

CUANTIFICACION, MANEJO Y USO DEL RECURSO HIDRICO EN LAS CUENCAS HIDROGRAFICAS DEL NORTE DE MEXICO: OBJETIVOS, METODOS Y LOGROS

Jean-François NOUVELOT¹

INTRODUCCION

La disponibilidad del recurso agua para los diferentes usos suscitan temas de interés y de investigaciones; es parte prioritaria en los procesos de planeación del desarrollo de muchos países del mundo, incluso en las regiones que hace pocos años tenían fuentes de abastecimiento que parecían suficientes. Es evidente que en el próximo siglo los conflictos entre naciones o entre estados tendrán, en muchos casos, como motivo el dominio del agua.

En el contexto de aridez y de necesario crecimiento económico que caracterizan ciertas regiones de México, este problema de escasez de agua se da de manera permanente y sigue siendo una prioridad para varios organismos federales o estatales, cuyo objetivo es racionalizar su aprovechamiento, dentro del cual predominan los usos agropecuarios y domésticos. Eso implica un buen conocimiento de los procesos climáticos e hidrológicos, de las relaciones agua-suelo-planta, de los fenómenos de infiltración y de percolación hacia y dentro las capas subterráneas. Con evidencia, tal conocimiento tiene que apoyarse sobre una investigación multidisciplinaria de alto nivel, siendo la investigación básica una etapa necesaria a la investigación para el desarrollo, por supuesto más aplicada, más técnica y más al alcance del usuario.

Las zonas afectadas por esta coacción climática y edáfica abarcan más de 50 por ciento de la superficie del país, y se localizan sobre todo en su parte septentrional, con precipitaciones pluviales del orden, en promedio, de 400 a 500 milímetros por año, pero que pueden, en ciertas zonas, quedarse por debajo de los 200 milímetros. Estos escasos recursos plantean cuantitativamente un problema muy agudo e imponen estrategias adaptadas para ser redituables y útiles para el hombre, tomando en cuenta, sin embargo, la necesidad de un enfoque sustentable.

La situación actual tiene dos aspectos que se tendrían que analizar en conjunto porque son generalmente complementarios. Por una parte, el uso de los escurrimientos superficiales que corresponden a una dinámica subhorizontal, irregulares, casi siempre insuficientes, pero también algunas veces subexplotados o mal explotados, sobre todo a nivel local; por otra parte, el aprovechamiento de aguas subterráneas a veces frágiles, sobreexplotadas y de las cuales no se conoce bien las posibilidades de recarga.

El uso del potencial de agua superficial obedece a dos estrategias; a nivel local, pequeñas obras de retención o de captación permiten abreviar el ganado y complementar las necesidades de agua de ciertos cultivos, pero con fuertes incertidumbres. Por esta razón, una gran parte del espacio está ocupada por vegetación natural de tipo "matorral", cuya utilización es el pastoreo, lo que explica que la ganadería sea una actividad económica esencial en estas regiones. Se debe recalcar que a veces las prácticas tradicionales siguen por debajo del potencial de los recursos hídricos y vegetales del medio. Además, se podría pensar en otras alternativas complementarias como son las actividades piscícolas por

¹ Director de Investigación ORSTOM

ejemplo. Evidentemente, estas propuestas deberían apoyarse sobre estudios no solamente físico-climáticos y bióticos, sino también socioeconómicos, para evaluar la percepción de las poblaciones.

La otra estrategia desarrollada implica necesariamente la participación de organismos públicos, tanto a nivel económico como tecnológico. En efecto, se trata de asegurar la producción agrícola almacenando agua en presas reguladoras de tamaño suficiente. Por ejemplo, los grandes perímetros agrícolas de la Comarca Lagunera aprovechan los escurrimientos superficiales de la Sierra Madre Occidental. Para eso, se construyeron progresivamente grandes presas, como son la Lázaro Cárdenas y la Francisco Zarco. Existen otros casos, como son los perímetros de Delicias y Camargo, Chihuahua, y muchos otros de menos amplitud. Sin embargo, para adaptarse a especulaciones agrícolas se fomentaron especies bastante consumidoras (forrajes), y no suficientemente satisfechas por las aguas superficiales; estos sistemas tuvieron que recurrir progresivamente a los recursos hídricos subterráneos. Hoy, la proporción de aguas subterráneas utilizadas para riego es importante (más o menos 50 por ciento en la Región Lagunera), y el peligro de sobreexplotación de los acuíferos es evidente, incluso para aguas profundas. Además, la calidad química de éstas se ve, en ciertas zonas, alterada.

Estas regiones del norte del país suscitan varios temas de investigación de gran interés, tanto a nivel de disponibilidad natural del recurso hídrico en relación con el recurso en suelos, como a nivel de su utilización. Las disciplinas involucradas son bastante numerosas: climatología, hidrología, edafología, agronomía, botánica, hidráulica, geografía y, evidentemente, socioeconomía. Los trabajos de investigación sobre este sistema complejo justifican ampliamente la colaboración pluridisciplinaria entre investigadores del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (*CENID-RASPA*), que pertenece al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (*INIFAP*), e investigadores del Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (*ORSTOM*) de Francia, instituto de investigación científica cuyo campo de acción es el mundo tropical en general, desde las regiones más secas (desiertos) a las más húmedas (selva ecuatorial).

ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

Este proyecto fue implementado en el marco de un convenio de cooperación científica entre el Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos, por medio de su Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, SARH, y el Gobierno Francés, representado por el ORSTOM. El objetivo de este convenio es llevar conjuntamente proyectos científicos en los dominios de la investigación y de la formación de recursos humanos sobre los temas de la hidrología de superficie y de la ciencia del suelo. Estas actividades tienen un campo de aplicación muy amplio en México, tomando en cuenta la variabilidad de los medios físico-climáticos y humanos. En las zonas seleccionadas por el interés de sus problemáticas, las investigaciones pueden desembocar en la elaboración de técnicas y métodos que permiten una utilización más racional de los recursos agua y suelo, y su difusión en regiones que presentan condiciones físico-agro-climáticas similares.

Como consecuencia de este planteamiento se elaboró un programa para ser realizado en el seno del CENID-RASPA de Gómez-Palacio, titulado "Uso y Manejo del Agua en las Cuencas Hidrográficas del Norte de México". El objetivo general es definir el potencial hídrico superficial de una gran región

hidrológica del norte de México (RH 36), con el fin de mejorar el uso del agua en las diferentes unidades espaciales de escurrimientos por las que está compuesta. Más específicamente, el objetivo científico debe permitir conocer el funcionamiento hidrico a nivel de cuencas, de tamaños y de características diferentes, y cuantificar el recurso agua tanto a nivel de la región elegida como a la escala de los problemas agrícolas y socioeconómicos que plantea la escasez del agua. En fin, el objetivo práctico consiste en proveer información, métodos y herramientas que ayuden a la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales, llamados renovables.

Ubicación y características de la Región elegida.

La Región Hidrológica 36, elegida como área del proyecto, está formada por una extensa zona de altiplano cuya altitud sobrepasa a los 1,000 msnm, cerrada al oeste por la Sierra Madre Occidental, con elevaciones de 2,900 a 3,000 msnm, y al este por la Sierra Madre Oriental. Se ubica entre 22° 40' y 26° 35' de latitud norte y entre 101° 30' y 106° 20' de longitud oeste. Su área total es de 91,700 km²; abarca los estados de Durango, Coahuila y Zacatecas. El sistema orográfico que impide la entrada de los flujos húmedos del Pacífico y del Golfo de México y su ubicación latitudinal explican la aridez de su clima.

Se pueden diferenciar tres subregiones geoclimáticas que tienen cada una su comportamiento propio y sobre todo su forma específica de aprovechamiento del agua (Figura 1):

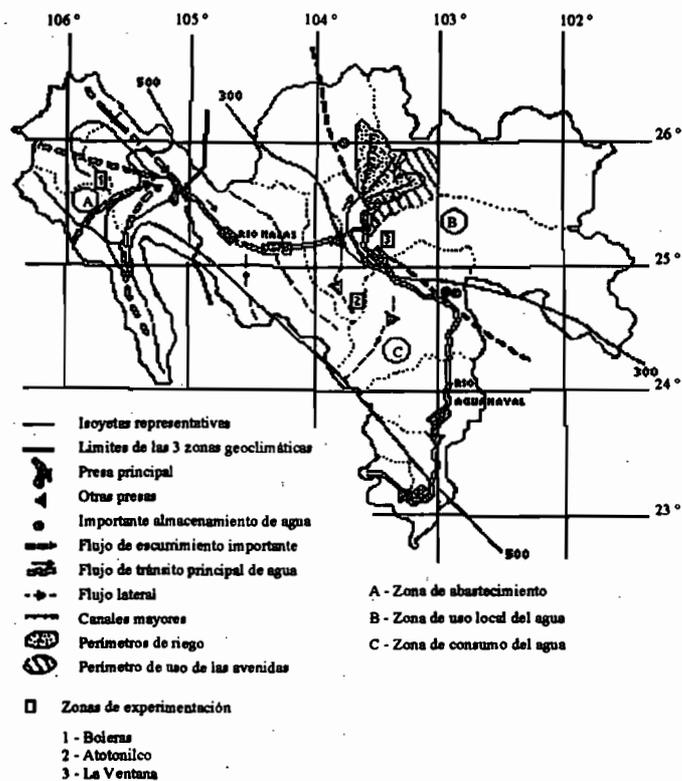


Figura 1. Recursos hídricos de la RH 36.

- La parte alta, de 20,000 km² de extensión, que es la cuenca superior del río Nazas arriba de la presa Lázaro Cárdenas, es una zona de clima subhúmedo, caracterizada por una pluviometría relativamente elevada (de 500 a más de 800 milímetros por año), y por coeficientes de escurrimiento anuales bastante fuertes (superiores al 15 por ciento en promedio). Estas condiciones favorables (precipitaciones, litología, altitud y relieve) la hacen proveedora de una gran parte de las aguas superficiales de toda la región hidrológica. Del volumen total de agua que entra en la Comarca Lagunera (parte baja), casi un 90 por ciento proviene de esta zona. Cabe recalcar que por ser poco poblada y con pendientes bastante fuertes, el uso local es débil, excepto para el ganado o a las orillas de los ríos principales: Santiago, Tepehuanes, Sextin y Matalotes.

