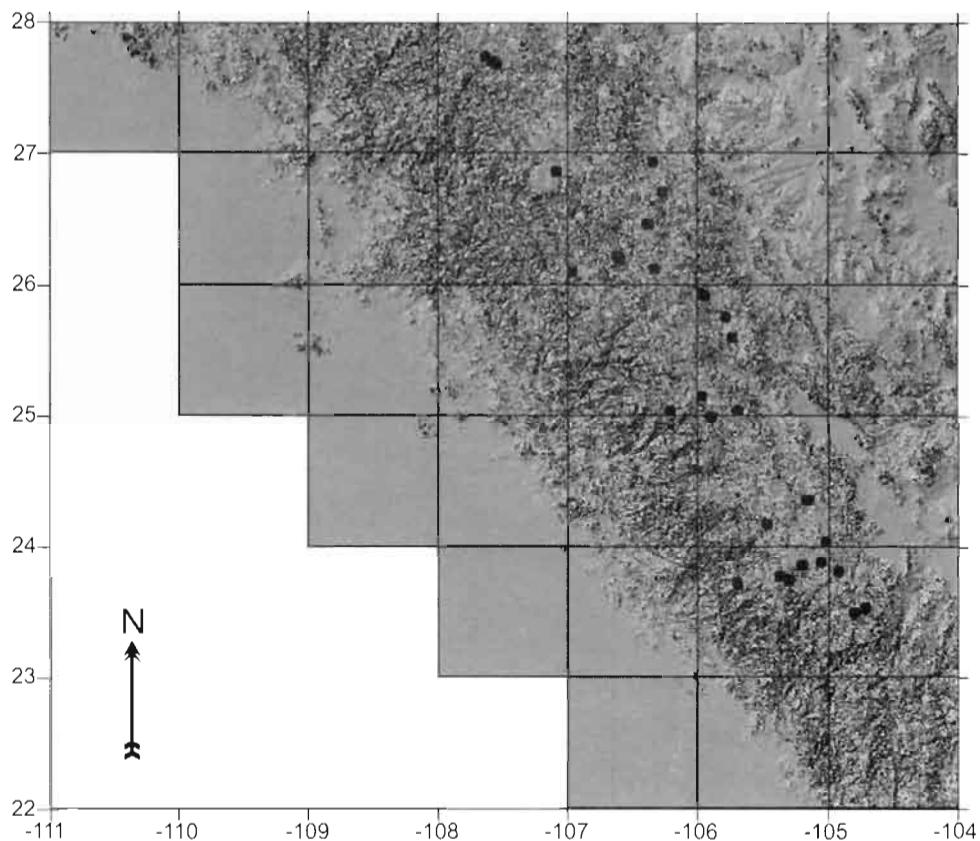


Figura 10.2. Relieve de la zona estudiada (según el modelo numérico de elevación mexicano con malla de 90 m) y la ubicación de las estaciones.

Hipótesis iniciales

Se consideró que los elementos del paisaje con mayores posibilidades de ejercer una influencia sobre la distribución espacial de las precipitaciones serán los siguientes:

- la precipitación media (PMO), principal variable dependiente; la desviación estándar de las lluvias anuales (PET) y su coeficiente de variación (PCV);

- el relieve:

- la altitud (ALT) de la estación; utilizando los modelos digitales de elevación en una superficie cuadrada de 36 km² en torno a la estación, la altitud media (AMO); la desviación estándar de sus altitudes (AET) y su coeficiente de variación que se considerará como la rugosidad de esta superficie (ACV);

- las masas vegetales:

- densidad bajo bosque y al descubierto: (IDF e IDC) y rugosidades respectivas (IRF e IRC).

La mayoría de las estaciones se sitúan en lugares descubiertos (no es aconsejable la instalación de un pluviómetro al interior del bosque), se consideró la densidad y la rugosidad de las masas vegetales tanto en las áreas descubiertas como en los bosques que las circundan;

- la superficie de las áreas descubiertas (SUPC).

También se tomó en cuenta la distancia al océano Pacífico (DIO), la latitud (LAT) y la longitud (LONG) de la estación, y la rugosidad del suelo en torno a la estación (IRS).

Las siglas indicadas entre paréntesis, utilizadas en el análisis de componentes principales, se muestran en el Cuadro 10.1.

Clasificación de las variables por ACP

Se procedió, una vez elaborada la matriz de correlación (Cuadro 10.2), a realizar un ACP (Análisis de Componentes Principales) para clasificar las variables y establecer las posibles redundancias implicadas entre ellas.

Cuadro 10.1. Variables consideradas en el análisis de componentes principales (ACP).

Sigla	Nombre de la variable
PMO	Precipitación media anual
PET	Desviación estándar de las precipitaciones anuales
PCV	Coefficiente de variación de las precipitaciones anuales
ALT	Altitud de la estación
AMO	Altitud media de una superficie cuadrada de 36 km ² entorno a la estación.
AET	Desviación estándar de las altitudes de la superficie cuadrada de 36 km ² .
ACV	Coefficiente de variación considerado como la rugosidad de esta superficie
DIO	Distancia al océano Pacífico
LONG	Longitud en UTM (proyección Universal Transversal de Mercator)
LAT	Latitud en UTM (proyección Universal Transversal de Mercator)
IDC	Índice de Densidad Vegetal Descubierta
IDF	Índice de Densidad Vegetal Forestal
IRC	Índice de Rugosidad Vegetal Descubierta
IRF	Índice de Rugosidad Vegetal Forestal
IRS	Índice de Rugosidad del Suelo
SUPC	Superficie Descubierta

Cuadro 10.2. Matriz de correlación de las variables.

	PMO	PET	PCV	ALT	AMO	AET	ACV	DIO	LONG	LAT	IDC	IDF	IRC	IRF	IRS	SUPC
PMO	1.00															
PET	0.81	1.00														
PCV	-0.48	0.11	1.00													
ALT	0.49	0.45	-0.25	1.00												
AMO	0.33	0.29	-0.15	0.84	1.00											
AET	0.02	0.02	0.11	-0.08	0.00	1.00										
ACV	-0.07	-0.04	0.18	-0.26	-0.21	0.97	1.00									
DIO	-0.69	-0.32	0.72	-0.43	-0.29	-0.14	-0.05	1.00								
LONG	0.07	-0.20	-0.43	0.06	0.03	0.43	0.39	-0.56	1.00							
LAT	-0.35	0.00	0.63	-0.23	-0.16	-0.33	-0.27	0.82	-0.93	1.00						
IDC	0.20	0.08	-0.21	0.13	0.07	0.20	0.16	-0.36	0.24	-0.31	1.00					
IDF	0.53	0.48	-0.25	0.57	0.44	-0.17	-0.27	-0.48	-0.03	-0.16	0.19	1.00				
IRC	-0.02	-0.16	-0.22	-0.04	0.03	0.23	0.19	-0.14	0.39	-0.34	0.66	0.02	1.00			
IRF	0.06	-0.08	-0.32	0.28	0.27	-0.02	-0.07	-0.45	0.41	-0.44	0.27	0.47	0.40	1.00		
IRS	-0.27	-0.12	0.31	-0.19	-0.09	-0.03	-0.02	0.35	-0.48	0.50	-0.10	0.11	-0.25	-0.15	1.00	

Se consideraron cuatro componentes principales cuyos valores se indican en el Cuadro 10.3. Todos ellos explican el 73,4 por ciento de la varianza de la población.

Cuadro 10.3. Valores correspondientes a los 4 primeros componentes del ACP.

	Valor Propio	% Total Varianza	Acumulado Valor Propio	Acumulado % agregado
1	4.8614	30.3839	4.8614	30.38
2	3.3637	21.0236	8.2252	51.41
3	2.0076	12.5475	10.2328	63.96
4	1.5080	9.4256	11.7409	73.38

La clasificación de las variables aparece en las Figuras 10.3 (ejes 1 y 2) y 10.4 (ejes 3 y 4). El primer espacio de las variables representa más del 51 por ciento de la varianza explicada.

- el primer eje está representado principalmente por la rugosidad del relieve (ACV), su desviación estándar (AET), el índice de rugosidad de las áreas descubiertas (IRC), la superficie de estas áreas (SUPC) y la desviación estándar de las lluvias anuales (PET). La superficie descubierta se correlaciona de manera negativa con la lluvia media anual, lo que conduce a pensar que grandes claros podrían constituir zonas donde la rugosidad disminuye, implicando una disminución relativa de las precipitaciones.
- el segundo eje es definido esencialmente por la distancia al océano (DIO), el coeficiente de variación interanual de las precipitaciones (PCV) y el índice de rugosidad del bosque (IRF).

Los dos primeros se correlacionan de manera negativa con la lluvia (PMO).

Por el contrario, la lluvia se correlaciona en forma positiva con el índice de densidad y el índice de rugosidad del bosque (y en menor grado con las áreas descubiertas); esto parece ratificar el papel que ejerce la rugosidad de las formaciones vegetales sobre la generación de las lluvias.

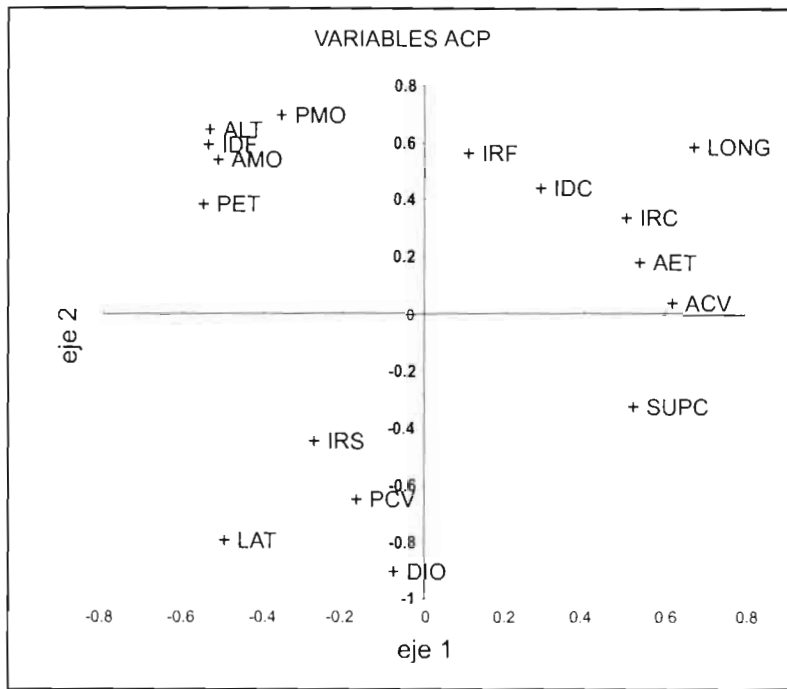


Figura 10.3. Espacio de las variables en función a los dos primeros componentes.

El segundo plano de las variables (ejes 3 y 4, Figura 10.4) explica el 22 por ciento de la variación de las observaciones.

- el eje 3 es determinado claramente por la precipitación media (PMO) que, de manera ilógica, se correlaciona en forma negativa con todos los índices de rugosidad (IRF e IRC) y densidad (IDF e IDC), siendo el índice de rugosidad del bosque el de mayor peso. Esto hace más relativas las observaciones anteriores, donde la matriz de correlación (Cuadro 10.2) pone de manifiesto que no hay correlación entre la lluvia y la rugosidad de la cubierta. Estos resultados se oponen a los obtenidos anteriormente (Descroix *et al.*, 2001), donde se observó una clara correlación entre la lluvia y la masa vegetal; esta última expresada con el valor de NDVI para diferentes superficies en torno a la estación. Sin embargo, en la relación lluvia-NDVI de este estudio se presenta el problema de correspondencia opuesta, donde la vegetación de una región depende de la precipitación que recibe.
- el eje 4 no establece casi ninguna información relativa a la lluvia, encontrándose muy cerca del eje 3 para determinar una correlación con el cuarto componente. Este eje se encuentra definido esencialmente por la rugosidad del relieve (ACV y AET).

La contradicción de la información proporcionada por los ejes 2 y 3 muestra los problemas de interpretación de los componentes principales. Se pueden obtener correlaciones opuestas según las variables analizadas, esto debido al papel complementario que juega cada una de las variables en relación a las otras.

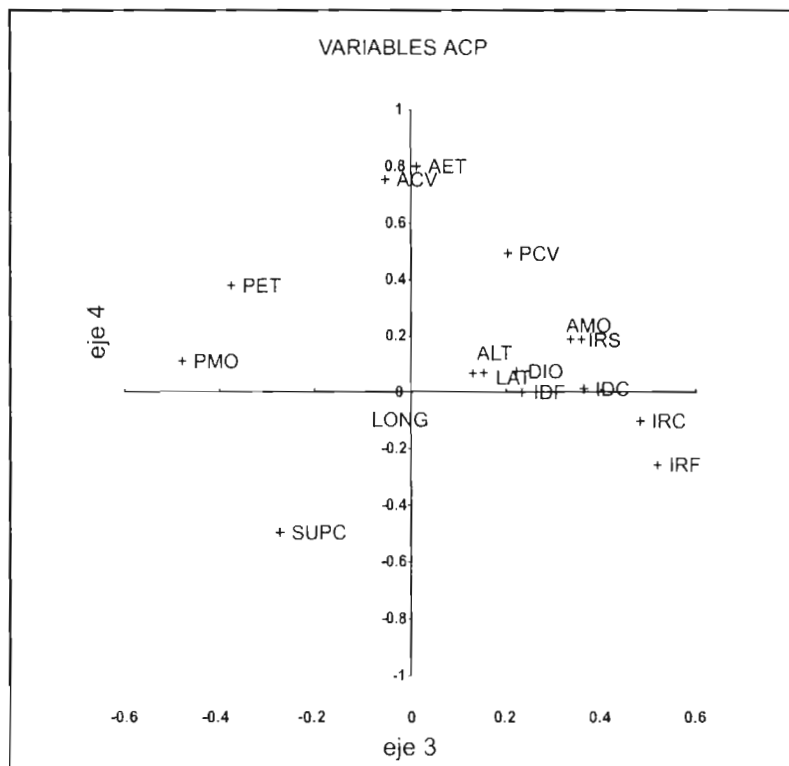


Figura 10.4. Plano de las variables según los ejes 3 y 4.

Clasificación de las estaciones por ACP

Los individuos considerados en la población estadística son las estaciones climáticas con registros de lluvia, las cuales se tomaron en cuenta en este análisis. Las intercorrelaciones de estas estaciones, representadas por los componentes 1 y 2, se muestran en la Figura 10.5. Los valores propios y porcentaje de variación explicado son los mismos que para las variables.

Se constata en la Figura 10.5 que las estaciones se agrupan en 3 subconjuntos claramente definidos:

- el grupo 1 de las estaciones situadas más bajo en altitud (2000 a 2250 msnm), sobre todo incluidas dentro del estado de Durango (excepto Balleza -8005- y Llanitos -8320) y que por lo tanto tienen una precipitación media anual moderada (550 a 700 mm.);
- un grupo 2 de estaciones, esencialmente situadas en el estado de Chihuahua, a una mayor altitud (de 2400 a 3000 msnm) pero dónde la precipitación también es moderada (600 a 800 mm.) como consecuencia al internarse en el continente; son las estaciones más distantes de la costa, y sobre todo las más septentrionales, por lo tanto más distantes del flujo del monzón americano;
- finalmente el tercer grupo reúne las estaciones más lluviosas, éstas también situadas en altitud (2300 a 2600 m) y sobre las zonas de mesetas más próximas al Pacífico y también las más meridionales, más expuestas al monzón.

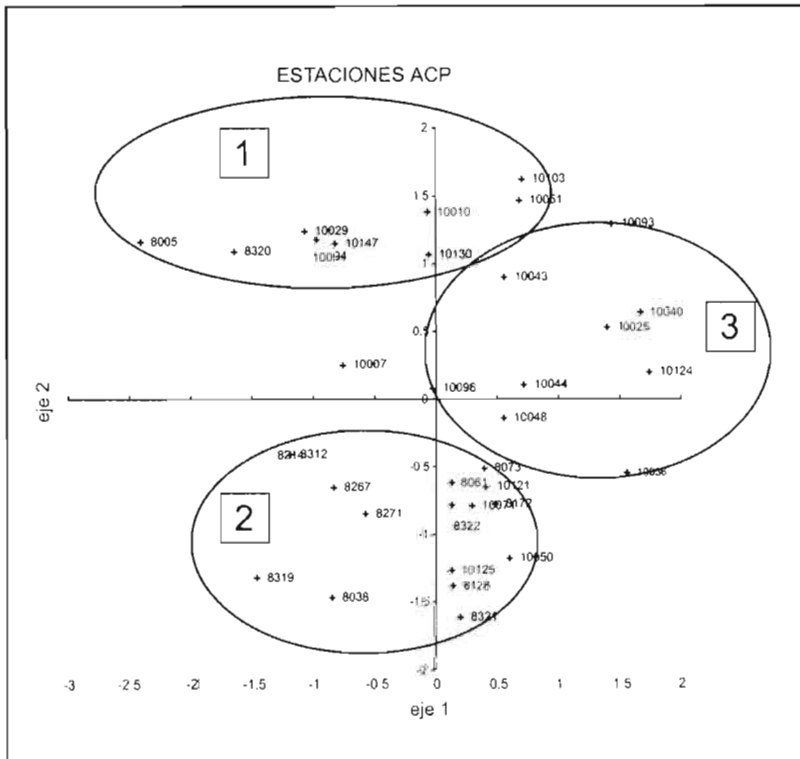


Figura 10.5. Espacio de los individuos (estaciones) según los dos primeros componentes del ACP.

En conclusión, este estudio referente a un número reducido de estaciones permite poner de manifiesto que si los factores locales como la aspereza del relieve y la vegetación, desempeñan un papel sobre la distribución de las precipitaciones, este papel es menor con relación a los factores regionales y globales como la altitud, la latitud, la longitud y la distancia en relación al litoral.

Bibliografía citada

- Andreassian, V. 2002. Impact de l'évolution du couvert forestier sur le comportement hydrologique des bassins versants. Thèse de doctorat de l'Université Paris 6, 275 p.
- Anthes, R. 1984. Enhancement of convective precipitation by mesoscale variations in vegetative covering in semiarid regions. *J. Climate Appl. Meteor.*, 23: 541-554.
- Baudrillart, J-J. 1823. *Traité Général des Eaux et Forêts, chasses et pêches*, 1. Chez Arthus Bertrand, Paris, 816 p.
- Bavier, J.B. et Bourquin, A. 1957. *Défense et illustration de la forêt*. Payot, Lausanne.
- Becquerel, A-C. 1865. *Mémoire sur les forêts et leur influence climatérique*. Firmin-Didot frères, Paris, 366 p.
- Boussingault, J-B. 1837. *Mémoire sur l'influence des défrichements dans la diminution des cours d'eau*. *Annales de Chimie*, 64: 113-141.
- Bruijnzell, L.A. 1990. Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review, UNESCO, IHPA, Publication of the Humid Tropics Programme.
- Charney, J.G. 1975. Dynamics of deserts and drought in the Sahel. *Q.J of the Roy. Meteor. Soc.*, 101 (248):193-202.
- Cézanne, E. 1872. *Suite de l'étude sur les torrents des Hautes Alpes*. Dunod, Paris, 382 p.
- Corbin, A. 2001. *L'homme dans le paysage*. Ed Textuel, Paris, 190 p.
- Cosandey C. et M. Robinson. 2001. *Hydrologie Continentale*. Armand Colin, 359 p., Paris.
- Dausse, M. 1842. De la Pluie et de l'influence des forêts sur les cours d'eau. *Annales des Ponts et Chaussées*, 3 (mars-avril): 184-209.
- Descroix, L. 1994. *L'érosion actuelle dans la partie occidentale des Alpes du Sud*:Thèse de doctorat de géographie, Université Lyon II France. 337 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.
- Dickison, R.B.B., D.C. Palmer, and D.A. Daugharty. 1986. Assessment of harvesting treatment effect on the water balance of forested basins-p Precipitation network design considerations. *Integrated Design of Hydrological networks. AISH Publ.* 158:97-103.

- Diongue, A. 2001. Interactions entre convection et écoulement de grande échelle au sein de la mousson de l'Afrique de l'Ouest. Thèse de l'Université Toulouse 3- Paul Sabatier, Physique de l'atmosphère., 248 p.
- Dugied, P.H. 1819. Projet de reboisement des Basses-Alpes. Imprimerie Royale, Paris, 113 p.
- Dupriez, H. et P. De Leener. 1990. Les chemins de l'eau: ruissellement, irrigation, drainage. Terres et Vie, L'Harmattan ENDA, Nivelles Belgique, 380 p.
- Escourrou, G. 1981. Climat et environnement: les facteurs locaux du climat. Masson, coll ; géographie, 180 p. , Paris.
- Fontaine, B., N. Philippon, S. Trzaska, et P. Roucou. 2002. Spring to summer changes in the West African monsoon through NCEP/NCAR reanalyses (1968-1998), *JGR*, 107 in press.
- Gambino, S. 2000. La sierra se está secando. *Revista de Coahuila*, mayo 2000, pp. 26-27.
- Gong, C. and E. A. B. Eltahir. 1996. Sources of Moisture for Rainfall in West Africa, *Water Resources Research*, 32(10), 3115-3121.
- Henderson-Selers, A. and V. Gornitz. 1984. Possible climatic impact of land cover transformations; with particular emphasis on tropical deforestation. *Climatic changes*, 6:231-257.
- Henderson-Selers, A. 1987. Modelling tropical deforestation: a study of GCM land surface parametrizations. *Quat. Jour. Of the Royal Meteorological Soc.*, 114:439-462.
- Jacquot, A. 1909. La forêt et son rôle dans la nature et la société. Recueil de conférences populaires, Paris.
- Labeurie, J. 1985. L'homme et le climat. Denoël, Paris, 272 p.
- Lavabre, J. et V. Andreassian. 2000. La forêt, un outil de gestion des eaux ?. Cemagref Editions, Antony, 120 p.
- Lean, J. and D.A. Warrilow. 1989. Simulation of the regional climatic impact of Amazonian deforestation. *Nature*, 342 (6248): 411-413.
- Lettau, H., K. Lettau and L.C.B. Molion. 1979. Amazonia's hydrologic cycle and the role of atmospheric recycling in assessing deforestation effects. *Monthly Weather Review*, 107:227-238.
- Long, M., D. Entekhabi and S.E. Nicholson. 2000. Interannual variability in rainfall, water vapor flux and vertical motion over West Africa, *J. Clim.*, 13, 3827-3841.
- Martin, J.J.E. 1950. Influence de l'état boisé sur la pluviosité. *Revue Forestière Française*. Nancy (n° d'avril 1950).
- Matthieu, A. 1878. Météorologie comparée agricole et forestière. Imprimerie Nationale, Paris, 70 p.
- Philippon, N. et B. Fontaine. 2002. The relationship between the Sahelian and previous 2nd Guinean rainy seasons: a monsoon regulation by soil wetness? *Annales geophysicae*, 20:575-582.
- Polcher, J. and K. Laval. 1994. The impact of African and Amazonian deforestation on

- tropical climate. *J. of Hydrol.*, 155: 389-405.
- Poncet, A. 1981. Interactions Forêts et climats, in «Eaux et climats», mélanges offerts en hommage à CH. Péguy, Grenoble CNRS, 1981, pp 445-461.
- Rabin, R., S. Stadler, P. Wetzel, D. Stensrud and M. Gregory. 1990. Observed effects of landscape variability on convective clouds. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 71: 272-279.
- Rauch, F.A. 1801. Harmonie hydro-végétale et météorologique ou recherches sur le smoyens de recréer avec nos forêts des températures et la régularité des saisons, par des plantations raisonnées, 2. Chez les frères Levrault, Paris, 299 p.
- Saint Pierre (de), B.J.H. 1787. Etudes de la Nature, 2. Imprimerie de Monsieur, Paris.
- Shinoda, M. 2000. Desertification and drought as a possible land-surface/atmosphere interaction. *Global Environmental Research*, 3 (1):9-15.
- Shinoda, M., et M. Gamo. 2000. Interannual variations of boundary layer temperature over the African Sahel associated with vegetation and the upper troposphere. *Journal of Geophysical Research*, 105 (D10): 12317-12327.
- Shukla, J., C. Nobre and P.J. Sellers. 1990. Amazon deforestation and climatic change. *Science*, 247: 1322-1325.
- Surell, A. 1841. Etude sur les torrents des Hautes Alpes. Carilian-Goeuruy et Victor Dalmont, Paris, 283 p.
- Taylor, C. and Th. Lebel. 1998. Observational Evidence of persistent Convective-scale rainfall patterns. *Monthly Weather Review*, 126:1597-1607.
- Thompson, K. 1980. Forest and climate change in America: some early view; cité par Cosandey et Robinson, p.316.
- Vallès, F. 1857. Etude sur les inondations, leurs causes et leurs effets. Victor Dalmont, Paris, 528 p.
- Zeng, N., J.D. Neelin, J.D., K.M. Lau and Compton J. Tucker. 1999. Enhancement of interdecadal climate variability in the Sahel by vegetation interaction. *Science*, 286:1537-1540.
- Zeng, N. J. and D. Neelin. 2000. The role of vegetation-climate interaction and interannual variability in shaping the African savanna, *J. Clim.*, 13:2665-2670.

CUARTA PARTE

El agua en disputa en un espacio aún libre

Introducción

Montaña inhóspita, refugio, obstáculo, fuente de agua, "*el monte*", indistintamente montaña y bosque en español, la Sierra Madre Occidental es todo eso, por supuesto a distintas épocas y para diferentes personas; sigue siendo un lugar de bandidos errantes de los caminos (en realidad existen algunos ladrones de ganado en las zonas aisladas y muy ocasionales asaltantes en las principales carreteras) pero donde el folclor del Oeste de América; de los vaqueros jóvenes, de los indígenas marginados, de los rituales milenarios, aún se encuentra vivo a pesar de la emigración. El verano es el período de reencuentros con grandes fiestas, rodeos, jaripeos, carreras de caballos..., que se organizan en ocasión de matrimonios y quinceañeras.

¿Y el agua esta ahí adentro? Una expresión mexicana dicha por los despistados: "*pero lo que sucede ahí, es como sacar agua de la montaña*"; la reciente toma de conciencia sobre la velocidad de degradación de los ecosistemas se transformó en una "*Cruzada Nacional por los Bosques y el Agua*". Es el conjunto montaña-bosque lo que determina ser una fuente de agua.

La conciencia ecológica es muy fuerte en México, y la alta tasa de escolaridad permite difundir los mensajes rápidamente en las generaciones jóvenes; parece que los habitantes de las ciudades son atraídos actualmente por la Sierra Madre; "cabañas" a menudo muy confortables se instalan en las orillas de los arroyos para acoger a los ciudadanos; no obstante esto es un fenómeno reciente, de apenas 20 años que se desarrolla en los últimos años.

De hecho, México es uno de los países del mundo donde la presión sobre el recurso "agua" será muy fuerte en las próximas décadas; incluso si el país se resigna a convertir-

se en dependiente, desde el punto de vista alimentario (lo que es ya en gran parte) de su vecino del norte y asigna a las industrias, a las ciudades y a la recreación, una gran parte del agua que por ahora se destina al riego. La presión sobre el recurso agua se mantendrá en tanto se incrementen los volúmenes necesarios para satisfacer las actividades urbanas. De hecho, la proyección que mantienen los responsables de la Comisión Nacional del Agua de la Comarca Lagunera (gran distrito de riego en la cuenca baja del río Nazas, entre los estados de Durango y Coahuila), referente al abandono progresivo y programado del riego (para la producción de alfalfa destinada al ganado lechero), que permitiría recuperar un kilómetro cúbico de agua para destinarlo a otras actividades, corre el riesgo de generar fricciones y estrategias erróneas. Ciertamente, se produce un mayor “valor agregado” por unidad de volumen de agua al utilizarla en actividades terciarias o industriales en comparación con el sector agrícola. Sin embargo, estas actividades son más contaminantes ya que los criterios ambientales son poco observados con la finalidad de atraer capitales de inversión. Si se ignora este problema, dejando que ciertas actividades se realicen con un sobre consumo del agua, en las próximas décadas el volumen renovable será sobrepasado; en lugar de ello, es necesario imponer normas estrictas en cuanto al consumo, gestión y reciclado de las aguas.

Ante la globalización, muchas maquiladoras (fábricas bajo control aduanero) y otras empresas, descentralizan sus unidades de producción (con mayor frecuencia del sector terciario, informática, centrales telefónicas, etc.) hacia otros países como China que son menos costosos (en términos de mano de obra en particular) y menos estrictos respecto a las normas anticontaminación. En México, se siguen albergando industrias sub-contratadas, tipo desmontables, de poco valor agregado o incluso, industrias contaminantes o peligrosas. ¿Existe la opción de otro tipo de política?

De hecho México sufre del síndrome de numerosos países del Sur: desde que fue despojado de casi la mitad de su territorio septentrional en 1848 después de perder una guerra frente a los Estados Unidos en plena conquista de su frontera, con lo que perdió el control de las aguas del río Colorado y del río Bravo. De esta forma, el norte del país depende en gran medida, para su suministro de agua, de la voluntad de las autoridades americanas, con las cuáles se regularon jurídicamente la repartición de las aguas fronterizas mediante tratados injustos con enormes ventajas para los americanos, garantizando solo un gasto mínimo de estos ríos hacia el territorio mexicano (Descroix y Lasserre, 2003).

Si se compara la situación del norte de México con la que prevalece en Mesopotamia (mismas latitudes, igual dependencia respecto a las fuentes de agua situadas en la zona montañosa con un país limítrofe al norte), los mexicanos tienen derecho a una porción congruente; pero solo el 5 por ciento del agua natural del Colorado llega a la frontera, y el 10 por ciento aproximadamente del río Bravo, ambos con aguas de calidad muy deteriorada. Turquía utiliza su posición privilegiada en la parte alta para ejercer presión o para

castigar a los países ubicados aguas abajo (Siria e Irak), con los cuales lleva relaciones difíciles desde hace tiempo y que se han complicado aún más a partir de su firma del Tratado de Amistad con Israel.

Existen por supuesto enormes diferencias entre las dos configuraciones:

- en primer lugar las fechas de instalación de las infraestructuras para aprovechar las aguas; Turquía comenzó a equipar el río Eufrates de manera importante a principios de los años 1980, y continuará todavía durante 20 ó 30 años más; mientras que la principal presa del Colorado (presa Hoover) empezó su funcionamiento a principios de los años 1930, mucho antes del Tratado de 1944 que reguló los litigios sobre la repartición de las aguas entre México y Estados Unidos;
- por otra parte, el valle del Colorado en México no es, por supuesto, Mesopotamia; ya que la irrigación es reciente y el distrito de Mexicali representa 200,000 hectáreas;
- aunque Turquía es un país "emergente" situado en el mismo concepto que México, y que aspira a integrarse a la Unión Europea, sigue siendo un país del sur; la relación de fuerza entre los países ubicados aguas arriba y los ubicados aguas abajo no existe en este caso, como entre Estados Unidos y México con los ríos Colorado y Bravo;
- por último, históricamente, si Turquía perdió el control de las zonas aguas abajo que dominó el imperio Otomano durante siglos, en América, es el país de aguas abajo que perdió el control de las zonas aguas arriba que constituían la "fuente de aprovisionamiento de agua".

El primer capítulo de esta cuarta parte se interesa precisamente en el peso geopolítico del agua y en su valor para una región en pleno desarrollo donde cada vez es más escasa y más demandada.

El plan de convertir el norte de México en un nuevo "Singapur" se vino abajo y no por la falta de agua, sino por la competencia de otros países como China y su inagotable disponibilidad de mano de obra, donde las ventajas comparativas son aún mayores. Si la gran economía americana no pudo emplear, en ambos lados de la frontera, a todos los campesinos "redimidos" por la nueva reforma de la tenencia de la tierra y la generalización de la propiedad privada, la situación social en México corre el riesgo de convertirse difícil al tiempo en que el país abra sus fronteras a los productos agrícolas sobre-subsidiados de los Estados Unidos. Si no, ¿Cómo es que el maíz y el frijol, base de la alimentación de los mexicanos, sean más baratos, incluyendo la transportación, importados de los EU que producidos localmente? Si no pierde su alma, México va a perder lo que le queda de la

independencia alimenticia que había logrado mal que bien hasta principios de los años 1990. Este capítulo "**El agua, agente económico y capital político**", considera también los Tratados bilaterales en materia de agua y sus consecuencias.

Por otra parte, la Sierra Madre Occidental nunca ha sido ni especialmente atractiva ni completamente desagradable; es el conjunto del norte del país que durante mucho tiempo se encontró despoblado debido a la inseguridad relacionada con la presencia de Apaches y Comanches en las grandes haciendas del desierto Chihuahuense. Y en el contexto de este gran espacio, la Sierra pudo parecer a la vez un refugio como un oasis a las orillas del desierto; sin embargo, nunca, hasta principios del siglo XX, se encontró esta región suficientemente poblada para representar una posición importante. Continuó siendo una "frontera" hasta que la Reforma Agraria permitió englobar todo este espacio a la Nación Mexicana, fortalecida por más de un siglo de historia, por una Revolución y por una gran herencia cultural. Este vacío relativo (del norte de México y no solo de la Sierra) es un activo hoy en día, donde todos los espacios son codiciados y donde los espacios vírgenes escasean ante el crecimiento de la población y el daño hecho al medio natural. Incluso los ambientes áridos en las extensas regiones resultan de interés; el nuevo Plan de Manejo de la Reserva de la Biosfera de Mapimí (Barral y Anaya, 1996; Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2004), que llevó a esta zona preservada de 120,000 a 350,000 hectáreas, está allí para probar el interés de los mexicanos para la conservación de las áreas de patrimonio humano protegidas.

La Sierra Madre Occidental es de mayor interés dada su biodiversidad y por poseer una relativa abundancia en agua. Además de ser la principal zona de suministro de madera en México, tiene el potencial para desarrollar otras actividades tales como el "**Ecoturismo: ¿Una alternativa al desaliento y sobreexplotación?**"; este es el título del penúltimo capítulo consagrado a la nueva percepción de este espacio parcialmente vacío.

El norte de México no es la única zona con estrés hídrico del país. También la cuenca alta del río Cutzamala lo es, a pesar de estar situada en montañas más lluviosas, entre los estados de México y Michoacán (centro sur del país), donde llueve más de 1000 mm de agua al año. Desde hace 15 años esa cuenca se transformó en uno de los principales proveedores de agua de la ciudad de México, una de la ciudades más grandes del mundo con sus 20 millones de habitantes; que necesita 64 metros cúbicos por segundo a todo lo largo del año. Al principio de la década de 1980 se transformó de una cuenca equipada para producir electricidad, en una fuente de aprovisionamiento de agua potable, lo cual ha traído consecuencias para sus habitantes. Por esta razón, el último capítulo de este libro se interesa en el "**Agua y espacio en Valle de Bravo: la batalla por el agua**". Esa región es otra fuente de agua, pero netamente más solicitada que la Sierra Madre Occidental y solo para satisfacer las necesidades domésticas de los habitantes de la ciudad de México y las necesidades crecientes de la cuenca industrial más grande del país.

Queda todavía decir que la Sierra Madre Occidental esta lejos aún de ser una región en sí; ya que se encuentra en la periferia de todos los estados en los que se extiende, sin ocupar el centro de ninguno de ellos. Es una zona de suministro de agua y de materias primas para los centros industriales de su periferia, principalmente Chihuahua, Durango y Gómez Palacio-Torreón. Su futuro, probablemente se debe imaginar como un espacio donde la explotación forestal y del pastizal se hará en función de la capacidad del medio, con la finalidad de conservar los paisajes y los ecosistemas que permitan el desarrollo de una nueva actividad destinada al turismo, tanto nacional como internacional.

Bibliografía citada

- Barral H. y E. Anaya. 1996. Plan de manejo de la Reserva de la Biosfera de Mapimi. Documento interno. ORSTOM-Instituto de Ecología. Durango, México.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2004. Programa de conservación y manejo de la Reserva de la Biosfera de Mapimi. Instituto de Ecología. México. 95 p
- Descroix, L. et F. Lasserre. 2003. L'eau dans tous ses états. L'Harmattan, coll. Ressources Renouvelables, Paris. 350 p.

Capítulo 11

El agua, agente económico y capital político

Luc Descroix, Frédéric Lasserre

A menudo se dice que las montañas son las fuentes de agua del planeta. Esta afirmación es verdadera desde un punto de vista global, dado que las regiones montañosas reciben la mayor cantidad de precipitación provocando el nacimiento de grandes cauces de agua. El papel, real o percibido, que desempeñan las montañas en el espacio así como su manejo, es muy diferente de una región a otra en el mundo. Las montañas pueden ser inhóspitas en regiones frías, o secas en regiones con viento (vertiente oriental de las montañas Rocayosas canadienses y americanas; meseta tibetana más allá de la barrera del Himalaya); o por el contrario, pueden ser muy apreciadas en aquellas regiones calurosas a causa de un clima más agradable o de una mayor precipitación (meseta Etiópe); en el caso de cadenas volcánicas recientes, las montañas pueden ofrecer por añadidura la ventaja de contener mejores suelos.

La Sierra Madre Occidental pudo representar tanto una zona atractiva como una zona inhóspita; incluso, hasta una zona despoblada ubicada entre otras dos zonas también despobladas. Esto debido a que, por una parte, pudo ser objeto de un cierto "centralismo" o de un insignificante apoyo de "equipamiento estructural" para su manejo y, por otra parte, porque durante mucho tiempo se encontró poblada por etnias sedentarias muy dispersas entre dos grandes desiertos también poblados por algunos nómadas.

Debido a su riqueza mineral, la Sierra Madre Occidental fue una de las regiones de México que más atrajo a los colonos españoles, en particular por el oro y la plata, tanto que es verdad que la dimensión inhóspita o atractiva de la Sierra no es una calidad intrínseca, sino que refleja las representaciones del espacio que tienen las sociedades y su capacidad de adaptación. Son numerosas las comunidades y los poblados mineros, ya sea en rezago o en pleno desarrollo, en ambas vertientes de la cadena montañosa junto con otras ciudades de crecimiento acelerado que se ubicaron, desde hace algunas décadas, en ambos lados del más grande macizo forestal de México con la finalidad de asegurar su explotación. Esta explotación, algunas veces irracional y desordenada, en otras ocasiones controlada y reglamentada, contempla obtener el mayor beneficio de la madera que pareciera ser inagotable.