- La parte intermedia, que se compone de la cuenca del río Aguanaval (22,000 km²) y de la cuenca media del río Nazas (16,000 km²) es una región semi-árida cuya pluviometría es bastante baja (entre los 300 y 500 milímetros por año) que permite en muchas partes los cultivos temporales. Las aguas superficiales se escasean: los coeficientes de escurrimientos anuales se quedan por debajo del 5 por ciento. Por este motivo se trata de sacar el mejor provecho de las disponibilidades, construyendo numerosos presones y presas que tienen generalmente un uso local. Esta zona provee, en parte, a un flujo lateral de agua que entra en el sistema global de la RH 36, sobre todo con el río Aguanaval, que tiene escurrimientos más irregulares aún que el río Nazas, pero que esporádicamente conduce agua hasta la laguna de Viesca. Además del temporal, la vocación de esta zona es la ganadería, atravesada por el río Nazas, sin que crezca su gasto, pues las aportaciones locales son débiles y una parte se consume en el perímetro de Rodeo-Nazas; es también una zona de tránsito del agua hacia la parte baja.

- La parte baja de las lagunas de Mayrán y Viesca, y del Bolsón Sur de Mapimí, que es una zona endorréica árida, con menos de 300 milímetros de precipitaciones al año y de intensa evaporación, donde se generan escasos escurrimientos. Desde hace más de un siglo se aprovechan las aguas de superficie para el riego, y esto con más seguridad y regularidad desde la construcción del vaso de almacenamiento de El Palmito en 1946. Pero, desde hace cincuenta años, ya no basta el volumen disponible; se bombean cantidades significativas de aguas subterráneas.

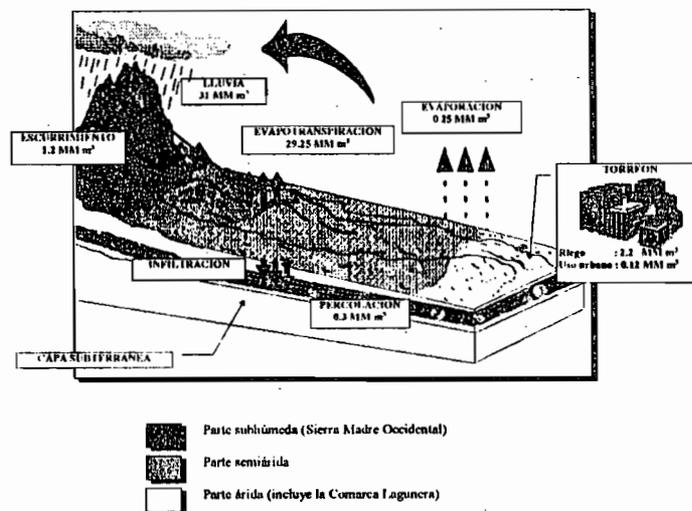


Figura 2. Balance hídrico de la RH 36.

A grandes rasgos, el balance hidrológico de la RH 36 muestra un rendimiento en agua superficial bastante débil. El volumen de precipitación total anual es de $31 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ y el volumen escurrido correspondiente de $1.2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, es decir, un coeficiente de escurrimiento inferior al 4 por ciento. Las pérdidas por evaporación del agua contenida en el suelo y por la transpiración de la vegetación son de $29.25 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, cuando las pérdidas por evaporación del agua libre son de $0.25 \cdot 10^6 \text{ m}^3$; es decir, un total de $29.5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, lo que representa más del 95 por ciento de las precipitaciones; quedan $0.3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ que posiblemente se vayan por percolación a alimentar los acuíferos (Figura 2).

En la Comarca Lagunera el riego utiliza, incluyendo las pérdidas por conducción, un promedio anual de $2.2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, tomando en cuenta que los usos locales deben retener una parte de los $1.2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ disponibles (algunas presas importantes, varios centenares de obras de captación y de retención); se puede evaluar que las aguas subterráneas proporcionan, en promedio, un volumen anual de 1.1 a $1.2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Cabe añadir que los usos domésticos e industriales representan nada más la décima parte de este volumen; la sobreexplotación ascendería a los mil millones de metros cúbicos al año.