Corresponde a los hidrólogos determinar si la disminución de las superficies forestales puede tener algún impacto en el recurso hídrico o en la alteración del régimen hidrológico de los cauces. Por el contrario, corresponde a los geógrafos y administradores analizar el papel innegable de “fuente de agua” que ha desempeñado en todo el norte de México el más grande macizo riolítico del mundo. La Presidencia de la República Mexicana lanzó en 2001 la «Cruzada Nacional por los Bosques y el Agua» oficializando así de manera administrativa un vínculo aún por determinarse entre el bosque y la conservación de los recursos hídricos.

Las autoridades mexicanas, a través de los responsables de la Comisión Nacional del Agua (CNA), consideran que actualmente existen en México tres prioridades nacionales en términos de agua (Figura 11.1, ver Capítulo 13). Una de ellas es la desecación del Lago de Chapala (en el estado de Jalisco, a 20 km al sur de la ciudad de Guadalajara), la cual no concierne directamente a la Sierra Madre Occidental.

Por el contrario, las otras dos prioridades se encuentran directamente vinculadas a la Sierra Madre Occidental, dado que se trata, en primer lugar, del litigio con Estados Unidos sobre la repartición de las aguas del Río Bravo/Río Grande (una gran parte de las aportaciones proviene del río Conchos, principal tributario en su margen derecha, el cual nace al interior de la Sierra Madre Occidental); y en segundo lugar, el problema del agua en La Laguna (cuencas de los ríos Nazas-Aguanaval), región endorreica cuyo suministro de agua se encuentra garantizado esencialmente por el río Nazas, que también proviene de esta cadena montañosa.

Así, dos de las prioridades hidráulicas nacionales implican directamente a la Sierra Madre Occidental. Sin embargo, estas prioridades de gestión del recurso solo se sitúan a la escala nacional. A nivel local, existen tensiones entre las comunidades rurales como consecuencia del reclamo sobre los derechos del agua; a nivel regional, dentro del estado de Durango, entre la región de La Laguna donde existe un fuerte desarrollo de la agricul-

tura irrigada y la parte alta de la cuenca donde se prev e el desarrollo de áreas agrícolas de riego. A nivel estatal, también se han presentado tensiones entre los estados de Durango y Sinaloa como consecuencia de un proyecto de encauzamiento de los escurrimientos para incrementar los recursos hidráulicos del primero. La cuestión del Río Conchos se traduce en la necesaria cooperación entre México y Estados Unidos en la gestión de sus cuencas internacionales, pero también en la delicada posición de México con relación a su poderoso vecino.

A todas estas escalas, el agua constituye una prioridad para el desarrollo económico. Sin embargo, en una situación de creciente escasez por el incremento en la demanda, las autoridades están obligadas a tomar medidas para ordenar las actividades productivas y el desarrollo de las regiones en cuestión. En este sentido, la gestión de las aguas de la Sierra Madre Occidental reviste una dimensión claramente geopolítica.



Figura 11.1. Localización de las tres "prioridades hidrológicas nacionales" actuales de México. Al norte: la cuenca del Río Bravo/Río Grande; al centro, La Laguna (cuenca de los ríos Nazas y Aguanaval, en torno a la ciudad de Torreón); al sur, la cuenca Lerma-Chapala.

El agua del río Conchos ¿Es Mexicana o Americana?

Grande hacia el norte, salvaje hacia el sur, el río Bravo del Norte o Río Grande, es resultante de las montañas Rocayosas, aunque su "travesía por el desierto" es extensa y su producción natural relativamente baja. En su cauce inferior delimita la frontera entre México y los Estados Unidos. La existencia de esta frontera permitió incluso el desarrollo de una serie de "ciudades-gemelas", de las cuales las más conocidas son El Paso y Ciudad Juárez. Si la gestión de las aguas de la cuenca se ha vuelto difícil por el rápido crecimiento de las ciudades en ambos lados de la frontera, está resulta más drástica en México; las diez mayores ciudades de la cuenca incrementaron su población total en un 117 por ciento en 20 años (1975-1995).

El principal uso del agua en esta región es el agrícola, y el total del volumen disponible se encuentra ya repartido; sus aguas presentan una salinización y un incremento en el contenido de plaguicidas; la erosión en la cuenca alta, vinculada con el sobrepastoreo, acelera la sedimentación de las presas (USGS-CERC, 1999).

Aguas abajo de la presa *Elephant Butte*, en el punto bajo de la sección americana del río, una producción mínima de 31 m³/s, controlada por la presa, permite abastecer una superficie de riego en el estado de Texas, así como un volumen de estiaje hasta la recarga garantizada por el río Conchos, afluente de la margen derecha que nace en la Sierra Madre Occidental; 2.3 m³/s también garantizan el abasto en la superficie de riego del Valle de Juárez, del lado mexicano.

Por otra parte, las ciudades de El Paso y Ciudad Juárez bombean sus aguas de un acuífero que se prevé su agotamiento en unos treinta años, al ritmo actual de extracción. Estas ciudades presentan un crecimiento acelerado, y el volumen de agua a disposición de la agricultura podría abastecer, en un futuro, las necesidades de las ciudades; como es el caso de las grandes ciudades americanas en el suroeste de los Estados Unidos, con un fuerte crecimiento (Phoenix, Albuquerque, Tucson, Las Vegas y sobre todo Los Ángeles y San Diego), que pagan desde hace varias décadas los derechos de agua a los agricultores.

A 144 km aguas abajo de Ciudad Juárez/El Paso, el fuerte *Quitman* sirve de punto de referencia para los tratados, en particular el Tratado de 1944 entre los Estados Unidos y México; más abajo de este punto, el cauce se considera como un río internacional, lo que supone que la gestión de sus aguas y de sus afluentes (ríos Conchos y Salado de la parte mexicana; río Pecos del estado de Texas) se efectúa colectivamente. Así, la presa La Boquilla en el alto Conchos, debe mantener un gasto de estiaje reservado al cauce bajo del río Bravo. Aunque las producciones son bajas para un río de esta importancia (solamente la mitad de la cuenca participa en la producción de escurrimientos), se irrigan

800,000 hectáreas dentro de la cuenca baja del río Bravo, de las cuales poco más de la mitad están situadas en México.

También se plantean graves problemas de calidad de agua; la salinización de las aguas en las superficies de riego en Texas, reducen la calidad del agua que se dispone en México. Sin embargo, el principal problema a largo plazo son las descargas urbanas, sin tratamiento, de las poblaciones de Ciudad Juárez y Nuevo Laredo Tamaulipas en territorio mexicano. Este problema es similar al del río Tijuana, cuyas aguas contaminadas afectan a distritos de riego y ciudades americanas; esta contaminación se debe en gran parte al desarrollo de maquiladoras y al crecimiento de las ciudades.

Como en otros casos del mundo, la renovación de esta fuente de agua se debe realizar a partir de una optimización máxima de las aguas de riego a través de técnicas eficaces de riego conocidas aunque costosas, pero sobre todo, con la compra de derechos de aguas agrícolas por los usuarios urbanos. Estos últimos son capaces de invertir en técnicas de racionalización de los usos, que además producen un mayor valor agregado al agua por cada metro cúbico consumido.

Por otra parte, la cohabitación de las demandas concurrentes de los sectores agrícola, industrial y urbano solo provoca fricciones moderadas en tanto no exista una grave escasez de agua. Ahora bien, desde el comienzo de los años noventa, los norteamericanos incrementaron su consumo de agua en la cuenca del río Bravo para compensar la estabilización de las extracciones del acuífero Ogallala (Descroix y Lasserre, 2003), el cual se está convirtiendo en el "mar de Aral subterráneo", sobreexplotado y en vías de agotamiento. Al mismo tiempo, una sequía aguda ocurrió en el norte de México y sur de los Estados Unidos a partir de 1992, lo que provocó que las presas se encontraran vacías desde mediados de los años 1990. Esto obligó a reducir, en ambos lados, la proporción de las superficies regadas en las que se distribuye el agua de manera efectiva; comenzando por "congelar" las tierras más distantes del almacenamiento con el fin de disminuir las pérdidas de agua por conducción.

En la primavera 2001, después de haber dejado que los campesinos del distrito de riego de Matamoros, en México, realizaran sus siembras, las autoridades norteamericanas aplicaron el Tratado de 1944 para declarar, al parecer oportunamente, que México había superado las cuotas a las cuales tenía derecho. Por lo tanto, la cosecha de sorgo fue de 5 a 20 veces inferior a la normal en este distrito de riego, representando enormes pérdidas para los agricultores involucrados. Esto provocó un enfriamiento de las relaciones entre los dos países vecinos; los campesinos y la opinión pública mexicanos tuvieron dificultades en admitir que el agua del río Conchos, poco abundante a causa de la sequía (el gasto medio en la presa de La Boquilla fue de $27 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ entre 1993 y 2003 contra $41 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de 1935 a 1992), se reservara por una cuestión de cuota a las ciudades y campe-

sinos americanos.

Así, tanto por razones de política interna (mostrar a la opinión pública mexicana que el Estado se preocupa de las cuestiones de soberanía sobre los recursos) como de política social (apoyar a los campesinos siniestrados de la cuenca baja del río Bravo), la repartición de las aguas fronterizas se convirtió en una cuestión política primordial para el Gobierno mexicano, además de ser objeto de un extenso debate nacional que no podía internacionalizarse debido a que el Tratado es claro y, al parecer, los mexicanos sobrepasaron durante varios años sus cuotas autorizadas.

En este problema fronterizo, son pocos los volúmenes de agua que podrían intercambiarse. Del lado mexicano al menos, las presas del norte del país y en particular de la cuenca del río Conchos, se encontraron vacías debido a la sequía. La problemática se aproxima aquí, según el modelo de Ohlsson (1999), de una escasez de agua de primer orden (es decir una escasez física del recurso) en oposición a una escasez de segundo orden, situación en la cual la escasez es inducida por la repartición del recurso y la estructura de su consumo. Se sabe también de una escasez inducida por la oferta (*supply-induced scarcity*) (Homer-Dixon 1995; Homer-Dixon y Blitt 1998). Sin embargo, el problema también incluye una dimensión social y política (*demand-induced scarcity*) por dos razones: reducir el consumo puede aminorar el problema, siendo necesarios los arbitrajes para determinar que sectores deberán reducir su consumo. Por otra parte, es necesario aprender a administrar la escasez, y en el caso de las aguas internacionales, resulta lógico que se realice en forma conjunta.

Al interior de la Sierra, la disputa entre ejidos: caso de Pilitas y la Peña

Los ejidos son comunidades rurales que fueron creadas por la Reforma Agraria en 1936, actualmente en curso de disolución. En la Sierra La Candela (al interior de la Sierra Madre Occidental, Figura 11.2), solo existe un cauce de agua permanente: La Ciénega del Vaca.

El manantial de Ciénega de la Vaca tiene una producción de varias decenas de litros por segundo de un agua de muy buena calidad (Descroix, 2000). Estas aguas drenan de manera natural hacia el este, permitiendo el riego en varios ejidos, en particular el ejido Peña (300 habitantes). Sin embargo, los habitantes del ejido Boleras-Pilitas que llegan a ser más de 100, tienen el proyecto de desviar el curso del agua (que nace en un territorio federal), con el fin de irrigar los terrenos de su comunidad situada más arriba que la primera, pero en otro valle. Para ello, prevén la construcción de un acueducto de 20 km en zona montañosa. Con una comunidad de tan solo un centenar de habitantes, el costo de

tal inversión solo puede ser eventualmente posible a través del financiamiento de los emigrantes (numerosos trabajadores en Chicago, Las Vegas o Los Ángeles). Desde el punto de vista legal, las comunidades que desean desviar el agua “se benefician” de un vacío jurídico, ya que los terrenos federales son, en principio, de todo el mundo. Pero sobre todo, cuentan con el uso y la costumbre de que aquél que encuentra el agua, la toma y la aprovecha. Es el principio, presente en la legislación de 19 estados americanos del oeste, de “*el primero que llegue, es el primero en derecho*” o “*prior appropriation*” (Rogers 1996). Asimismo, cuentan con la ausencia de autoridad capaz de regular esta clase de litigios; en el caso, poco probable afortunadamente, de que se realice dicho proyecto, podrían utilizar esta agua durante años antes de que el litigio fuese resuelto o que provocase un conflicto mayor.

Transferir el agua hacia el interior: el litigio entre los estados de Durango y Sinaloa

Incluso en el interior de México, existen conflictos potenciales entre los estados por acceder al agua. El estado de Durango conforma, desde hace una década, un proyecto de transferencia de agua bastante importante que corre el riesgo de ser poco apreciado entre sus vecinos (Figura 11.3). De manera global, el estado de Durango se encuentra bastante favorecido ya que se ubica en un amplio sector de la Sierra Madre Occidental, con precipitaciones importantes (de 500 a 1700 mm al año según la altitud y la exposición). Extendiéndose como una silla de montar sobre la cadena montañosa de la Sierra Madre Occidental, el territorio de este estado se desarrolla parcialmente sobre la vertiente Pacífico de la Sierra con mayor precipitación (800 a 1700 mm. al año), y sobre la vertiente interna, plegada hacia el altiplano continental, más abrigada y seca (recibe al año entre 500 y 900 mm.). Paradójicamente, la vertiente seca es la más poblada ya que la vertiente occidental húmeda es muy escarpada y de difícil acceso; solo algunas ciudades mineras se encuentran ubicadas en el fondo de estrechos valles (Figura 11.4).

Las autoridades del estado de Durango solicitaron a una sociedad de consultoría francesa la realización de un proyecto de transferencia de las aguas que drenan hacia el Pacífico para encauzarlas a través de un túnel, hacia la vertiente menos húmeda y más poblada de la región. El estudio consistió en una galería de varias decenas de kilómetros de longitud desde los valles altos de los ríos San Lorenzo y Humaya hacia la cuenca endorreica del río Nazas, que drena al sur del desierto Chihuahuense en la antigua Laguna de Mayrán. Sin embargo, solo las cuencas altas de la vertiente Pacífico se encuentran en el estado de Durango; los cauces pasan posteriormente al estado de Sinaloa donde existe infraestructura hidráulica instalada en varias presas grandes, para garantizar el riego en los distritos de Culiacán y El Fuerte-Los Mochis. Las autoridades del Sinaloa muestran preocupación por este proyecto que corre el riesgo de privar de agua a una región, *a priori*, favorecida de México pero con una fuerte variabilidad en lluvias. Así, durante el año de 1994, muy seco en todo el norte de México, se vaciaron casi completa-

mente los embalses de las presas de Sinaloa. La ubicación de estos dos estados muestra una situación típica de "mayor ventaja para quien se encuentra aguas arriba", lo que le da al estado de Durango una posición de fuerza.

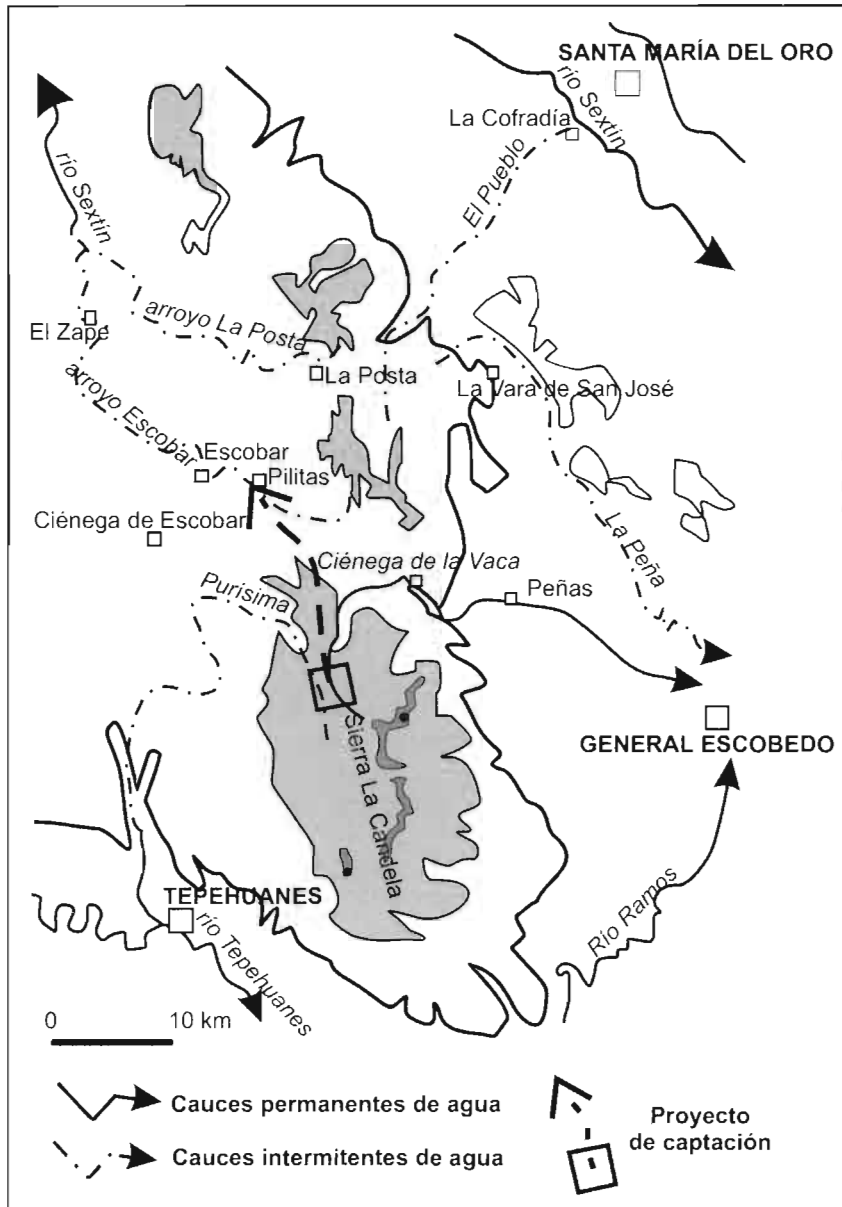


Figura 11.2. Proyecto de desvío de las aguas de Ciénega del Vaca (ver localización sobre la Figura 11.3)

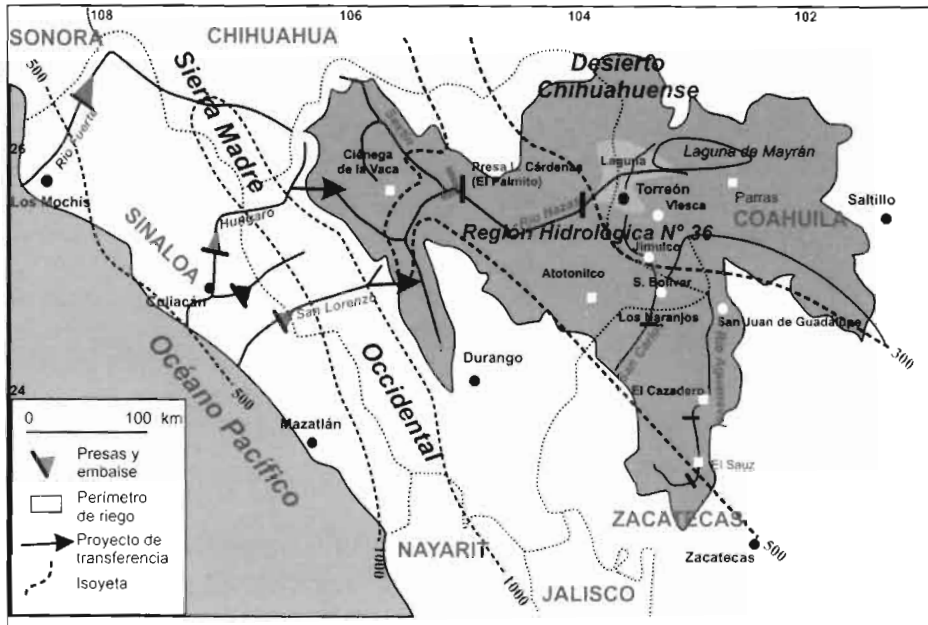


Figura 11.3. Cuenca de los ríos Nazas y Aguanaval y proyecto de transferencia hacia el río Nazas de las aguas que drenan hacia el Pacífico; a notar la localización de La Ciénega de la Vaca (Figura 11.2).



Figura 11.4. Calle del pequeño poblado de Canelas, en el fondo de un valle en la vertiente Pacífico.

En perspectiva, ¿Una batalla entre la parte alta y baja de la cuenca?

Paradójicamente, un litigio entre la parte alta y baja podría también surgir incluso al interior del estado de Durango. El gran distrito de riego 017 de la Región Lagunera ubicado en la cuenca baja del río Nazas, depende del agua que se produce en la cuenca alta. De hecho, la parte alta poco poblada puede estar destinada, indefinidamente, a proporcionar agua a las zonas de la parte baja más pobladas y desprovistas de recursos hídricos. Esta configuración es típica de las zonas áridas y semiáridas, donde las aguas de origen exógeno y su suministro dependen de la parte alta generalmente montañosa. Este caso hipotético se encuentra en todos los continentes: huertos españoles y franceses, oasis del sur del Atlas en África del Norte, Mesopotamia, Irán, Asia Central, Pendjab, grandes ríos del África en el Sahel resultantes del Fouta Djalon, oasis de los pie-de-montes argentinos, chilenos y peruanos de los Andes, distritos de riego en el norte de México y el sur occidental de los Estados Unidos, por citar algunos ejemplos.

Estas situaciones son el reflejo de los procesos históricos del desarrollo de las tierras agrícolas. Algunas veces se institucionalizaron a través de estructuras jurídicas que concedían la propiedad del agua o su derecho de uso al primero en valorarla, como en el oeste americano. En las partes bajas, por lo general propicias al desarrollo de los distritos de riego, se desarrollaron economías basadas en la explotación de un recurso hidráulico exógeno. Esta oposición entre la parte alta y baja por la gestión del recurso hidráulico se aproxima al modelo centro-periferia: se observa una concentración de los medios de producción en la parte baja, con diferenciación de las funciones del espacio de acuerdo a una lógica impuesta por los métodos de producción, y una integración del conjunto de la cuenca según esta misma lógica

Este modelo vale lo que valen los modelos; y estas estructuras espaciales de consumo del agua perduraran mientras no se pongan en entredicho aguas arriba. Es claro que este cuestionamiento no se opera sin conflictos: así pues, cuando los estados de la parte alta de la cuenca de Colorado, Nevada, Arizona, Utah, reclamaron una mayor cantidad de las aguas del río, el estado de California se opuso enérgicamente, alegando “derechos históricos” y de los daños que toda esta extracción en la parte alta causaría en su sector agrícola. Fue la intervención del Gobierno federal norteamericano, en 1997, que obligó a California a aceptar las solicitudes de sus vecinos en la parte alta. Del mismo modo, cuando Turquía decide aplicar su proyecto de desarrollo del sureste Anatoliano, construyendo numerosas presas sobre los ríos Tigris y Éufrates, Siria e Irak, vecinos de la parte baja que habían desarrollado su sector de riego desde hacia mucho tiempo, se vieron obligados a reorganizarse con esta nueva repartición del agua dada por el poder turco. Un conflicto recurrente afronta a Kirguizistán con Uzbekistán con respecto al empleo de las aguas del Syr Daria: Kirguizistán, en la parte alta aunque en menor medida que Uzbekistán, se esfuerza en hacer valer sus necesidades ante la fuerte presión de Tachkent. Finalmente, en la cuenca del río Nilo, Egipto, país localizado en la parte baja, ha logrado controlar los

usos de las aguas del río aguas arriba, ya sea por el Tratado con Sudán y Uganda, o a través de advertencias directas a Etiopía país que se encuentra minado por la recurrencia de guerras civiles y de frontera con Eritrea.

Poco habitada y con una mala gestión de sus pastizales (sobrepastoreo generalizado a pesar de un acelerado abandono de las tierras), la Sierra Madre Occidental podría muy bien convertirse en una región de agricultura intensiva ya que tiene suelos con pendientes poco pronunciadas y recursos hidráulicos. Sin embargo, el agua consumida *in situ* no estaría disponible para la parte baja, presentándose eventualmente un caso clásico de irrupción de una nueva demanda aguas arriba; esto vendría a trastornar las prácticas de consumo en la parte baja. Ahora bien, existen tensiones por el recurso en la parte alta (por ejemplo: corriente de la Ciénega de la Vaca). Como se mencionó, la mano de obra joven prefiere emigrar a Las Vegas o a Chicago, no considerando en absoluto la posibilidad de intensificar la producción de sus cultivos.

La Laguna, el triunfo del liberalismo

Al contacto con las autoridades mexicanas encargadas de la gestión del agua, se aprecian divergencias en las estimaciones de los recursos hidráulicos calculados; los datos proporcionados por los responsables políticos relativos a la recarga natural del acuífero de La Laguna son, por ejemplo, dos veces más elevados que los publicados por la Comisión Nacional del Agua (CNA). Entonces, ¿A quien creer?

El caso de La Laguna resume gran parte de los éxitos y contradicciones del espíritu pionero y de los excesos del “dejar hacer” inherente al capitalismo liberal que triunfa en Norteamérica. Desarrollado en un régimen más populista y de voluntad del presidente Lázaro Cárdenas (1934-1940), el distrito de riego 017 de La Laguna se consagró por mucho tiempo a la producción de algodón. A partir de los años cuarenta, el consumo de agua en este distrito de 160,000 hectáreas era ya muy superior al volumen disponible de aguas renovables, tanto subterráneas como superficiales. Con el contexto de la división de tierras según la Reforma Agraria, se permitió el establecimiento de miles de pequeños campesinos en el marco legal del “ejido”; todas estas comunidades rurales fueron creadas a partir de las tierras expropiadas a las grandes haciendas; propiedades que fueron desmanteladas. Por ley no se permitían explotaciones de riego superiores a 150 hectáreas. A pesar de esto, los “pequeños”, nombre otorgado a los “pequeños propietarios” algunas veces antiguos hacendados expropiados, disponían de 50 veces más superficie que el promedio con que contaban los ejidatarios en sus nuevas comunidades. Dado que el sistema de riego superficial se realizó en prioridad para los ejidos, los pequeños propietarios continuaron extrayendo el agua del acuífero e incluso, incrementando estos volúmenes lo que provocó un rápido descenso de sus niveles. El máximo se alcanzó en 1959, año en el

cual el volumen de agua consumido en La Laguna fue de 2700 millones de m^3 , es decir dos veces más del volumen renovable. Sin embargo, aunque haya disminuido desde entonces, esta sobreexplotación persiste y los niveles del agua subterránea continúan descendiendo. El abatimiento promedio del acuífero permanece en 1.75 m/año desde 1950 (Figura 11.5). Las propias medidas implementadas para hacer un uso eficiente del agua tuvieron impactos negativos (Rigal, 1988). Así, al revestir con cemento los canales principales de riego en 1960-1962 para limitar las pérdidas de conducción, se provocó inmediatamente un descenso adicional en los niveles del acuífero que se abastecía de ementaria de las infiltraciones en los canales de tierra.

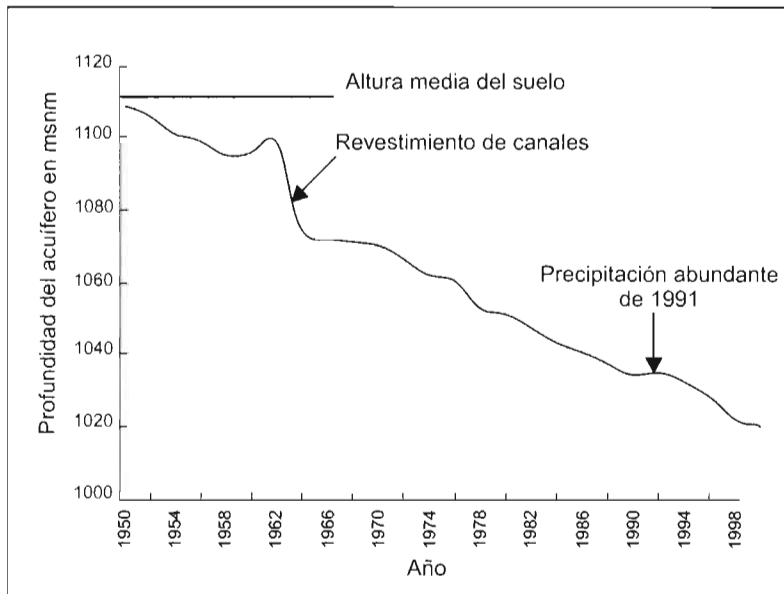


Figura 11.5. Descenso promedio del nivel freático del acuífero de La Laguna desde 1950.

Es necesario considerar que la sobreexplotación del acuífero ha disminuido en estos últimos años, a pesar de la persistencia de la sequía. Al parecer las autoridades han tomado conciencia de la gravedad de la situación y de la necesidad de preservar el recurso. Aunque estos son datos oficiales aún no comprobados. La superficie agrícola en estos últimos años disminuyó considerablemente dentro del perímetro de riego; en primer término se pasó a miniciclos de riego (el distrito se reduce de 160,000 a 50,000 - 90,000 hectáreas), luego a microciclos (menos de 25,000 hectáreas irrigadas con aguas superficiales en 2002).

Los responsables de la gestión del agua en La Laguna, en el otoño 2002, han sido optimistas en cuanto a la disminución del consumo excesivo de agua. Se basan ahora en el

liberalismo para solucionar el problema. En efecto, pareciera que el incremento en los precios del agua permitiría contar con grandes volúmenes. Como las ciudades del suroeste americano readquieran los derechos de agua de los agricultores para abastecer sus redes de agua potable y sus industrias, las autoridades locales piensan que la producción de forraje, principal actividad agrícola de La Laguna destinada al alimento del ganado lechero, va a ser sustituida por la importación de forrajes, lo que permitirá simultáneamente el mantenimiento de la importante industria agroalimentaria del sector lechero (27 por ciento de la producción de leche en México proviene de la Comarca Lagunera), además de disponer de importantes volúmenes de agua que serían destinados a otros usos de mayor valor agregado. En los últimos años se autorizaron dos nuevos campos de golf, un parque de atracciones de capital norteamericano está previsto, así como una fábrica de montaje de aviones, también norteamericana. Una parte de la actividad ganadera esta en vías de trasladarse a otras regiones vecinas, como la región de Cuatro Ciénegas; área protegida donde 64 manantiales constituyen un paisaje de "ensueño" y un sitio único en pleno desierto, actualmente amenazado por el capitalismo liberal. La Laguna hasta se permite el lujo de prever la exportación de agua hacia otras regiones aún más desamparadas, como la ciudad de Saltillo (capital del estado de Coahuila).

En resumen, se pretende sustituir a la alfalfa por actividades de alto valor agregado, produciendo mayor riqueza (100 a 1000 veces más) con la misma cantidad de agua.

Conclusión: los problemas de disponibilidad y uso del agua; de la explotación tipo minero a la administración patrimonial

A escala federal del Estado mexicano, existe no obstante una clara toma de conciencia sobre la necesidad de pasar de una explotación tipo minero del recurso hidráulico a una administración patrimonial. Esto es al menos lo que se afirma a la cabeza del Estado y que se contrapone al comportamiento pionero de los habitantes del norte del México, más cercano al de Estados Unidos (sobre todo del oeste); y distante de las comunidades indígenas del sur del país cuyos sistemas agrarios tienen más de 5,000 años y son más respetuosos del medio ambiente en el cual perduran, incluso si los contextos son poco comparables.

La política del agua está construyéndose en México y la reciente creación de los organismos de cuenca (inspirados en el modelo francés y español), donde se encuentran todos los usuarios del agua, constituye una primera etapa prometedora. No obstante, la recurrencia de los años secos que no ha permitido su puesta en marcha.

Finalmente, el tercer problema hidrológico a nivel nacional (después del río Bravo y La Laguna), el cual no se evocó en este capítulo por estar fuera la Sierra Madre Occidental, es el de la cuenca Lerma Chapala. La desaparición programada del lago mexicano más grande, quizás a corto plazo, se debe en gran parte a la política expansionista y liberal que se dejó instaurar desde el estado de Guanajuato (que cubre un 50 por ciento de la cuenca de Lerma). A partir de un consumo de agua excesivo que permitió un incremento de los rendimientos agrícolas y el enriquecimiento de una clase de pequeños propietarios que está reconstituyendo las haciendas disueltas hace apenas 50 años... Esto pone de manifiesto que si hay una política hidráulica, ésta a veces no es coherente en todo el país.

Bibliografía citada

- Descroix, Luc. 2000. Les conflits d'usage de l'eau au Nord du Mexique: une problématique multi-scalaire. Publications de la MSH-Alpes, CNRS, Grenoble. p.129-144.
- Descroix, L. et F. Lasserre. 2003. Eaux et territoires, les territoires de l'eau : tensions, coopérations et géopolitique. L'Harmattan, Paris, 260 p.
- Homer-Dixon, Th. 1995. The Ingenuity Gap: Can Poor Countries Adapt to Resource Scarcity?. *Population and Development Review*, vol 21 no 3. p. 587-612.
- Homer-Dixon, Th. et J. Blitt. 1998. *Ecoviolence. Links among environment, population and security*, Rowman & Littlefield, Lanham. 240 p.
- Ohlsson, Leif. 1999. *Environment, Scarcity, and Conflict - A study of Malthusian concerns*, Dept. of Peace and Development Research, Université de Göteborg. 253 p.
- Rigal, G. 1988. Étude du problème de l'irrigation dans une région agricole du Centre-Nord du Mexique. Mémoire de fin d'étude, INAPG Paris Grignon. 96 p.
- Rogers, P. 1996. *America's Water. Federal Roles and Responsibilities*. MIT Press et Twentieth Century, Cambridge, 286 p.
- USGS-CERC. 1999. The Lower Rio Grande Ecosystem Initiative. Page de présentation du Columbia Environmental Research Center de l'USGS : (<<http://www.cerc.usgs.gov/Irgrei.Irgrei.html>>).

Capítulo 12

Ecoturismo: ¿una alternativa al desaliento y sobreexplotación? Los activos para desarrollar una nueva actividad

Luc Descroix

La explotación de los recursos naturales de la Sierra Madre Occidental se realiza de manera general pero sin una colonización real: los bosques son talados y posteriormente, durante 10 o 20 años, estas zonas pueden no recibir la visita de ningún leñador y de ningún hato por poco distantes que éstas se encuentren de las comunidades. Sin embargo, la degradación de los pastizales es causada por hatos errantes y frecuentemente semisalvajes como los descritos en el desierto Chihuahuense (Barral y Anaya, 1995).

Asimismo, el espacio es delimitado por valles muy encajonados dentro de la vertiente del Pacífico, dividiendo ciertos sectores donde incluso, se aíslan algunas comunidades del resto del mundo. Los terrenos son escarpados y las distancias son grandes, y solo algunos caminos principales fueron pavimentados recientemente. Si bien apenas comienzan a formarse "frentes de colonización" en algunas vías de acceso donde anteriormente solo llegaban los taladores, son precisamente los accesos forestales que dan origen a las zonas pioneras, los campesinos aprovechan las áreas taladas para instalar sus campos de cultivo. Los pueblos de leñadores "se consolidan" y el comercio se generaliza.

Hacia el desarrollo del ecoturismo

Sin embargo, la Sierra Madre Occidental es aún un espacio casi virgen, uno de estos pocos espacios libres que permanecen próximos a la gran economía de los Estados Unidos. La infraestructura turística es escasa y es relativamente fácil encontrar lugares poco explorados y carentes de cualquier instalación turística. Se pueden pasar varias semanas recorriendo los senderos o caminos y solo tener contacto ocasional con campesinos y ganaderos locales, a menudo de etnias indígenas (Tepehuanos o Tarahumaras esencialmente). Sin embargo, existen dos limitaciones para eso:

- los mapas topográficos existentes (en curso de renovación) presentan antiguos caminos que ya no existen;
- los lugareños, tanto como las autoridades, desaconsejan formalmente a la gente pasear lejos de las comunidades, y sobre todo acampar, alegando la peligrosidad de estos lugares vinculados con asaltantes o posibles actividades de narcotráfico.

Incluso en las principales carreteras de acceso, ocasionalmente existen asaltos a mano armada, y las fiestas de los pueblos pueden llegar a terminar en gresca.

Además de los aspectos "folclóricos" como el uso del peyote o la presencia de los pistoleros, un mito que persiste en la Sierra, como El Dorado al interior de las cuencas del Orinoco y del Amazonas, es la idea que divulgan los campesinos según la cual habría en alguna parte un tesoro que reúne todas las piezas robadas por un bandido que "limpió" la Sierra a principios del siglo XX. Cada pueblo reivindica que en una gruta, un barranco o una depresión en el costado de un volcán, descansa esta riqueza. En realidad, en la Sierra existe un gran número de minas de oro que se encuentran, en su mayoría, cerradas (a pesar de ello Durango es el primer estado minero del país) manteniendo los misterios y leyendas donde campesinos se convierten en multimillonarios, o bien, fallecen en su intento de búsqueda sin haber podido revelar el lugar donde se esconde dicho tesoro.

Sin embargo, todas estas limitaciones tienen un aspecto positivo: se reúnen las condiciones para permitir el desarrollo del turismo ecológico. Una forma de turismo basada en el respeto y el mejor conocimiento del medio natural, permitiendo a la vez mejorar los ingresos de los campesinos y ayudar a preservar los recursos naturales. Este tipo de turismo acumula varias ventajas:

- es una alternativa a la ganadería como generador de riqueza; puede ser un turismo "integrado" donde los habitantes de los pueblos pueden encargarse:

- del alojamiento;
- de la adaptación de infraestructuras turísticas;
- de una parte de los servicios necesarios para el desarrollo del turismo: comercios, restaurantes, artesanía, guías, transporte, animación, etc..
- mejores condiciones de vida para los habitantes de la Sierra y la diversificación de sus actividades; esto podría reducir la sobreexplotación de los pastizales y bosques;
- un mejor empleo *in situ* permitiría limitar la desilusión rural que es también una causa de degradación de los paisajes o incluso de los recursos vegetales;
- finalmente el turismo ecológico permite promover una región para su interés natural y patrimonial; contribuye a la conservación del medio ambiente, dado que está vinculado a éste, siendo su principal condición de existencia.

El turismo ecológico constituye una nueva forma de desarrollo del patrimonio natural y en ocasiones cultural. Se inserta en la población haciéndola protagonista del desarrollo; esto atrae beneficios y dinámica a la región, garantizando al mismo tiempo la protección del medio natural a largo plazo.