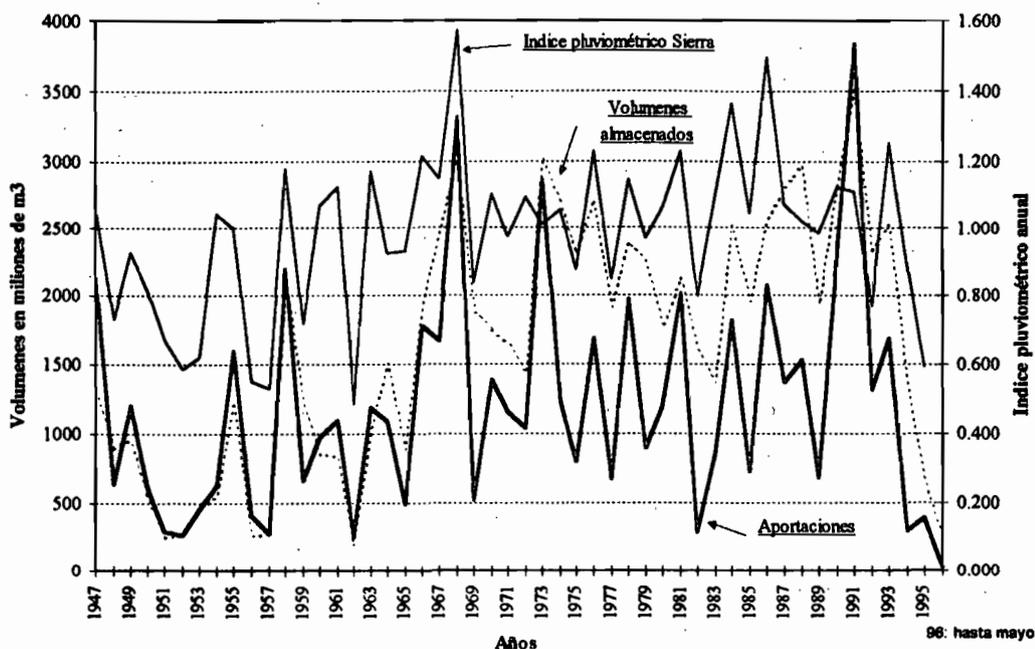


Figura 3. Presa de El Palmito. Aportaciones y volúmenes de agua almacenados. Índice pluviométrico anual de la Sierra Madre Occidental.

A pesar de su gran capacidad (más de 3,500 millones de m^3 útiles), la presa Lázaro Cárdenas no permite soportar más de dos años de sequía pronunciada; en cincuenta años (desde 1946), se llenó nada más dos veces, en 1968 y 1991. Es evidente que la variabilidad de las aportaciones a la presa es mucho más fuerte (tres veces más) que la variabilidad de las precipitaciones observadas en su cuenca. En 1994 y 1995, las aportaciones no pasaron los 350 millones de m^3 anuales, es decir, menos de 30 por ciento del valor promedio. Sin embargo, situaciones mucho más precarias fueron observadas en el transcurso de los años 50, cuando a las aportaciones excepcionalmente débiles se juntaba una demanda, en agua superficial para riego, superior a la demanda actual ($1.7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ en 1950, en lugar de $1.1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, hoy).

Durante cinco años consecutivos, de 1950 a 1954, el promedio de las aportaciones fue solamente de 450 millones de m³ por año. Además, durante un período de diez y ocho años, de 1948 a 1965, el valor anual de los gastos que alimentan a la presa no superaron el valor promedio, más de dos veces en 1955 y 1958. El análisis estadístico demuestra que las aportaciones de los años 94 y 95 tienen respectivamente un tiempo de retorno de 21 y 10 años; pero, tomando en cuenta el cúmulo de estos años, el tiempo de retorno es bastante mayor, llegando a los 45 años. Antes de la temporada de lluvias de 96, el volumen de agua disponible en la presa era de la misma magnitud que el volumen disponible al fin de los años 51, 52, 56, 57 y 62 (Figura 3), por suerte, las aportaciones de verano fueron superiores a la normal, asegurando así los programas de riego de primavera y de verano para 1997. Además, se observaron unos gastos significativos durante el invierno del 97.

DESCRIPCION Y DESARROLLO DEL PROGRAMA

Para llevar a cabo los objetivos del proyecto que se apoyan en un enfoque multidisciplinario evidente, se elaboró un programa para realizarse en varias etapas, tomando en cuenta la necesidad de trabajar en diferentes escalas espaciales y temporales. Se pueden separar dos fases principales: una regional de análisis de los diferentes factores de influencia y su traducción en términos funcionales en lo relativo al balance del agua; otra experimental, que permite cuantificar el recurso agua y analizar los sistemas hídricos a la escala de los fenómenos hidrometeorológicos básicos como a nivel de los problemas agrícolas y socioeconómicos (Figura 4). Por otra parte, se debe mencionar que se desarrollaron conjuntamente importantes acciones de formación de recursos humanos.