Las tradiciones locales son las de un país nuevo ya que la colonización de estos lugares es reciente. Las costumbres indígenas est n aún presentes en las comunidades y pueblos Tarahumaras, Tepehuanos y Huicholes.

Uno de los aspectos más populares es el conjunto de fiestas centradas en el caballo y el jaripeo: rodeos, charreadas, coleaderas y carreras de caballos (Figura 12.1), en principio bastante controladas dado su vínculo con las apuestas; de hecho muchas de estas fiestas se organizan clandestinamente en pueblos distantes de las comisarías.

La artesanía se centra principalmente en el trabajo del cuero (accesorios, sandalias, etc.), la elaboración de quesos y mermeladas (patés de membrillos y manzanas). No existe una artesanía de arte como en las zonas meridionales del país donde dominan las poblaciones de origen indígena.



Figura 12.1. Carrera de caballos próxima a la comunidad de Boleras (cerca de Tepehuanes, en el estado de Durango).

El turismo nacional o el de los países del norte, se encuentra ávido de paisajes naturales, de miradores, de riqueza cultural. En la Sierra, es principalmente la gran variedad de los paisajes, vinculada a la diversidad de los relieves y a las estratificaciones altitudinales y latitudinales, que constituye el principal atractivo de esta región. Con paisajes en mayor o menor medida disturbados por la actividad humana, las zonas con un mayor o menor número de habitantes permanentes (Figura 12.2), suceden a los claros donde los campos de maíz y frijol rodean algunas casas (Figura 12.3).

Los lugares de interés turístico en este ámbito son numerosos; sólo los más interesantes se mencionarán en las páginas que siguen. Es obviamente la opinión de un observador occidental, urbano, aunque se tratará de delimitar las potencialidades de lugares y riquezas culturales que pueden servir de cimiento para el nacimiento de las actividades turísticas y sus actividades relacionadas como el alojamiento, transporte, restaurantes, formación de guías, adaptación de los lugares, etc..



Figura 12.2. Zona de cimas rocosas en la meseta riolítica de El Salto (estado de Durango).



Figura 12.3. Claro de El Tarahumar, en el parteaguas de la Sierra Madre Occidental.

“Lo que el Cañón del Colorado quisiera ser cuando sea grande”

La Barranca del Cobre

La barranca del Cobre es uno de los lugares naturales más bellos y turísticos del norte occidental de México, además de las playas de Baja California. Es uno de los más profundos barrancos del mundo, de ahí el lema con el que se le conoce tanto en México como en los Estados Unidos (escrito aquí en el título). Es, efectivamente, más profundo que el Cañón del Colorado (varias secciones tienen cerca de 1850 metros), pero lo que tiene de original este lugar, es su diversidad y la multiplicidad de sumideros (7 bien individualizados, la mayoría en los afluentes del río Fuerte, y un octavo, menos profundo pero impresionante por su belleza, drena hacia el Altiplano, Figura 12.4). Estos sumideros cuentan también con cascadas, impresionantes sobre todo en la temporada de lluvias, con miradores, y mesetas cubiertas con bellos bosques de pinos y abetos (Guía México Desconocido, 1996).

Los 7 principales sumideros son (Figura 12.5): la Barranca del Cobre (alto valle del río Urique), la barranca de Urique, la de Batopilas (sobre el río del mismo nombre), la de Sinforosa (Figura 12.6), ahondada por el río Verde, y la de Oteros-Chinipas, todas ellas situadas en los afluentes del río Fuerte. Más al norte, las barrancas de Huapoca y Candameña pertenecen respectivamente a la cuenca del río Yaqui y del río Mayo. Por último, el más pequeño es el alto valle del río Conchos, un afluente derecho del río Bravo.

Todas estas barrancas se han formado en el más grande edificio riolítico del mundo: la Sierra mide cerca de 2,000 km de norte a sur, y cuenta con al menos 200 km de ancho. Los escurrimientos provocados por las lluvias sobre la Sierra, tuvieron que cavar profundos valles para incorporarse a la planicie costera del Pacífico, profundizando varios centenares de metros (en algunos casos más de 1,500 metros) en cientos de kilómetros (Gobierno del estado de Chihuahua, 1995).

Varios circuitos permiten adentrarse en las barrancas por distintos lugares, y los hoteles o pensiones instalados permiten permanecer más tiempo o visitar en detalle algunos lugares.

El único centro turístico es la estación Creel, comunidad que lleva el nombre del ingeniero que construyó el ferrocarril Chihuahua-Pacífico y que atraviesa este lugar (ver más abajo). Cerca de este pueblo se encuentra la estación Divisadero, en la cual se domina de 1,800 metros el barranco de Úrico y donde se encuentran dos hoteles de estancia. No obstante, el acceso a las barrancas también se puede realizar por Guachochic al sur (barranca de Sinforosa, que es la más profunda) y por Basaseachic y Ciudad Madera al norte (barrancas de Huapoca y Candameña).



Figura 12.4. Localización de los principales puntos de interés turístico de la Sierra Madre Occidental.



Figura 12.5. Carta de las Barrancas del Cobre.



Figura 12.6. El mirador de Los Altos de Sinfrosa, cerca de Guachochic.

Tren Chihuahua-Pacífico

El tren Chihuahua-Pacífico es uno de los más impresionantes trabajos de ingeniería realizados en México; esta línea de ferrocarril terminada en 1961 con la finalidad de ofrecer a Chihuahua una salida al Océano, atraviesa la "Sierra Tarahumara" y todo su descenso desde el parteaguas de la Sierra hacia el Pacífico se realiza sobre las Barrancas del Cobre. Estos 500 kilómetros fueron objeto de prodigios por parte de los ingenieros y obreros: 410 puentes y 99 túneles; el desnivel de 2450 metros (Figura 12.7); las vías férreas bordean la barranca del norte con una profundidad de 1,600 metros. La línea se privatizó en 1997, y la tarifa se multiplicó por 20, transformándose de una línea de conexión intra-mexicana muy utilizada, a una línea turística y elitista con vagones climatizados (ninguna carretera atraviesa la Sierra Madre en este lugar ya que es necesario recorrer 300 km más al norte o bien, 450 km más al sur para encontrar pasos de carreteras a través de la cadena montañosa).



Figura 12.7. El tren Chihuahua-Pacífico a través de las Barrancas.

La Sierra Tarahumara

En ocasiones llamada la parte norte de la Sierra Madre (estado de Chihuahua y norte de Durango), el nombre de esta Sierra proviene de la deformación de "Raramuri", verdadero nombre de esta etnia en la lengua de sus miembros. La palabra significa "corredores a pie", aunque se les conoce comúnmente como "pies ligeros" dada su fama de grandes corredores. Los Tarahumaras se instalaban tradicionalmente en las grandes planicies del estado de Chihuahua, pero a la llegada de los españoles, fueron expulsados dejándoles como única opción el refugio de la montaña. En este conjunto de sumideros y mesetas bordeados de grandes desfiladeros, los Tarahumaras se distinguen por sus tradicionales carreras de montaña. Practican actualmente una religión que es un sincretismo de su religión tradicional y el cristianismo. Los jesuitas, expulsados de las colonias españolas al mismo tiempo que en el viejo continente, dejaron aquí una fuerte huella. Su fiesta tradicional (durante la cual empujan una piedra, por equipos, de un pueblo al otro en medio de los acantilados y precipicios, en particular durante la Semana Santa), comienza a atraer a los turistas. A principios de los años 30, Antonin Artaud en su plena época surrealista, pasó tres semanas con los Tarahumaras; sus notas le sirvieron para el escrito de un pequeño ensayo cuyos paraísos artificiales de la montaña (en particular el peyote, pequeño cactus alucinógeno) parecen haberlo inspirado.

El resto de la Sierra Madre Occidental no involucra ninguna infraestructura turística, sin embargo esto no indica que existan menos lugares y aspectos atractivos.

Paisajes de montaña templada

Debido a su latitud subtropical, las cimas de la Sierra Madre Occidental, que no superan los 3,400 msnm, no tienen una altitud suficiente para mantener nieve durante todo el año. Por otro lado, la temporada de lluvias es estival, las precipitaciones de invierno son ocasionales, excepto los años “calurosos” en términos del fenómeno ENSO (El Niño), aunque en estos últimos tampoco se presentan nevadas importantes. Cuando se llega a presentar, la cobertura de nieve solo dura algunos días. Por el contrario, debido a la claridad de la atmósfera, las heladas son frecuentes e intensas; se presentan alrededor de 100 días de heladas al año a una altitud de 2,500 msnm.

De hecho, la Sierra Madre implica varios miles de kilómetros cuadrados de bosques densos que hacen recordar los bosques alpinos, con sucesiones y alternancias de muchos pinos, encinos, abetos, de variedades muy diferentes adaptadas a la exposición, a la sequía y al frío invernal. El relieve por el contrario, es más cercano al de la región de Auvergne, en el macizo central de Francia, o al de la región de Vosges en el costado de la meseta, pero francamente original por sus barrancas. La Figura 12.8 muestra un aspecto del bosque de la Sierra de la Candela.



Figura 12.8. Pequeña retención de agua en el bosque de la Sierra del Candela

Una escenografía de películas del Oeste: Durango, mito del cine mexicano

Durango es considerado desde hace mucho tiempo como la capital del cine mexicano; de hecho, al mismo tiempo que el surrealismo, conoció su hora de gloria en las artes mexicanas (algunos artistas, en los años 30 a los 50, se encontraban muy vinculados a los medios intelectuales europeos). México tuvo hasta los años 70 un período de producción cinematográfica de gran renombre, que se exportó a los países latinoamericanos con mucho éxito. Películas cómicas (período de Cantinflas), películas románticas (dónde sobresalía La Bonita María Félix) y películas del Oeste o equivalentes (películas de pistoleros o remembranzas revolucionarias) adquirieron enormes éxitos comerciales totalmente merecidos. Los norteamericanos se vieron atraídos por estos conocimientos técnicos tanto como por los bajos costos de la mano de obra artística, pero sobre todo, por la escenografía natural de la Sierra Madre Occidental, que concordaba muy bien con el rodaje de las películas del Oeste. Durango acogió a John Wayne, ciudad donde vivió, pero fue John Ford y otros productores los que colaboraron a forjar este momentáneo Hollywood latino. Pero son pocas las cosas que quedan de esto, solo las escenografías cinematográficas colocadas al aire libre, como el pueblo - habitado - de Chupaderos, a 20 km al norte de la ciudad de Durango, o el extenso decorado deteriorado por el viento y la lluvia de la película "Amos de la Sombra" (*Shadow makers* su título en inglés), cinta que describe la hazaña de la primera bomba atómica norteamericana durante la segunda guerra mundial y que se sitúa en el sitio de Los Álamos.

Pueblos con arquitectura colonial, algunas haciendas y misiones jesuitas

Al igual que la América hispana, la Sierra Madre Occidental atrajo a los colonos españoles en búsqueda de minerales preciosos. De hecho, las grandes ciudades se sitúan en el pie-de-monte interno de la Sierra: Durango (800,000 habitantes), capital del estado del mismo nombre y localizada a 1,800 msnm al pie del último bastión de la Sierra, es una ciudad minera dominada por Cerro del Mercado completamente demolido por una mina de hierro aún en actividad. La ciudad se consagra cada vez más a la industria, la de la madera en particular (aserraderos, papel), aunque es una capital sobre todo administrativa provincial que guarda aún un aspecto "norteño", o bien "ranchero", dada la intensa actividad de la ganadería extensiva que representa la principal actividad económica de la región. En la ciudad de Durango sobresale su catedral construida a finales del siglo XVI, contando aún con numerosas casas del tiempo colonial.

Hidalgo del Parral (150,000 habitantes), lugar dónde fue asesinado Pancho Villa en 1923, ha pasado a ser el principal centro de tratamiento de madera del estado de Chihuahua y del norte de Durango.

La ciudad de Chihuahua (1'500,000 habitantes), es la más moderna y la más activa de las ciudades localizadas en el pie-de-monte interno de la Sierra; su magnífica catedral se distingue en medio de construcciones cada vez más modernas y los edificios y las industrias vinculadas a las inversiones provenientes del norte tienden a suplantar los antiguos sectores de estilo hispánico.

Las ciudades de la planicie costera, completamente desvinculadas tanto topográficamente como económicamente de la Sierra Madre, se limitan a recibir el agua relativamente abundante que abastece a los distritos de riego que originaron su reciente desarrollo (Los Mochis, Culiacán, Hermosillo, Ciudad Obregón), excepto la ciudad de Mazatlán que debe su desarrollo al turismo.

En el interior de la Sierra Madre no se presentan aglomeraciones importantes, pero si un gran número de pequeñas comunidades a menudo ubicadas desde hace varios siglos en torno a las minas (sobre todo en los estados de Durango, Zacatecas y el norte de Jalisco), o misiones jesuitas (sobre todo en el estado de Chihuahua), las cuales fueron destinadas en un principio a salvar del éxodo y la esclavitud a los habitantes de las montañas miembros de etnias seminómadas que encontraron aquí refugio durante la conquista española (Tarahumaras, Tepehuanos y Huicholes esencialmente).

Las ciudades mineras de mayor interés son Santa María del Oro e Indé (ésta última más parecida a un pueblo fantasma por su decadencia a raíz del cierre de las minas desde hace algunas décadas), así como Santiago Papasquiari y Guanaceví en el estado de Durango, al igual que Batopilas en el fondo del sumidero del mismo nombre (estado de Chihuahua). Sin embargo, numerosas pequeñas comunidades cuentan aún con una vieja iglesia, o una casa colonial en ruinas, o con un testimonio que da prueba de su pasado más dinámico (Figura 12.9).

Al norte, están las misiones jesuitas que, como en Baja California, dejaron magníficas huellas arquitectónicas; estos misioneros se internaron en la Sierra a principio del siglo XVII para llevar a cabo un trabajo de evangelización no exento de riesgos, puesto que interrumpieron su trabajo durante 40 años después de una importante rebelión en Varohíos.

Sin embargo, hasta su prohibición en 1767, y de nuevo en el siglo XX, construyeron numerosos edificios dignos de interés, como las iglesias de Balleza (la primera construida, en 1614), Chinipas (1626), Guazapares (1626), Temoris (1677), Cajurichi (1688) o también en Cusarare (1752) o en Satevó (1760) próxima de Batopilas. Cerca de cincuenta templos aún se encuentran de pie en la Sierra Tarahumara.



Figura 12.9. Iglesia de Satevó, muy cerca de Batopilas.

Por otra parte, en el pie-de-monte oriental, las comunidades conservaron un carácter típicamente colonial como en Copala, cerca de Concordia, o también en las comunidades situadas aguas arriba de Culiacán, vinculadas más con la Sierra y Durango que con la planicie costera, dada la frontera natural que ejercen los sumideros difícilmente franqueables como el de Topia y de Canelas.

Por último, las haciendas, en su mayoría destruidas o en ruinas, participaron en la colonización económica del espacio montañoso. Las más importantes se encuentran también en el pie-de-monte oriental, donde el contacto montaña - altas mesetas favoreció el desarrollo de la ganadería extensiva. A partir de la ciudad de Durango o Parral, se encuentran los restos de grandes cascos de haciendas y a veces de las iglesias que los acompañaban; la de Guatimapé (100 km al norte de Durango) es típica de esta condición. Las más grandes haciendas fueron las de Nahuerachi, al norte cerca de Madera, las de Sirupa y de Babicora en la región Tarahumara. Esta última, localizada a 60 km al este de Madera, contaba con 350,000 hectáreas que no fueron fraccionadas sino hasta en 1952; su construcción se encuentra aún en buen estado. Cerca de Tepehuanes (estado de Durango), la hacienda de El Ojito (35,000 hectáreas) no se fraccionó completamente hasta 1970 ya que la hacienda pertenecía al General Miguel Aguirre Benavides, gran amigo de Pancho Villa (Figura 12.10).



Figura 12.10. Hacienda de El Ojito.

Otros numerosos centros de interés

En realidad la Sierra Madre Occidental no está aún abierta al turismo, y numerosos lugares merecen ser descubiertos, aunque por el momento ninguna infraestructura permite visitarlos fácilmente, excepto por los miradores o “*divisaderos*” de las Barrancas del Cobre.

Numerosas cascadas permiten a las aguas de la Sierra (abundantes en temporada de lluvias) cruzar los grandes despeñaderos que constituyen las distintas afloraciones riolíticas de la Sierra Madre. La más conocida es por supuesto la de Basaseachic, al norte de las barrancas (en la de Candameña) fácilmente accesible desde el pueblo del mismo nombre en la carretera Chihuahua a Hermosillo (Figura 12.11). A pesar de sus 246 metros, esta cascada no es la más alta, puesto que, cerca de ella en el mismo barranco, se encuentra la cascada de Piedra Volada, difícil de percibir y descubierta apenas en 1995; mide 453 metros desde la cima pero no alcanza los gastos de agua de la de Basaseachic. Otras cascadas cortan los cauces de las barrancas como las de Rukiraso y Cusarare (cerca de Creel) o la de Tonachic (cerca de Guachoic).

Más al sur, sobre la carretera Durango - Mazatlán, la pequeña cascada de Mexiquillo, a 2 km de la Ciudad, último poblado de la meseta antes de que la carretera descienda a la vertiente Pacífico, constituye una especie de velo de novia. De hecho, en el inmenso México semiárido del norte, la Sierra Madre Occidental y sus numerosas fuentes de agua son muy atractivas para los pescadores y los excursionistas (Figura 12.12).



Figura 12.11. La cascada de Basaseachic.

La Sierra Madre oculta pocos lagos, a causa de su constitución geológica y morfológica (no existe volcanismo reciente ni glaciación importante); el único lago interesante es el de Arareko (Figura 12.13), cerca de Creel, un lugar conocido y frecuentado por los Tarahumaras desde hace siglos; donde se ha comenzado a instalar una infraestructura de alojamiento para el turismo. Numerosos lagos pequeños, a menudo temporales en las grandes depresiones, se diseminan en los sectores más elevados de la Sierra Madre.



Figura 12.12 Pequeño arroyo en el pueblo de Boleras.

Las fuentes termales, al contrario, son numerosas debido a la historia geológica de la Sierra. En algunos lugares se instala infraestructura para recibir al turismo, en particular en La Joya, cerca de San Francisco de Mezquital al sur de Durango. Otros est n acondicionados para baños termales, como El Zape o José María Morelos, entre Tepehuanes y Guanacevi (Durango). A las afueras de Durango, los habitantes pueden aprovechar las aguas termales del Barranco de Río Chico, que ahí cruza los últimos relieves de la Sierra Madre antes de entrar a la planicie. Más al norte, la fuente termal de Rekowara, dentro del barranco de

Tararecua, es la más conocida de las Barrancas del Cobre.



Figura 12.13. Lago de Arareko.

Por último, y porque la vida rural es aún muy activa a pesar de la urbanización y sobre todo a pesar del fuerte éxodo hacia los Estados Unidos, existe un folclor local, rico por la mezcla de modos de vida ancestrales de los *Raramuris* (carreras a pie, ritos religiosos o profanos), de los ganaderos (rodeos, carreras de caballos), de los leñadores y de campesinos. Se encuentra también en esta región el famoso queso rancharo, muy buscado en la ciudad y competencia de los quesos menonitas. Estos últimos son miembros de una secta religiosa que llegó a la región en siglo XIX y a la que los gobiernos de los estados de Zacatecas, Durango y Chihuahua permitieron con buen agrado colonizar las tierras vírgenes del pie-de-monte oriental de la Sierra Madre (municipios de Juan Aldama Zacatecas, Nuevo Ideal Durango y Cuauhtémoc Chihuahua).