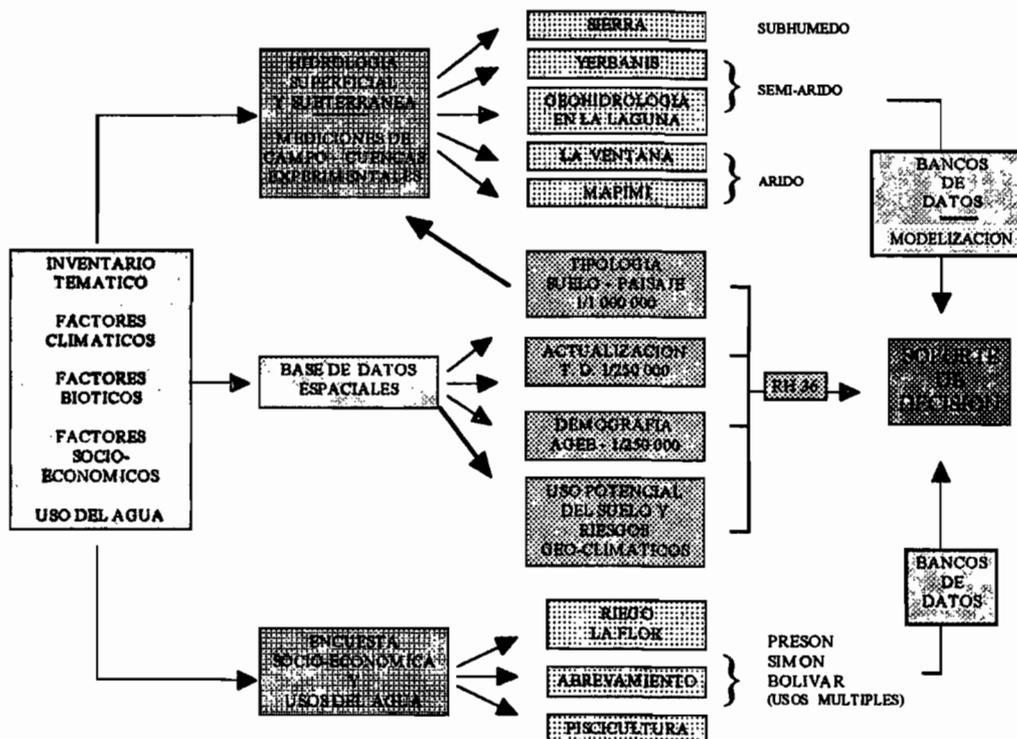


Figura 4. Organigrama del proyecto.

Inventario de las informaciones y análisis regional.

Esta primera fase del programa se realizó en base a una exploración de la información existente sobre la Región Hidrológica 36. Estaba destinada, antes que nada, a facilitar un conocimiento del "estado del lugar", y elaborar un primer diagnóstico. Para asegurar una buena adecuación entre los documentos y su interpretación, fue complementada por controles estrictos de los datos y reconocimientos de terreno.

Esta información, muy diversificada, concierne a los factores del medio natural (físicos, hidroclimáticos y bióticos) y socioeconómicos:

- Mapas y guías del Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI), a la escala de 1:1'000,000, de donde se extrajeron 21 temas en relación con el clima, la hidrología (superficial y subterránea), calidad de las aguas, edafología, geología, uso del suelo y vegetación natural, uso potencial.

- Datos hidroclimatológicos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) recolectados en 10 estaciones hidrométricas y más de 200 estaciones pluvioclimatológicas.

- Varios censos socioeconómicos como son los Censos de Población y Vivienda (1970, 1980, 1990), el Censo Agrícola, Ganadero y Ejidal (1970) publicados por el INEGI, con relación a los municipios. Los diferentes temas, en los cuales una actividad humana interviene para varios usos (cultivos temporales o irrigados, ganadería, aspectos piscícolas, colecta de plantas con usos múltiples), fueron estudiados por recorridos de verificación de campo y análisis cartográficos. El objetivo era delimitar mejor las prácticas puestas en marcha por las comunidades rurales en estos diferentes aspectos y en diversas situaciones geográficas.

Para dar coherencia a los diversos análisis, todos los procesamientos se hicieron por unidad hidrológica, según la división de la RH 36, de acuerdo a subcuencas definidas en su mayoría por la presencia de estaciones hidrométricas que permiten conocer los gastos disponibles.

Los resultados de esta primera fase fueron sintetizados en una publicación titulada "Estudio de los factores que influyen los escurrimientos y el uso del agua en la Region Hidrológica 36".

Elaboración de bancos de datos y de un sistema de información geográfica e hidrológica regional.

Esta fase fue desarrollada conjuntamente con la anterior. En primer lugar, su finalidad era facilitar el acceso a la información, así como los controles y procesamientos de la misma. Por otra parte, debía permitir realizar una tipología de las principales unidades funcionales de paisaje, en términos de comportamiento hídrico.

Los bancos de datos y las informaciones principales, actualmente disponibles, son los siguientes:

- Los bancos hidrométricos (10 estaciones) y pluvioclimatológicos (200 estaciones), cuyos datos básicos son las observaciones diarias, agrupadas en crónicas de duración variables según las estaciones, ocupan un espacio magnético de 20 MB.

- Diferentes mapas temáticos, a diferentes escalas (1:1'000,000, 1/250,000 y 1:50,000) fueron numerizados y archivados en un mismo Sistema de Información Geográfica; son esencialmente mapas de geología, edafología, vegetación y uso del suelo, así como de la red hidrográfica y de los límites de las cuencas y subcuencas de la RH 36.

- Los límites de los municipios, de las localidades y de las AGEB fueron también digitalizados en relación con varios atributos socioeconómicos procedentes de diferentes censos; todos estos datos están incluidos igualmente en el mismo Sistema de Información Geográfica. Además, se dispone del banco "Agros" del INEGI (1996).

- Un modelo de elevación de terreno, proporcionado por INEGI, que permite hacer mapas topográficos y, de una manera general, conocer el relieve con una precisión de 90 metros entre dos puntos, forma parte también del Sistema de Información Geográfica.

- Las imágenes satélite que son, sobre todo, utilizadas para actualizar la información que tiene relación con el uso del suelo y para analizar la dinámica de la cobertura vegetal. Se trata de nueve imágenes Landsat MSS, con una resolución de 5,000 m² y dos imágenes Spot, con una resolución de 400 m².

Es evidente que el buen desarrollo de tal programa impone disponer de una infraestructura informática bastante completa. Si el espacio en memoria informática, ocupado por los bancos de datos y los paquetes que permiten manejarlos y utilizarlos, no es demasiado importante, el Sistema de Información Geográfica, incluyendo a la vez los paquetes y las informaciones, necesita la utilización de una "estacion de trabajo" y de un sistema operativo adaptado como es el sistema UNIX. Por otra parte, las tareas de numerización de los mapas no pueden llevarse a cabo sin el uso de una mesa de digitalización electrónica.

Las unidades hidrológicas funcionales.

La primera fase del programa se hizo a nivel regional de grandes cuencas (de varios millares de km²), con una escala temporal adaptada a la escala espacial, es decir, el mes y el año. Sin embargo, muchas situaciones socioeconómicas o agrícolas, como los estudios de los ecosistemas, necesitan, en muchos casos, ser investigadas en áreas menores. Por otra parte, para proteger el medio ambiente, la propensión actual, a nivel mundial, y sobre todo en los países desarrollados, es restringir, lo más que se pueda, el número de proyectos de aprovechamiento de los recursos naturales renovables de gran amplitud y entre otros las grandes obras hidráulicas de almacenamiento del agua. Además, es una de las recomendaciones de la Agenda de Rio de Janeiro, siendo imposible, por razones técnicas y sobre todo económicas, estudiar un gran número de pequeñas cuencas: el método adoptado consistió en realizar una tipología de las principales unidades funcionales de paisaje, en términos de comportamiento de los escurrimientos superficiales, para poder definir zonas hidrológicas homogéneas; en otras palabras, este trabajo, esencialmente cartográfico, tuvo como objetivo caracterizar, *a priori*, el comportamiento de los escurrimientos superficiales con la finalidad de escoger sitios de investigación representativos.

En práctica, se seleccionaron los principales factores que, en teoría, influyen los escurrimientos, como son: la orografía, la geología, la edafología y, por último, la vegetación y el uso del suelo. Después de definir diferentes clases de pendiente, de rocas y materiales en términos de dureza, de

suelos (profundidad y textura), y de vegetación, se cruzaron sucesivamente los diferentes mapas así obtenidos. Tomando en cuenta los tres primeros factores, y después varias simplificaciones o agrupaciones, se obtuvieron 19 unidades funcionales. Cruzando estas unidades con las 10 clases de cobertura vegetal se llegaría a 190 subunidades teóricas.

Fase de experimentaciones en cuencas representativas.

El método adoptado consiste en implementar, en las pequeñas cuencas escogidas, una red pluviométrica suficientemente densa que permita, en solamente algunos años, conocer las características de las disponibilidades en agua, a nivel estadístico y a nivel de riesgos, gracias a modelos matemáticos "lluvia - gasto" más o menos complejos que sean globales o distribuidos. Para eso, es indispensable tener largas series de observaciones pluviométricas, de buena calidad, provenientes de las redes de estaciones nacionales. El papel de los factores fisiográficos: geología, geomorfología, suelos, estados de superficie, etc., es también analizado a través de las funciones de producción y de transferencia de los modelos, con el objetivo de facilitar la extrapolación de los resultados a zonas más extensas. Es evidente que la transposición de los diferentes procesos hidrológicos analizados, a otras cuencas no estudiadas, es mucho más confiable que la transposición directa de los resultados cuantitativos básicos que, en muchos casos, se revela muy decepcionante.

En base al mapa y a las características de las principales unidades funcionales definidas en la fase anterior, así como a las características climáticas definidas en la primera fase del programa, se escogieron dos áreas de 350 a 400 km², representativas de la zona alta, subhúmeda y de la zona intermedia semiárida. La región árida, ya estudiada en un proyecto anterior, no se tomó en cuenta o, mejor dicho, se consideró que la información disponible era suficiente.

En la zona alta de la Sierra Madre Occidental, donde se genera una gran parte de los escurrimientos de la Región Hidrológica 36, se seleccionaron, desde 1994, cinco cuencas de 1.5, 3.0, 8.6, 21.8 y 52 km². Estas cuencas se diferencian no solamente por su área, sino también por su geología (riolitas y/o conglomerados, dos formaciones muy presentes en la Sierra Madre), su vegetación (pino, encino o pasto). Para tomar en cuenta el efecto de cambio de escala y el papel de las características físicas, sobre todo a nivel de la función de producción, se instalaron también, en tres sitios diferentes, dos parcelas de 400 m² de superficie, 13 parcelas de 50 m² y 14 de medio m². Las salidas de las cuencas fueron equipadas de una estación limnigráfica, una red de aparatos permitía cuantificar y analizar las aportaciones pluviométricas (con 9 pluviógrafos, 4 pluviómetros y 53 tubos totalizadores), las pérdidas por evaporación estuvieron controladas por una red de tres tanques de clase A. Los gastos sólidos, como los escurrimientos superficiales se median a nivel de cada evento pluviométrico.

En la zona semiárida se siguió la misma metodología, dando énfasis a la problemática provocada por la construcción de numerosas obras de captación y acumulación del agua (presones). El impacto hidrológico, social y del medio ambiente, debido a la multiplicación, frecuentemente anárquico y algunas veces en cascada, de estos pequeños bordos no se conoce en toda la parte árida y semiárida del norte de México. Se trata de proporcionar las bases científicas que permitan valorar, de la mejor manera posible, los recursos disponibles. Esto se pretende lograr como en la Sierra mediante la simulación de los diferentes procesos que intervienen en la relación precipitación - escurrimiento con el fin de