Promover el ecoturismo puede ser una oportunidad en estas regiones de montaña, es una alternativa para cambiar la mono-producción de bovinos, y una forma de preservar el medio, creando actividades para los habitantes de la Sierra Madre: por otro lado se anticipa al desarrollo rural sustentable; con un agradable sabor de administración patrimonial del territorio.

Bibliografía citada

- Barral, H. y E. Anaya. 1995. La ganadería y su manejo en relación con los recursos agua y pastizal en la zona semiárida de México. Publicación ORSTOM-INIFAP, Gómez Palacio, Dgo, México, n°5. 78 p.
- Guía México Desconocido. 1996. Barrancas del Cobre; n°26, Ed. Jilguero, México. 72 p.
- Gobierno del estado de Chihuahua. 1995. Conozca Chihuahua; No. 1. Ed. Coordinación General de Turismo. Chihuahua, México. 40 p.

Capítulo 13

Agua y espacio en Valle de Bravo: la lucha por el agua

Luc Descroix, Michel Esteves, David Viramontes, Celine Duwig, Jean Marc Lapetite

El sur y el centro de México son más favorecidos que el norte en términos del balance hídrico. Se considera que agrupan 46 por ciento de las tierras cultivables del país y disponen del 93 por ciento del recurso agua. Sin embargo, es una región que es también más poblada, por el hecho de ser la región de antiguas culturas indígenas, y también por la fertilidad de sus suelos volcánicos conocidos por su riqueza, pero también por su fragilidad a los procesos de erosión.

En este capítulo, se examinará la relación entre manejo del agua y manejo del territorio en otra región de México, la de la cuenca del río Cutzamala, situada aproximadamente a 150 km al oeste de la ciudad de México.

Como se mencionó en el Capítulo 11, los "mayores" problemas hidrológicos que tiene México actualmente están ante todo en el norte, pero el centro-sur no está exento, como lo testifica la grave desaparición del Lago de Chapala.

Geopolítica de las aguas en México

Efectivamente, las autoridades mexicanas decretaron en el año 2001 tres urgencias nacionales en materia hidrológica:

- La primera es el conflicto de compartir las aguas del río Bravo (ver Capítulo 11) que envenena las relaciones entre México y Estados Unidos de Norteamérica y representa la ilustración perfecta de la relación de fuerzas entre un país del norte y uno del sur; del intercambio desigual; de la ausencia de solidaridad entre la parte alta y baja de la cuenca; de los conflictos del uso del agua; y de la razón del más fuerte;

- La segunda concierne el Lago de Chapala, que está en riesgo de desaparecer en forma definitiva: podría desaparecer a mitad de la década del 2000-2010, de lo cual se regocijarían los propietarios de tierras que tienen los medios para comprar el fondo seco del lago y sacarle provecho. La desaparición progresiva de este lago es debido al sobre consumo de agua en la cuenca alta del río Lerma que sirve cada vez más para proveer de agua a la ciudad de México. Esta cuenca tiene las mejores tierras cultivables de México. El riego se ha instalado poco a poco en ellas para aumentar los rendimientos y diversificar los cultivos. Por otra parte, más de la mitad de la cuenca está incluida en el estado de Guanajuato, cuyo gobierno de 1994 a 2000 impulsó agresivamente la expansión de los grandes agricultores; la ausencia de concertación aguas arriba y aguas abajo así como el egoísmo de cada actor hicieron condenar a la desaparición al Lago de Chapala...;

- La tercer urgencia nacional es la Comarca Lagunera, distrito de riego de 160,000 hectáreas situada en el centro norte del país, en el desierto Chihuahuense, y que padece de una severa sequía desde hace una década (ver Capítulo 11). En este caso hasta el momento no se agudiza el problema de solidaridad aguas arriba y abajo, sino el futuro del recurso agua; los campesinos de la laguna provocaron ellos mismos su pérdida al sobre explotar sus acuíferos por más de cincuenta años.

Puede parecer sorprendente que no se mencione en esta lista de prioridades el problema de abastecimiento de agua a la ciudad de México. Este aprovisionamiento es de hecho cada vez más delicado y espinoso. En efecto, la ciudad de México es otro buen ejemplo del estrés hídrico y de la ausencia de solidaridad entre aguas arriba y aguas abajo; ya que el recurso hídrico es sobre consumido en su cuenca natural (situada en altitud pero en posición de refugio topográfico). La ciudad de México ha agotado todos sus recursos hidrológicos cercanos y situados aguas arriba o en los acuíferos del Valle de Anáhuac. Así, desde hace veinte años buscan aguas más profundas en las vertientes con mayor lluvia del Eje Volcánico Central, al oeste de la ciudad, y en la cuenca del río Cutzamala, los campesinos cada vez más numerosos y ávidos de tierras se ven despojados de un recurso que les permitía aumentar sus rendimientos, asegurar buenas cosechas o tener

cultivos más rentables en los mercados cercanos.

Este ejemplo subraya la importancia de preservar el recurso aguas arriba tanto en cantidad como en calidad, para hacer perennes sus usos. En el contexto de los cambios climáticos actuales, las modificaciones de cobertura vegetal o los usos del suelo aguas arriba, así como los transvases del agua de una cuenca a la otra, o el sobre bombeo de mantos acuíferos en los pie-de-montes, pueden afectar permanentemente el balance de agua de una cuenca, y pueden desequilibrar el funcionamiento de sistemas hidráulicos aguas abajo, comprometiendo la supervivencia de distritos de riego o los acuíferos de planicies aluviales aguas abajo.

La anterioridad, el hecho de estar aguas arriba, el hecho de tener necesidades de agua superiores por tener poblaciones más importantes, son todas ellas las razones legítimas para utilizar el agua que pasa por el territorio propio; pero como la libertad de unos se detiene donde empieza la de otros, es muy importante aprender a administrar y a manejar el recurso con mucha inteligencia, en el marco de una cuenca, y si es necesario realizando acuerdos claros que no presten a confusión entre las partes. Al igual que el límite geográfico de la cuenca, es primordial que sean tomados en cuenta todos los usos del agua, aquellos que hacen prevalecer momentáneamente sin alterar (en principio) la calidad del agua, aquellos que incrementan su temperatura en procesos industriales, aquellos que la contaminan, aquellos que se sirven de ella como agente de transporte o como área de recreación y entretenimiento, aquellos que la consumen parcialmente o íntegramente (el riego, por mucho, en primer lugar), etc. Todos los usos deben buscar administrar y manejar lo mejor posible el recurso agua, y preservar su calidad así como tomar la menor cantidad posible, de tal manera que se pueda preservar tanto el recurso como el medio ambiente donde se produce y circula.

La cultura o las culturas

Antes de evocar la cuenca del río Cutzamala, un último elemento a tomarse en consideración es que México es un Estado-Nación sólido y democrático (la guerrilla chiapaneca es una prueba de la existencia de un vasto espacio de diálogo democrático, a pesar de la represión de la que fue objeto directamente por medio de la iglesia neo-conservadora importada del vecino país del norte). México tiene una sociedad indígena, mestiza, criolla, latina todo a la vez, y también en íntima mezcla con todas las culturas. Sin embargo, hay de todas maneras una separación muy fuerte entre el 10 a 20 por ciento de la población que se ha integrado al "mercado mundial" y el resto del país, provocando un quebrantamiento cultural fuertemente determinado por el territorio, la historia y los recursos, ante un norte de México árido y semiárido poco poblado, y el territorio sur ocupado desde hace milenios.

El norte también tenía etnias indígenas. Pero esencialmente nómadas, que dejaron muy poco rastro en el paisaje y estuvieron marginados por la colonización rural del siglo XX. Por ese hecho hay que distinguir claramente:

- Ese norte donde los campesinos como los del oeste norteamericano, tienen una mentalidad de pionero, y que están listos a todo para empujar la frontera, y se afligen por un mañana y por la durabilidad de los recursos naturales como la duración de su sistema de producción;
- Y el sur, país con “viejas” civilizaciones indígenas, donde la agricultura se practica desde hace milenios (Postel, 1999; Descroix y Lasserre, 2003) y que ha hecho prueba de su capacidad de adaptarse desde hace mucho tiempo, a los medios de montaña asegurando buenas cosechas en medios frágiles.

Después de haber analizado, en esta obra, las relaciones entre el hombre y la naturaleza, bajo un sistema de uso de recursos de tipo minero, que desde hace poco trata de perdurar en el norte, es interesante ver como la entrada de nuevas necesidades y nuevas herramientas puede amenazar las regiones de viejas culturas del sur de México. Los habitantes de esta última región, a pesar de ser la más poblada, deben mal que bien adaptarse al fuerte crecimiento demográfico que tienen desde hace décadas y a un contexto de presión extrema sobre los recursos (agua, bosque, territorio de entretenimiento, etc.) que como un impuesto tienen por la proximidad de una de las más grandes y exuberantes ciudades del mundo.

Historia del aprovisionamiento de agua de la ciudad de México

El Valle de México reúne aproximadamente veinte millones de habitantes en 4000 km² situados a 2240 msnm. El aprovisionamiento del agua para esos habitantes y las actividades que desarrollan continuamente constituyen un desafío permanente, dado el fuerte crecimiento demográfico (2 a 3 por ciento por año, es decir medio millón de habitantes más cada año).

Además, se trata de reducir el sobre bombeo del acuífero que es una de las fuentes de aprovisionamiento desde hace más de 50 años. El sitio de la ciudad se presta muy poco a constitución de reservas de agua: la zona urbana ocupa todo el fondo de la depresión, y del antiguo lago de Tenochtitlán que bordeaba en 1520 la ciudad más grande del mundo, ya en ese entonces era poblada por más de un millón de habitantes. Por ese hecho los 7 mil millones de metros cúbicos de agua que recibe cada año en su cuenca constituyen también un desafío en términos de manejo de avenidas. 80 por ciento de ese volumen es evapotranspirado, 11 por ciento se infiltra y el resto escurre y debe ser evacuado por

bombeo de la depresión localmente endorreica y globalmente muy plana sobre la cual se instaló la ciudad. La recarga natural del acuífero es pues de 24 m³ por segundo.

Ahora bien el bombeo comenzó a agravar la situación con hundimientos del terreno ligados a los temblores desde los años 1930; solo es necesario visitar el centro histórico de la ciudad para percibir los signos claros en los edificios antiguos: la parte derecha de la Catedral Metropolitana, el Palacio de Bellas Artes cuyo cimiento y atrio forman un embudo alrededor del edificio, iglesias e inmuebles ladeados, etc.

Desde los años 1950, además del bombeo, todas las aguas de superficie de la cuenca eran utilizadas. Se creó entonces el "Sistema Lerma" en los años 1960, para captar 14 m³ por segundo en la cuenca alta de este río, dando inicio al problema de déficit que originó la actual desaparición del Lago de Chapala (ver más arriba). La sobreexplotación del alto Lerma se manifestó desde 1972, lo que impulsó a realizar estudios para buscar agua todavía más lejos. Al mismo tiempo, el bombeo de los acuíferos del Valle de México alcanzaba más de 50 m³ por segundo, es decir más del doble de la recarga natural, acelerando el asentamiento de terrenos por el abatimiento del nivel freático.

Durante este mismo periodo de rápida expansión de la ciudad, se tuvo necesidad de contar con mas electricidad. Por ello en el gobierno del Presidente Miguel Alemán (1940-1946) se instaló un vasto sistema que lleva su nombre formado por una decena de presas hidroeléctricas de diverso tamaño que funcionan con las aguas de la cuenca alta del río Cutzamala y sus afluentes. Esta cuenca esta situada inmediatamente al oeste de la cuenca alta del río Lerma y a 150 km aproximadamente al oeste de la capital (Figura 13.1).

Este sistema fue desmantelado poco a poco y transformado para dar cantidades cada vez más grandes de agua de buena calidad a la ciudad de México; la generación de energía eléctrica disminuyó al mismo tiempo de manera considerable (y fue reemplazada por la producción de centrales térmicas, ya que México es uno de los principales productores mundiales de petróleo).

El sistema Cutzamala

El Sistema Cutzamala fue realizado en varias etapas:

- La primera etapa en 1982, consistió en captar las aguas de la presa de Villa Victoria (como casi todas las otras, que formaba parte del Sistema Miguel Alemán) y tratarlas en la planta "Los Berros", luego, mediante estaciones de bombeo, elevar 174 metros

el gasto (4 m³ por segundo) para poder conducirlo por gravedad hasta el Valle de México por un acueducto de 77 km que se une al sistema existente de captación del alto río Lerma.

- La segunda etapa, terminada en 1985, permitió sacar provecho de 6 m³ por segundo suplementarios provenientes de la presa de Valle de Bravo, realizando la proeza técnica de elevar ese gasto 822 metros de desnivel entre la presa y la planta "Los Berros", situada a 29 km de ahí, y agrandada para ello (de esta misma estación de bombeo que eleva todavía el agua de ésta hasta el parteaguas siguiente (ver abajo); la potencia de las bombas instaladas para esta sección Valle de Bravo-Los Berros alcanza 22,000 caballos.
- La tercera etapa fue puesta en servicio en 1993: se trata de captar 9m³ por segundo provenientes de las presas Chilesdo y Colorines. Esta última, es la más baja del sistema (1600 metros) y recibe ella misma las aguas de 3 presas situadas más al oeste sobre los afluentes del margen derecho del río Cutzamala; ese subconjunto provee 8 m³ por segundo para hacerlos subir 1000 metros de altura hasta la planta "Los Berros" (de donde vuelven a subir 174 metros permitiendo el cambio de cuenca vertiente) (Figura 13.2).

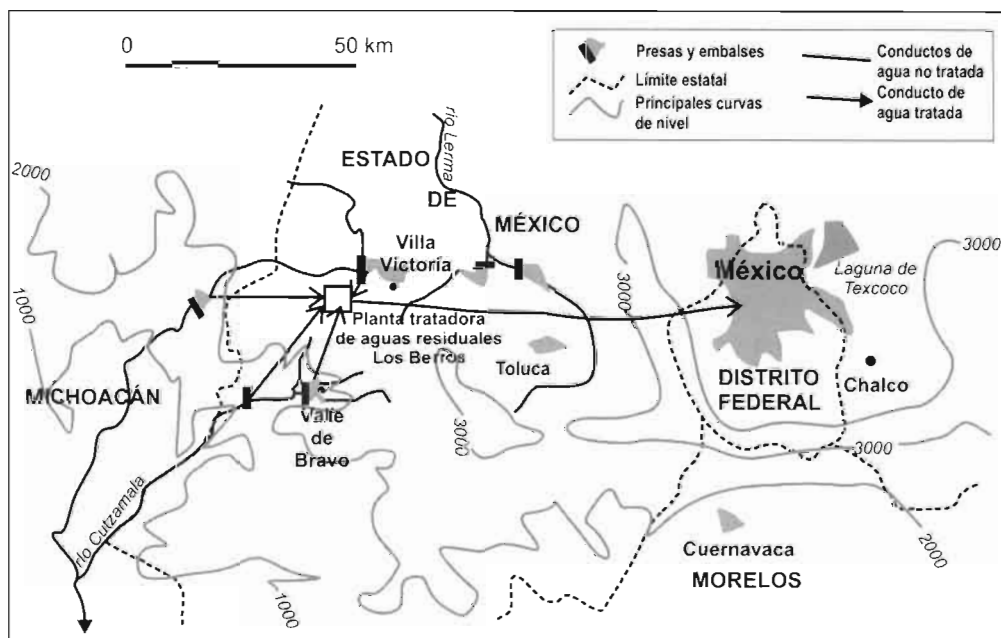


Figura 13.1. Localización del Sistema Cutzamala.

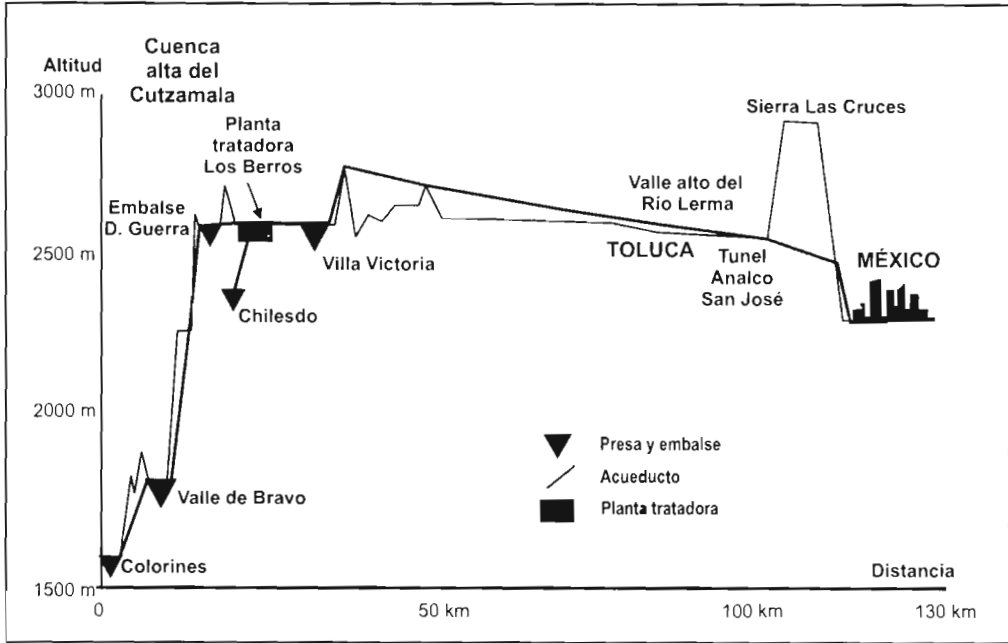


Figura 13.2. Corte del sistema Cutzamala.

 Y el futuro?

El conjunto de ese sistema de aprovisionamiento de agua es impresionante en términos de ingeniería civil, pero el reto estuvo a la mano de los ingenieros mexicanos que supieron poner su experiencia al servicio de la comunidad con una fuerte demanda de agua.

 Que pasar  cuando el agua de este sistema sea insuficiente? De hecho ya lo es, desde la puesta en servicio de esos tramos sucesivos, ya que la adición de esos 19 m³ por segundo de agua en total no fue suficiente para hacer bajar el bombeo en los ac feros de la ciudad. Existe todavía un déficit del orden de 30 m³ por segundo si se quiere verdaderamente mantener el sistema en equilibrio (es decir asegurar la durabilidad).

El progreso por realizar en términos de economía del agua ya fue alcanzado en gran parte, por las informaciones y propagandas sobre economía del agua doméstica que son muy fuertes, el trabajo de educación a la ciudadanía que es muy eficaz. Tanto niños como adultos tienen conciencia de la fragilidad del recurso y actúan globalmente en consecuencia; los industriales est n igualmente equipando sus instalaciones para consumir y contaminar al mínimo las aguas superficiales y subter neas, para reciclar al máximo. La multi-

nacional que tiene a cargo la distribución del agua redujo de 40 a 33 por ciento en 5 años sus pérdidas en la línea de producción y el esfuerzo continúa.

Conflictos entre los usuarios del agua

Los administradores y manejadores del agua de la ciudad de México lograron una explotación única: al cambiar completamente el uso principal de una cuenca de 2000 km², de una función para la generación eléctrica al aprovisionamiento de agua para consumo humano, y esto en quince años aproximadamente, sin conflicto mayor y efectuando de paso proeza de ingeniería civil.