cuantificar las aportaciones; pero aquí, el objetivo es igualmente simular el funcionamiento del hidrosistema que constituyen la o las diferentes obras hidráulicas, tomando en cuenta las distribuciones espaciales y temporales de las lluvias, la evaporación, la infiltración en el vaso y/o en el bordo, los usos del agua, etc. El papel de la erosión (conservación de los suelos y azolve) y de la calidad del agua es igualmente objeto de investigación. Se eligió el arroyo Cuencamé que, a la altura del puente de Ocuila, tiene una cuenca de 350 km². En esta cuenca se seleccionaron ocho bordos de retención con áreas de captación de 0.15, 0.15, 0.27, 1.06, 1.68, 1.76, 3.98 y 45 km², equipados de estaciones limnigráficas y de una red pluvioclimatológica (12 pluviógrafos, 40 pluviómetros y totalizadores, y 6 estaciones evapométricas). Estas ocho unidades representan las principales características encontradas en la cuenca mayor y en una gran parte de la zona semiárida, tales como geología (basalto, toba, caliza, riolita, conglomerado), estados de superficie (costras de varios tipos, pastizal y matorral), geomorfología (cerros, mesetas, pies de monte, bajadas, lechos de río) y suelos (fase física y tipo de material). De la misma manera que en la Sierra, para profundizar el tema de la transferencia de escala y analizar, con más precisión, los procesos de escurrimiento - infiltración - erosión, se implementaron igualmente ocho parcelas de 50 m² cada una, y cuatro parcelas de 1 m², las cuales se encuentran agrupadas en dos de las ocho subcuencas. El papel de las obras de captación de las aguas de los ríos y arroyos, al momento de las crecidas esporádicas se analizará en base a encuestas de terreno dirigidas a los campesinos.

Formación de recursos humanos.

Además de los intercambios muy provechosos entre investigadores mexicanos y franceses, el programa cuenta, desde 1992, con la participación de numerosos estudiantes mexicanos y europeos, sobre todo franceses. En cuatro años han sido dirigidos los siguientes trabajos: tres tesis de doctorado, cuatro de maestría, cinco de licenciatura y nueve de estudios superiores de ocho científicos franceses y una alemana. En 1996 trabajaron en el proyecto once estudiantes mexicanos y extranjeros: tres del Servicio Social, cuatro de licenciatura, dos de maestría y dos estudiantes franceses; para 1997, otros cinco empezarán sus investigaciones en junio. Por otra parte, existen relaciones muy estrechas con ciertas universidades del Norte (Torreón y Saltillo, por ejemplo), que se concretan no solamente con la participación de estudiantes a trabajos de investigación, sino también por la participación de investigadores a cursos académicos. Se debe hacer hincapié del proyecto de doctorado binacional, en el dominio de la conservación de los recursos naturales, de la ecología y del desarrollo sostenible, propuesto por la UAAAN, el CENID-RASPA y el ORSTOM.

Fase de síntesis.

El objetivo científico es el de conocer y de cuantificar el recurso hídrico a diferentes escalas espaciales y temporales, en base al análisis del funcionamiento de los hidrosistemas y ecosistemas en zonas donde el equilibrio es bastante frágil. El conocimiento de los procesos, que rigen los factores climáticos (precipitaciones, evaporación) o bioclimáticos (evapotranspiración) y la hidrodinámica (suelos, vegetación, estados de superficie, fisiografía), es fundamental e indispensable. Es la llave de la extrapolación de los resultados obtenidos a regiones que carecen de datos.

En correlación con esta investigación básica, el objetivo práctico es la estructuración de herramientas (modelación hidrológica o de funcionamiento de obras hidráulicas) y de métodos que

ayuden a la toma de decisiones en el manejo de los recursos agua y suelos, ya sea a nivel de grandes cuencas o de una Región Hidrológica, o a nivel local como el de las obras de retención de media o débil capacidad. Estos medios deben permitir tomar en cuenta la fuerte variabilidad temporal de las aportaciones y, así, poder adaptarse a diversas situaciones: deficitarias, normales o, algunas veces, con excedentes. Es evidente que la información generada puede ser utilizada no solamente en la gestión del agua disponible o para el diseño de nuevas obras hidráulicas, sino también en los estudios de impacto ambiental y de desarrollo social.

Los logros.

A pesar de que los trabajos de investigación no están todavía terminados, los resultados provenientes tanto de los análisis regionales como de las experimentaciones locales ya permiten conocer y entender mejor ciertos fenómenos o procesos, y de una manera más amplia, el funcionamiento de ciertos sistemas del medio ambiente: físicos, climáticos o bióticos.