Dicho esto entramos de lleno en la lógica de los conflictos de uso por el agua. El conflicto electricidad / agua potable pudo ser evitado, México es un gran productor de energía fósil. Pero el agua de las hidroeléctricas era restituida a la red hidrográfica, lo cual no pasa en las aguas transferidas del alto Cutzamala (y del alto Lerma) hacia la cuenca del Anáhuac.

Ahora bien, el alto Cutzamala es una rica región agrícola, que comparte gran número de pequeñas y grandes propiedades, y sobre todo de comunidades rurales y de ejidos. Por ese hecho, el agua que se atribuye desde hace 20 años a la ciudad de México es la que podría ser utilizada por esta región para aumentar los rendimientos. Esta agua estaba reservada antes en gran parte para el riego que se volvió prácticamente imposible. Los dirigentes locales de la Comisión Nacional del Agua del distrito de Valle de Bravo fueron perseguidos por la justicia en 2001 porque ante la presión ejercida por los usuarios locales, vendieron derechos ilegales de agua a los agricultores.

De hecho, ante la necesidad urgente de agua de la capital, no se preguntó a los campesinos de la cuenca si estaban de acuerdo para afectar sus aguas para resolver las necesidades urbanas. Hay que decir que con una pluviometría de 1200 mm en promedio, ellos podían parecer privilegiados a la escala del país. Pero la región es bastante poblada y los usos de agua son numerosos: riego, pesca, diversión (campos de golf y áreas verdes de Valle de Bravo, que es la zona de recreación de las clases pudientes de México). Hay que agregar que el nivel del lago debe ser mantenido constante ya que numerosas bases náuticas se encuentran alrededor del lago.

¿Como hacer perenne el recurso?

Se ha visto que el aprovisionamiento del sistema Cutzamala no permitió ni siquiera reducir el sobre bombeo del acuífero de la ciudad de México; ya que abastece solo el 25 por ciento del mercado del agua de la ciudad. ¿Pero al menos, podría asegurar que este recurso perdurará?

El problema mayor, fuera de la presión sobre el recurso agua, es ese de la presión por la tierra. Todo México central esta muy poblado, y ese eje volcánico que tiene los mejores suelos (los Andosoles) en términos de fertilidad, no son la excepción, por el contrario; como en muchos países volcánicos, las montañas son cultivadas allí desde hace siglos, o milenios como en el Valle de Tehuacán, estado de Oaxaca (Postel, 1999).

Se observa desde hace varias décadas, una aumento de la presión por el terreno, ligado al crecimiento demográfico y a la demanda de productos agrícolas. Eso se traduce lógicamente, por desmontes de terrenos cada vez más escarpados ya que los de menor pendiente ya están ocupados. Como la ley federal mexicana prohíbe la tala de árboles, vivos, algunos campesinos astutos utilizan estratagemas que van hasta el extremo de matar a los árboles sin cortarlos, utilizando pequeñas fogatas o estrangulando los troncos con alambres de los cercos apretados firmemente alrededor de ellos.

De cualquier manera, esta hambre de tierra se traduce por la pérdida de bosque, que ya esta relegada a zonas más elevadas donde la agricultura es imposible (en los flancos del nevado de Toluca por ejemplo) o sobre las únicas vertientes escarpadas, donde la labor sin la ayuda de animales de tiro sería imposible. Los bosques son reemplazados cada vez más por zonas de cultivo (Figura 13.3), lo cual no esta exento de tener consecuencias importantes en términos hidrológicos.

Tres tipos de impactos importantes se pueden esperar:

1. Erosión de los suelos. Ya se vio que los Andosoles son extremadamente fértiles pero también muy frágiles; tienen la facultad de conservar por mucho tiempo la humedad propicia para los cultivos (fuertes valores de capacidad de campo¹ y punto de marchitamiento permanente²); pero su desecación conduce a la pérdida total de su cohesión y cuando se tornan pulverulentos, son fuertemente sometidos a la erosión eólica e hídrica.

¹ Ver glosario

² Ver glosario

2. La agricultura reemplaza al bosque, lo cual hace que las aguas de escurrimiento y de infiltración estén cada vez mas cargadas de plaguicidas y fertilizantes agrícolas que no fueron consumidos; esto degrada a corto plazo la calidad de las aguas que son necesarias para una aglomeración, además de los riesgos de eutricación de las aguas de lagos y presas.

3. Sobre todo, se sabe que los cambios de uso de suelo pueden conducir a una evolución de los regimenes de los escurrimientos de agua, de su gran regularidad, de sus coeficientes de escurrimiento es decir de su capacidad de proveer aguas como afluentes de arroyos o ríos, aguas abajo. De hecho, se ha notado una neta disminución de los aportes naturales en las cuencas entre los años 1950-1960 y los años 1990 (40 por ciento menos). Esto podría ser debido a las extracciones realizadas por la agricultura y el micro riego, pero también se puede deber a la deforestación y a los desmontes realizados en gran número en la cuenca.



Figura 13.3. Campos cultivados en terrenos con fuerte pendiente: La loma de Amanalco, cuenca alta del río Cutzamala, estado de México.

Los campesinos de Valle de Bravo están muy concientes de estos problemas y de los riesgos para la durabilidad de su sistema de cultivo; pero su producción es a menudo destinada para el auto consumo, y lo que venden en el mercado les sirve solo para cubrir los gastos indispensables. Por lo demás son muy receptivos de las recomendaciones que les dan las autoridades a cargo de la agricultura y del agua, para preservar los campos de

la erosión y por tradición saben muy bien que tienen que laborar la tierra en líneas de nivel y disponer de una línea de magueyes, cada 10 o 20 metros en terrenos con pendiente. Pero la presión demográfica es el elemento clave, inevitable. Muchos agro-sistemas en el mundo viraron un día por que no pudieron adaptar sus estructuras a un cambio de ese tipo. Hay que esperar que en ese caso, las medidas aconsejadas sean aplicadas y garanticen la fertilidad de los suelos así como la durabilidad del agua.

Conclusión: investigaciones por afinar para hacer recomendaciones de manejo: el programa HVA

La agudeza de los problemas planteados en la cuenca alta del río Cutzamala en términos de conflicto de disponibilidad, y usos del agua y del territorio, justifica la continuación de los estudios en esta región. Es el objetivo de un programa de investigación llevado a cabo conjuntamente por el equipo "Hidrología de Vertientes Agrícolas" del IRD el equipo "Manejo de cuenca" del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, con sede en Jiutepec, Morelos y el Laboratorio de fertilidad de suelos del Colegio de Postgraduados de Montecillos (estado de México), con las siguientes interrogantes:

- Cuales son las consecuencias hidrológicas de los cambios realizados estas últimas décadas, en el uso de los suelos, tanto en términos del volumen de agua como en términos de calidad?;
- ¿Cuales son las soluciones a prever para asegurar la durabilidad de la agricultura en el Valle de Bravo?;
- ¿Cómo conciliar esta actividad y las del desarrollo (diversión acuática, pesca de trucha, etc.), ligadas a la proximidad de la capital, con el aprovisionamiento de agua indispensable para la población y la sobre vivencia de la economía del área metropolitana?

Investigaciones experimentales, llevadas a cabo en la pequeña cuenca de la Loma de Amanalco (52 hectáreas) deben permitir aportar las respuestas a esas preguntas, constituir una base de datos y una modelación de flujos. Esto con el propósito de proveer a los administradores y a los manejadores del agua, las herramientas de ayuda a la decisión indispensables para el futuro de las sociedades en desarrollo.

Bibliografía citada

Descroix, L. et F. Lasserre. 2003. Territoires de l'eau : tensions, coopérations et géopolitique. L'Harmattan, Paris, 260 p.

Postel, S. 1999. Pillar of sand. Can the irrigation miracle last ? Worldwatch book, Norton, New York, 312 p.

Conclusión: una región por construir, un territorio y unos recursos por preservar

Luc Descroix, David Viramontes, José Luis González Barrios

Hacia una gestión compartida y racional de los recursos agua-suelo-vegetación

Las investigaciones realizadas sobre modificaciones de las condiciones hidrológicas de las cuencas, vinculadas con los cambios en los usos de los suelos, son cada vez más numerosas a medida que se conocen los impactos reales que estos cambios tienen sobre el propio recurso. La Sierra Madre Occidental es un ejemplo más de entre otros, donde un macizo montañoso sirve de “fuente de agua” a las regiones que domina. Una gran parte de las regiones áridas del planeta se encuentran en el mismo caso; ahora bien, en las montañas más que en otros entornos, las condiciones de la superficie del suelo influyen enormemente en el camino que sigue el agua, el volumen que se infiltra, escurre, evapora...

Cualquiera de los trabajos que se presentan en esta recopilación, muestran el interés por preservar los bosques y los pastizales, con el fin de proteger los suelos contra la degradación a la que se someten una vez privados de vegetación. Estos trabajos muestran también que el futuro de los recursos hidráulicos depende de la conservación de los suelos.

Dejando aparte la posible influencia de los bosques sobre la distribución y cantidad de las precipitaciones, se ha demostrado que la degradación de la vegetación conduce rápidamente a modificaciones en los estados de superficie, que a su vez causan una evolución de los regímenes de escurrimiento. El devenir de una gota de agua que cae en la superficie del suelo, depende en primer lugar de la presencia o no de una vegetación, de un sistema radicular, de un horizonte superficial aireado y estructurado. El pastoreo excesivo y localmente la tala de los árboles, implican un incremento de la pedregosidad, la extensión de las superficies de suelo desnudo, el encostramiento de la superficie del suelo, la extensión de biodermas y una compactación del suelo por aumento de su densidad aparente, teniendo como consecuencias la disminución de su conductividad hidráulica, de su capacidad de infiltración e incremento del escurrimiento, además de los fenómenos de erosión laminar y lineal.

La consecuencia de esta degradación a escala local es drástica: el escurrimiento y la erosión se incrementan en proporciones muy significativas. A escala de las cuencas vertientes, Viramontes (2000) puso de manifiesto que el cambio del uso del suelo causaba también una evolución en los regímenes de los cauces para cuencas de aproximadamente 5000 km². Los trabajos de investigación realizados en la Sierra Madre Occidental mostraron el interés de prever una gestión patrimonial tanto del espacio como del agua. Ciertamente, es el conjunto de la cuenca que reacciona a los cambios del uso del suelo, y una adecuada gestión de las aguas no puede ya concebirse en la actualidad sin un ordenamiento territorial a escala de la región natural y sin tomar en cuenta el conjunto de la cuenca vertiente. Esto implica que se deben incluir a todos los usuarios del agua, pero también a todos los usuarios del territorio, con el fin de elaborar un escenario de desarrollo que preserve, lo mejor posible, los intereses de los productores permitiendo al mismo tiempo mantener esta producción.

Ahora más que nunca, es necesario considerar que los cambios del uso del suelo en la cuenca alta podrán ocasionar impactos aguas abajo. Las investigaciones llevadas a cabo en forma conjunta tanto por el INIFAP CENID-RASPA como por el IRD en la Sierra Madre Occidental, mostraron el impacto del pastoreo excesivo, y en forma secundaria, el impacto de la deforestación sobre el balance del recurso hidráulico. Por otra parte es posible, como se mencionó en el Capítulo 10, que la degradación de la cobertura vegetal pueda, por retroacción, influir en la distribución espacial de las precipitaciones; investigaciones en este sentido se encuentran en curso en la región africana del Sahel.

Estos trabajos han permitido tomar conciencia de este elemento primordial para llevar a cabo una administración racional del agua.

Así, la "Cruzada por los Bosques y el Agua" elevó al rango de prioridad nacional la conservación del medio y los recursos de las zonas de montaña de México. Si bien es cierto que culturalmente hay dos grandes partes que dividen a México, una al sur, con

civilizaciones milenarias, dónde la presión sobre el territorio amenaza los antiguos agro-sistemas que ha logrado preservar los bosques en las vertientes; y la otra parte al norte, más salvaje, donde la explotación minera del territorio está terminando con los bosques a gran velocidad. Tanto una como la otra son una sola frente a la deforestación: actualmente se toma conciencia de la imperiosa necesidad de preservar el medio de las montañas, o de mantener las actividades rurales pero preservando al mismo tiempo los recursos, es decir, los bosques como responsables del futuro de los suelos y recursos hidráulicos.

La especificidad de la Sierra Madre Occidental

En ese sentido, la Sierra Madre Occidental es una de las regiones clave para el futuro de México: verdadera fuente de agua para el norte del país, es la montaña en medio de los desiertos, la fuente de todos los escurrimientos, el más grande macizo forestal del país, y también una región deshabitada, donde los centros urbanos tienen dinamismo por la explotación de la madera, y localmente por las minas (en México, el estado de Durango es el primer lugar en producción de oro y otros metales, y el segundo en plata), o por un comercio agropecuario (las queserías menonitas, o las manzanas de Chihuahua o Canatlán), pero donde las zonas rurales, esencialmente consagradas a la ganadería extensiva para cría de vacas, se deshabitan muy rápidamente. En efecto, los Estados Unidos atraen a los jóvenes y algunas comunidades y ejidos han sido completamente deshabitados durante la última década. El número de casas abandonadas crece rápidamente y da prueba de la importancia de este éxodo. La abolición de la Reforma Agraria aceleró simultáneamente la emigración, y provocó el engrandecimiento de las propiedades agrícolas, también aumentó el nivel y la calidad de vida de los pocos habitantes que se quedaron.

Sin embargo, se aprecia que la Sierra Madre es un medio forzosamente específico, con sus paisajes evocando localmente las latitudes templadas, por la altitud, muy diferente de los paisajes desolados como el Bolsón de Mapimí (depresiones cerradas al sur del desierto de Chihuahua) y de los desiertos costeros de Sonora y Baja California. Y por lo tanto, no constituye una región en sí, la comparten media docena de estados (Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Durango, Nayarit, Zacatecas y una pequeña porción de Jalisco) que se benefician de esta "fuente de agua", sin que ello implique necesariamente que tomen a cargo el interés de preservar su medio y sus recursos. No existe una "región" Sierra Madre Occidental, y aún así se encuentra presente en muchos lugares, desde los consejos de cuenca, hasta las micro regiones económicas que se construyeron en torno a una mina, a un gran poblado, o una rica llanura agrícola. Hoy en día, las zonas más dinámicas son, sin duda alguna, las regiones donde se transforma la madera, actividad completamente sobrepuesta al resto de las otras actividades rurales; completamente independiente y desconectada del sistema ejidal que está en vías de desaparición. En realidad, la privatización de las tierras hará que el comportamiento de los agricultores se parezca al

de los silvicultores. Si se va a traducir en primer lugar por la destrucción de los vínculos sociales, de la vida campesina, de la infraestructura escolar y médica, esta privatización debería al menos hacer tomar conciencia a los explotadores el interés en preservar el “capital bosque”, el “capital suelo” y el “capital agua” que tienen entre sus manos. Si no, se podrá decir que la derogación del artículo 27 de la Constitución Mexicana en 1992, que condujo a la privatización de las tierras, habrá sido un fiasco medioambiental.

Queda pues una “región” por construir. Al no ser una región administrativa o económica única, la Sierra Madre Occidental, bajo la presión de sus habitantes, podría convertirse en una región piloto para la gestión patrimonial del territorio. Una gestión económicamente rentable, socialmente aceptable, ecológicamente durable, en la óptica del desarrollo sostenible, podría aportar una alternativa interesante para sus habitantes. Basada en el turismo ecológico, este nuevo método de adaptación, fundado en el consenso, permitiría poner en práctica una gestión patrimonial, razonada y concertada, de su territorio. El turismo ecológico permite desarrollar los activos de la región, aprovechando también los productos locales (quesos, frutas, etc), valorizando los lugares naturales y administrando los recursos culturales, para suscitar o preservar actividades en el medio rural.

¿Qué enseñanza se puede extraer a la escala de México y a la escala global?

La especificidad de la Sierra Madre Occidental no impide de ningún modo aprovechar las lecciones de estos resultados y extenderlos a otras regiones de México y del mundo. En primer lugar, en interior de México, donde se abordaron los trabajos científicos realizados en la cuenca alta del río Cutzamala. Se constata que en el centro y el sur de México, la presión demográfica es mucho mayor, y por consiguiente, la presión sobre el medio natural y sus recursos es también mayor. Aunque estas regiones se benefician de mucho más agua que en el norte, se encuentran bajo “tensión hídrica”, es decir que en ellas hay conflictos por los recursos o por el acceso a ellos, y además los problemas de la calidad del agua se presentan con mayor frecuencia. Los grandes problemas: de suministro de agua a la ciudad de México (ver Capítulo 13) o de desecamiento de la Laguna de Chapala (ver Capítulo 11) no son los únicos a nivel nacional aunque sean los más agudos.

Más ampliamente, casi todas las zonas áridas, semiáridas o mediterráneas del mundo tienen problemas de disponibilidad o de uso de agua. Algunas son regiones muy pobladas: como las de la cuenca del Mediterráneo, el valle del Nilo, Mesopotamia, valle del Indus, China del Norte, etc. En general son regiones que pudieron beneficiarse de importantes suministros de agua, provenientes de los sectores montañosos, fuentes naturales de agua mas o menos cercanas. El hecho de depender completamente de aguas exógenas, hace terriblemente frágiles a ciertas economías. Sin embargo, al animar a los responsables de las regiones áridas aguas abajo (consumidores) a dialogar con los usuarios de los

sectores aguas arriba (abastecedores), esta dependencia es también creadora de una “administración compartida”. Esto obliga a considerar la cuenca como la unidad de gestión, y a todos los usuarios de su territorio como usuarios del agua.

Agua, espacio y territorio

“Aguas y territorios” (“*Eaux et territoires*”) es el título de una reciente obra que trata de la geopolítica del agua (Lasserre y Descroix, 2003); además, de otra titulada “Construir territorios es resolver juntos un problema” (“*faire territoire, c’est résoudre ensemble un problème*”) (Gumuchian, en preparación), como lo afirman los geógrafos “del territorio”.

Por otra parte, saber pensar el terreno (trabajo de un geógrafo “administrador”) puede aplicarse a un territorio como el de una cuenca vertiente; se convierte en una herramienta de gestión de territorios de agua, es decir del conjunto del territorio de donde proviene el agua. Gumuchian (en preparación) mencionan el concepto de “recurso territorial”, que puede *-construirse con elementos materiales (datos de recursos naturales, flora, fauna, patrimonio) y/o ideales (de valores como la autenticidad, el significado histórico, etc...)-*. De esta forma, hace una década la región francesa de los Alpes Altos (*Hautes Alpes*) se acuñó el slogan “Alpes Verdaderos” a lo que sus vecinos de la región Alpes de la Alta Provenza (*Haute Provence*), que son muy similares a ellos, reaccionaron bautizándose “Alpes auténticos”.

Según Gumuchian (en preparación), *-recurrir al uso de la expresión del “recurso territorial” implica situarse en una lógica de gestión integrada del territorio, haciendo así referencia al desarrollo sostenible-*. En materia de gestión del agua, esta obra pretende explicar por un ejemplo lo pertinente que es considerar el conjunto de la cuenca como unidad de gestión; los tala bosques y ganaderos, que ejercen su actividad en las crestas y límites de parteaguas, lejos de los cauces, son también usuarios del agua, y deben a este respecto formar parte de las asambleas de usuarios de los Comités de cuenca. Es esto precisamente lo que esta en vías de instauración en México. Al menos en la cuenca Nazas-Aguanaval, y para la parte de montaña, fuente de agua (la Sierra Madre Occidental), se integran estos protagonistas económicos a los Comités de cuenca en el mismo concepto que los agricultores que practican el riego, los industriales que utilizan las aguas freáticas para la fabricación de sus productos o los que la utilizan para el enfriamiento de un proceso de fabricación.

Por territorialidad se entiende también los grupos o los individuos que ocupan o utilizan este territorio; estos grupos o individuos se convierten entonces en “actores del territorio” (Gumuchian, en preparación). Por otra parte, los especialistas del ordenamiento territorial ponen de manifiesto que *-el territorio y la territorialidad, lejos de ser concepciones anacrónicas relacionadas al espacio de las sociedades contemporáneas, lejos de ser modalidades expiradas de esta relación, siguen siendo herramientas de análisis de esta relación a condición*

de renunciar al carácter uni-escala y adicionando el significado de cada uno de estos términos- (Debarbieux y Vanier, 2002). Por último, se sugiere la creación de observatorios, como herramientas funcionales y dinámicas de gestión del territorio en cuestión, debiendo, *-en cuanto a desarrollo territorial, favorecer la asociación, concertación, negociación y búsqueda de consenso sobre temas tan sensibles como los de la calidad medioambiental, la calidad de vida, o también la duración de los recursos-* (Gumuchian, en preparación).

Esta es precisamente la misión le ha sido asignada a los Consejos de cuenca recientemente creados en México. Sin embargo, establecidos bajo condiciones muy difíciles, en un momento en que los conflictos del uso del agua son ya numerosos y agudos, además de que el largo período de sequía por el que pasa el Norte de México exagera los conflictos, haciendo reaparecer otros mas antiguos, como el que tiene con su poderoso vecino del Norte.

Relación con otros temas

Los trabajos de investigación realizados en la Sierra Madre Occidental condujeron a incursionar en otros lugares, o territorios, agro-pastorales, para realizar comparaciones con otras regiones de montaña y otras regiones semiáridas. Se tuvo que recurrir también a otras disciplinas además de la Hidrología, y la Geografía física ya que esta última es indisociable de la Geografía humana y social, y se sabe que un estudio del medio físico modificado por la actividad humana (¿Existen todavía medios que no lo sean?) no puede hacerse sin tomar en cuenta el lado humano, económico, social y cultural de un territorio, aunque se le circunscriba a un espacio físico (los límites del parte-aguas de una cuenca).

Los principales temas que respaldan las bases para esta investigación sobre el funcionamiento hidrológico de una cuenca son:

- los estudios de los sistemas agro-pastorales que han mostrado muchas veces que las vertientes son “moldeadas» por el paso de los animales; los paisajes de las zonas ganaderas son, como en el caso de las zonas agrícolas, paisajes “construidos”; no hay que hablar de “destrucción” de un paisaje cuando éste sufre sobreexplotación o al contrario del “abandono”; es necesario aceptar que un paisaje -o un territorio- evoluciona;
- la demografía, que está muy vinculada al sistema de explotación, es primordial en este caso puesto que la población evoluciona muy ligada a las tasas de natalidad aún elevadas (aunque en franca reducción) y a las migraciones que dejan la impresión de un fuerte abandono.

- la geopolítica interviene mediante los conflictos de intereses por el recurso y por el territorio: los sectores ganaderos y de explotación forestal deben administrarse con el interés de preservar un recurso hidráulico que solo será utilizado muy lejos, aguas abajo, tal vez para el riego de tierras agrícolas.

Se habrán tocado solamente algunas ciencias de la tierra que tienen un vínculo directo con el estudio de los recursos hidráulicos, en particular la climatología; sin embargo, la respuesta a la pregunta de si el bosque atrae la lluvia, o al menos si puede desempeñar un papel en su distribución espacial, sigue pendiente. Por otra parte el estudio arqueológico de las culturas antiguas de la Sierra y la del contexto histórico y político, son indispensables para comprender mejor el contexto cultural y social actual.

¿Hacia una visión compartida de la gestión del agua?

Es el camino que parece tomar México desde hace algunos años, con la puesta en marcha, lenta pero efectiva, de una política de Consejos de Cuenca, parcialmente inspirada en el modelo francés, encaminada a suprimir los sistemas autónomos donde cada uno aprovechaba el recurso a su conveniencia, en un tipo de explotación "minera". La administración patrimonial del conjunto de la cuenca debería estar en condiciones de limitar la sobreexplotación del territorio y hacer cesar el saqueo de madera, pastizales y agua, tal y como se practica actualmente en algunos lugares. El "Consejo de Cuenca Nazas-Aguanaval" reúne desde 2001, dos veces al año, a todos los usuarios de la cuenca con el fin de planear la futura gestión de las aguas. En estos consejos se incluye como miembros a todos los usuarios del territorio, incluso los que no utilizan el agua directamente, sino cuya acción puede implicar modificaciones del ciclo del agua y modificar el balance de los recursos. Ahora más que nunca, el recurso agua se debe entender como un conjunto agua-suelo-vegetación, y la unidad de gestión del recurso debe administrar el territorio y no únicamente el recurso en sí.

Bibliografía citada

- Debarbieux, B. et M. Vanier. 2002. Ces territorialités qui se dessinent. Editions de l'Aube, DATAR, 268 p.
- Gumuchian, H. (en preparación). Entre forme et sens: le territoire comme objet géographique soumis à l'observation. Paris, Francia.
- Lasserre, F. et L. Descroix. 2003. Eaux et territoires: tensions, coopérations et géopolitique. L'Harmattan, Paris, 260 p.

Viramontes, D. 2000. Comportement hydrodynamique du milieu dans le haut bassin du Nazas (Sierra Madre Occidentale, Mexique). Causes et conséquences de son évolution. Thèse de géographie de l'Université Joseph Fourier-Grenoble 1: 450 p.

Glosario

Abatimiento: ver efecto *splash*.

Capacidad de campo: corresponde al agua retenida por el suelo, después de un período de lluvia, y de un escurrimiento de dos o tres días, estando protegido el suelo contra la evaporación.

Cappusiano (escurrimiento): tipo de escurrimiento inducido por la saturación del suelo, independientemente de la infiltración en la superficie; se dice también “escurrimiento por superficies saturadas contributivas” (en oposición a “hortoniano”).

Coefficiente de escurrimiento: relación entre lluvias escurridas y lluvias recibidas sobre un impluvio dado, en una cuenca vertiente, o en una parcela experimental,

Comunidad rural: nombre dado a las comunidades rurales pre-existentes a la Reforma Agraria. Era el sistema en vigor en las zonas de población indígena fuera del control de las haciendas.

Conductividad hidráulica: caracteriza la velocidad de infiltración de un flujo de agua en el suelo, en cm s^{-1} ; manifiesta el efecto de resistencia al escurrimiento debido a las fuerzas de frotamiento.

Conglomerados: se trata de materiales volcánicos no constituidos por lava pura ni por escorias blandas, sino de piroclastitas; parecidas a las tobas y a las ignimbritas en la Sierra Madre.

Densidad aparente: es la densidad del suelo seco, en relación al conjunto formado por la fracción sólida y los poros.

Densidad real: es la densidad de la fracción sólida solamente, independientemente de los poros.

Ejidal (sistema): adjetivo que define el sistema de los ejidos.

Ejidatario: campesino miembro de un ejido; las tierras se repartían regularmente entre los trabajadores en función de su número.

Ejido: unidad territorial establecida por la ley no menor de diez hectáreas. Nombre de las comunidades rurales creadas por la Reforma Agraria (en 1936 y hasta principio de los años 1970 para las últimas zonas catastradas) en las tierras confiscadas a las haciendas. La mayoría de ellos se disolvió en el norte del país cuando se distribuyeron los títulos de propiedad después de la abrogación del artículo 27 de la Constitución Mexicana que instauraba la Reforma Agraria. Esta abrogación fue condición americana para que México entrara al tratado de libre comercio (TLC) con los Estados Unidos y Canadá.

Endorréica: se dice de una cuenca vertiente que desemboca hacia una depresión cerrada (en oposición a exorreica cuando drena hacia el mar y arréica cuando no tiene escurrimiento).

Espacio poroso: ver porosidad.

Estado de superficie: este término puede designar:

- una sola superficie elemental (ver definición más abajo);

- la yuxtaposición de varias;
- o un sistema de superficies elementales es decir un conjunto, en el cual hay interacciones.

Estructura: designa el modelo de arreglo de las partículas del suelo; determina la repartición de la materia sólida y de los vacíos (o poros) en el espacio, algunos son ocupados por agua, otros, más gruesos por aire.

Fersialítico (suelo): son suelos café-rojizos subtropicales o tropicales, ricos en óxidos de hierro bien cristalizados, bien drenados y con una alteración avanzada.

Gasto de base: gasto de agua en un arroyo fuera del período de precipitación.

Gasto de crecida: gasto suplementario generado por una crecida, en el escurrimiento total de un arroyo.

Gilgai: modelo original de suelos tropicales con arcillas expandibles debido al paso del estado húmedo al estado seco y conteniendo micro relieves curvos, en pequeñas depresiones y dorsales entre las depresiones.

Gleico (suelo): adjetivo que proviene de gley: horizonte de color gris (hierro reducido) resultante de una hidromorfía (exceso de agua libre).

Golpeteo: ver efecto *splash*

Granulometría: ver textura

Hacienda: nombre de las grandes propiedades (más de 1000 hectáreas en general, y hasta un millón de hectáreas en el norte de México) antes de la Revolución. La mayor parte fueron saqueadas, ocupadas y auto-administradas por revolucionarios durante el período revolucionario; fueron disueltas en tiempos de la Reforma Agraria, y sus tierras fueron repartidas a los ejidatarios en ejidos.

Hortoniano (escurrimiento): es el escurrimiento que se produce por desbordamiento de la capacidad de infiltración; se desencadena cuando la intensidad de la lluvia sobrepasa la capacidad de infiltración de la superficie del suelo.

Ignimbritas: (ver toba) son tobas volcánicas soldadas formadas por aerosoles precipitados (cenizas, lapillis) de los volcanes, depositados bastante rápido con sus elementos unidos unos a otros.

Impluvio: superficie considerable que recibe la precipitación pluvial; parcela o cuenca vertiente de un arroyo.

Indígena: originario del país. En México, 90 por ciento de la población tiene ascendencia indígena, son aquellos cuya lengua materna no es el español; en general hablan esta lengua ya que el analfabetismo desapareció prácticamente de México, y que la casi totalidad de los niños van a la escuela; a veces en los caseríos alejados se encuentran todavía personas de edad que hablan solo Tarahumara o Tepehuano.

Lámina escurrida: cantidad de agua escurrida de un impluvio (cuenca o parcela) relacionada a su superficie y reportada en mm (comparable por ello a la lámina precipitada; su relación da el coeficiente de escurrimiento, a la escala de un evento o de un lapso de tiempo dado).

Monzón: alisio marítimo desviado a su paso por el ecuador (que al cambiar de hemisferio provoca un cambio de sentido de la “*fuera de Coriolis*”). Por extensión, régimen de lluvia tropical del lado sur de los continentes expuestos a las grandes masas oceánicas: en Asia del sur, Oeste de México, África del Oeste; caracterizado por una larga época seca muy marcada y fuertes precipitaciones de lluvia durante la época de lluvias que se produce durante el verano boreal.

Municipio: Ayuntamiento de una población. Conjunto de habitantes de un ayuntamiento. Equivalente de comuna.

Pequeño (propietario): son los propietarios privados de las tierras, puesto que la propiedad privada fue mantenida bajo la Reforma Agraria mexicana, simplemente para permitir el desmantelamiento de los latifundios improductivos (la mayor parte de las haciendas tenían rendimientos agrícolas bajos y basaban su riqueza en la gran extensión de tierra). La Reforma Agraria de 1936 fijó el tamaño máximo de explotación que difería claramente según el tipo de cultivo practicado, la fertilidad del suelo y la posibilidad de regar las tierras. En el norte, el límite era de 100 hectáreas irrigadas en La Laguna por ejemplo; el resto, no era cultivable y era considerado como pastizal; y en esta categoría el tamaño límite de las propiedades era la superficie necesaria para engordar 500 cabezas de ganado adulto; la superficie necesaria para cada unidad de ganado fue fijada por la COTECOCA (Comisión Técnica de los Coeficientes de Agostadero) comisión *ad hoc* creada para determinar región por región cual era la superficie necesaria para la engorda de un bovino adulto. Esto hizo que los “pequeños”

podieran conservar (de su antigua hacienda) o comprar (de los terrenos en venta) propiedades superiores a las 10,000 hectáreas, allí donde la comisión estimaba que se necesitaban 20 hectáreas por cabeza de ganado. Además, 100 hectáreas irrigadas podían ser el equivalente de la superficie irrigada en un ejido vecino; las grandes propiedades fueron pues desmanteladas para permitir el reparto de tierras a los ejidos; sin embargo, esto no hizo desaparecer la burguesía rural.

Periodicidad: el conjunto de variables que pertenecen a una serie cronológica se dicen estacionarias cuando sus características estadísticas (promedio, auto-covarianza) no cambian a lo largo del tiempo. En el caso contrario, el efecto de tendencia puede no ser válido (estacionalidad).

Porfiriato: período de formación del capitalismo mexicano, bajo el régimen de Porfirio Díaz, dictador astuto que suscitó la entrada de capitales extranjeros, permitiendo el nacimiento de la industria y del gran comercio en México.

Porosidad: volumen de espacios vacíos en el suelo, expresado en porcentaje del volumen total; que está en estrecha relación con la densidad real y la densidad aparente.

Potrero: superficie forrajera cercada.

Presón: pequeños reservorios en colinas o pequeñas presas instaladas en las partes bajas, que tienen una vocación de abrevaderos.

Punto de marchitamiento: corresponde al valor límite del agua libre ligada, no absorbible por las raíces de las plantas.

Rancho: término general designado a la granja, explotación, y por extensión, al campo, o al poblado; utilizado también en la Sierra, para designar los caseríos situados en los pastizales lejanos, a donde se va a pasar algunas semanas o meses al año (en época de lluvias) con el ganado.

Reforma: período de la Reforma Agraria, iniciada oficialmente en 1936 bajo la presidencia de Lázaro Cárdenas, considerado como el representante mexicano de la corriente populista latinoamericana que condujo a la constitución de industrias nacionales en particular la industria básica (Getulismo en Brasil, Peronismo en Argentina, período correspondiente después de una fase de autarcía forzada por el paro casi total del comercio durante la segunda guerra mundial).

Revolución : la Revolución Mexicana comienza en 1910 por un rechazo unánime a Porfirio Díaz y por el llamado de Francisco I. Madero, que fue seguido inmediatamente por los campesinos, verdaderos abandonados de los regímenes anteriores; estos forman la gran División del Norte, ejército dirigido por Pancho Villa que entra a la ciudad de México en 1911; la Revolución se termina oficialmente en 1920, después de que los campesinos trataran en vano de reestablecer la dinámica revolucionaria, ya que cada presidente que llegaba al poder desconocía los principios revolucionarios e instauraba de nuevo un régimen burgués (Madero, Huerta, Carranza), con la llegada al poder de Alvaro Obregón; pero el período turbulento, con numerosos cambios de situación duró hasta los asesinatos de Emiliano Zapata (1919) y de Pancho Villa (1923).

Riolita: roca volcánica microlítica que tiene los mismos constituyentes que el granito (Cuarzo, Ortosa, Biotita) en una matriz granular fina y vitrosa de color claro rojizo o ligeramente rosa en el caso de la Sierra Madre Occidental.

Sortividad: término general que comprende a la vez, la absorción y la adsorción. Capacidad de un suelo para absorber el agua cuando el escurrimiento se produce únicamente bajo el efecto de un gradiente de potencial de presión; es pues la lámina de infiltración en escurrimiento horizontal.

Splash (efecto) fenómeno de desprendimiento de partículas finas del suelo desnudo bajo el impacto de las gotas de agua de lluvia; las partículas más finas, cuando se desplazan, pueden a su vez tapar los poros del suelo contribuyendo al sellado del suelo que se asocia al fenómeno de *splash*, y a la formación de una costra de abatimiento limitando fuertemente la infiltración del agua. En las zonas escarpadas, es evidente que el desplazamiento de partículas se hace a una gran distancia contribuyendo a mediano plazo a la erosión y al transporte de los elementos más ricos del suelo. Sinónimos: salto pluvial, abatimiento.

Superficie elemental: conjunto homogéneo constituido por la cubierta vegetal y la superficie del suelo. Es la organización edafológica superficial que ha sufrido transformaciones bajo el efecto de los factores meteorológicos, faunísticos o antrópicos.

Textura: (o granulometría del suelo); corresponde a la repartición de los minerales por categoría de grosor (en diámetro, suponiendo que las partículas sean esféricas).

Tobas (volcánicas) (ver ignimbritas): cenizas y lapillis volcánicas (proyectadas por los volcanes, que han sido colmatados y cimentados por circulaciones de agua cargada de sales minerales; si el material es heterogéneo, lo cual sucede a menudo en la Sierra Madre, da origen a las brechas volcánicas.

ANEXO

Estaciones utilizadas para el análisis de la relación pluviometría / densidad vegetal.

No.	Nombre
8005	BALLEZA
8038	CREEL, BOCOYNA (CFE)
8061	EL VERGEL, BALLEZA(SMN)
8073	GUADALUPE Y CALVO (DGE)
8128	SAN PEDRO
8172	GUADALUPE Y CALVO (SMN)
8214	GUACHOCHIC (SMN)
8267	EL VERGEL, BALLEZA (DGE)
8271	LAGUNA ARARECO, BOCOYNA
8312	GUACHOCHIC

No.	Nombre
8319	LA LAGUNA, BOCOYNA
8320	LLANITOS, BALLEZA
8321	SAN JUAN CHINATU
8322	EL VERGEL, BALLEZA(CFE)
10007	CIÉNEGA DE ESCOBAR
10010	COL. IGNACIO ZARAGOZA
10025	EL SALT0, P. NUEVO (SMN)
10029	GUANACEVÍ, GUAN.(SMN)
10036	LA CIUDAD, PUEBLO NUEVO
10040	LAS BAYAS, DURANGO
10043	LAS VEGAS, SAN DIMAS
10044	LLANO GRANDE, DUR. CFE
10048	NAVIOS VIEJOS, DURANGO
10050	OJITO DE CAMELLONES
10051	OTINAPA, DURANGO
10071	SAN MIGUEL DE LOBOS
10093	EL SALT0, PUEBLO NUEVO
10094	GUANACEVÍ, GUANACEVÍ
10096	LA CHAPARRA (PFM)
10103	SANTA BARBARA (CIA. GAN)
10121	LOS ALTARES
10124	LA FLOR, S. BAYACORA
10125	LA ROSILLA
10130	IGNACIO ZARAGOZA
10147	EL ZAPE, GUANACEVÍ

El libro

La Sierra Madre Occidental, una fuente de agua amenazada

Se terminó de imprimir en el mes de diciembre de 2004
en los talleres del Grupo Colorama de Torreón, Coahuila.
Su tiraje consta de 1000 ejemplares.

Impreso en México



inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

IRD

Institut de recherche
pour le développement