Las precipitaciones, fuente de todas las aportaciones de agua, fueron objeto de estudios bastante completos. Evidentemente, los métodos utilizados son sobre todo métodos estadísticos. En primer lugar, fue necesario, como se hace siempre para este tipo de información, controlar, criticar y por fin homogeneizar los datos de todas las series disponibles. Para eso se utilizó un método específico basado en la definición de "Vectores Regionales" anuales. Para toda la RH 36 se caracterizaron cinco vectores cuya distribución temporal está, con evidencia, más confiable que la de cada estación tomada individualmente. Aunque se observan ciertas diferencias de una región a otra, sobre todo hasta la mitad de los años 30 (tal vez por la mala calidad de los datos), diferentes pruebas de detección de rupturas en las series cronológicas (cambio de la ley de probabilidad y, entre otros, de la media) permiten separar un período, caracterizado por precipitaciones abundantes, que empieza en los años 20 y sigue hasta la primera parte de los años 40, con pocos años deficitarios; a partir de la segunda parte de los años 40 hasta el inicio de los años 60, las precipitaciones disminuyen de una manera notable; después de la primera mitad de los años 60 hasta 96, las precipitaciones se tornan más aleatorias, siendo imposible evidenciar rupturas o tendencias. A pesar de estos cambios observados en series de 70 años, no se descubrieron fenómenos de persistencia (autocorrelograma) o de recurrencia cíclica (periodograma). Sin embargo, a nivel de las grandes circulaciones atmosféricas (meridiana, Hadley y, sobre todo, zonal, Walker) y de las circulaciones oceánicas en el Pacífico, ambas siendo relacionadas, se averiguó que los años considerados como "cálidos", por estar caracterizados por la presencia del fenómeno de "El Niño" (o ENSO) en el centro del Pacífico oriental, no tienen siempre influencia determinante sobre las precipitaciones del norte de México. En cambio, todos los años "fríos", es decir, sin "El Niño" comprobado (fenómeno llamado a veces, "Niña"), corresponden a años con precipitaciones deficitarias. La ausencia de persistencia a la escala anual está confirmada a nivel estacional; es decir, que no hay relaciones estadísticamente significativas entre las precipitaciones de verano y las del otoño, y del invierno anteriores o posteriores. Sin embargo, se pudo observar que, en la serie de observaciones de 73 años de Tepehuanes, las siete alturas pluviométricas más altas que corresponden a la estación de verano (desde junio hasta septiembre) siguen un invierno (enero - abril), cuya pluviometría es inferior a la normal. Al contrario de las precipitaciones anuales o estacionales, la distribución temporal de las lluvias diarias demuestra fuertes relaciones de persistencia (el coeficiente de autocorrelación decrece cuando aumenta su orden); es decir, que la probabilidad de observar un día con precipitaciones está muy

relacionada con el estado de los días anteriores. Para modelar este proceso se ha utilizado el modelo de Polya, que dio mejores resultados que las más conocidas cadenas de Markov. Inicialmente, este modelo fue adaptado para reproducir los fenómenos de contagio durante las epidemias. Así, el proceso de persistencia pluviométrica es muy parecido al de las enfermedades contagiosas: los coeficientes encontrados aumentan en el mismo sentido que el número de días de lluvias durante el año o, lo que es equivalente, siguen las mismas variaciones que las de las precipitaciones anuales (2.26 en la Sierra, 1.25 en la zona semiárida y 0.22 en la Comarca Lagunera).

Un estudio a nivel espacial demuestra, de la misma manera, una cierta coherencia de las precipitaciones que se puede averiguar a diferentes escalas. En primer lugar aparece muy claramente que las precipitaciones anuales tienen una distribución espacial muy relacionada con la altitud y con la distancia del océano Pacífico, estando estos dos factores muy correlacionados: el incremento de lluvia es de 30-35 mm por 100 m de altura y el incremento del número de días de lluvia por año, de 14-15 por 100 m. La distribución mensual de estas precipitaciones, es decir, el régimen pluviométrico, presenta también una gran homogeneidad. El perfil medio mensual, definido en base a 60 estaciones, distribuidas en toda la RH 36, y utilizando los métodos de Clasificación Ascendente Jerárquica y de Análisis Discriminante, es bastante uniforme. La estación lluviosa (desde junio hasta septiembre) representa 78 por ciento del total anual, siendo generalmente agosto el mes que más tiene precipitaciones; las lluvias de invierno no pasan del 8 por ciento. Un análisis más preciso permite diferenciar una zona norte - norte oriental que puede, de vez en cuando, quedarse bajo la influencia de masas de aire húmedo provenientes del este (por ejemplo, ciclones atlánticos) o bajo la influencia del frente polar en invierno. Se caracteriza por una distribución más achatada: solamente el 70 por ciento de las lluvias cae en verano cuando, en cambio, el 12 por ciento cae en invierno. Esta diferencia está confirmada por el análisis de la estructura espacial de las precipitaciones anuales, basado en la determinación del variograma climatológico. Se ve que a lo largo del eje este-oeste, la amplitud del variograma es superior a los 300 km, cuando es de solamente 160 km a lo largo del eje norte-sur.

Aunque el número de días con lluvia aumenta cuando crece la altura de las precipitaciones anuales, la distribución estadística, en porcentaje, de estas lluvias queda igual, desde la parte baja de las lagunas hasta las partes altas de la Sierra Madre Occidental (Figura 5). Por ejemplo, el porcentaje de lluvias diarias, cuya altura es superior a los 20 mm, se aproxima siempre al 9 por ciento. Por otra parte, los valores característicos, deducidos de ajustes estadísticos (que corresponden a ciertas frecuencias) son relativamente bajos cuando se les comparan con los valores encontrados en otras regiones del mundo caracterizadas por condiciones climáticas similares: Sahel africano, "Nordeste" brasileño o la zona costera del sur de Ecuador y del norte de Perú (Cuadro 1). El mismo fenómeno sigue, sin embargo con menos agudeza, con las intensidades de lluvia en intervalos de tiempo más cortos. Sólo, regiones andinas, ubicadas entre 2,500 y 4,000 msnm, tienen características todavía inferiores (Cuadro 2).

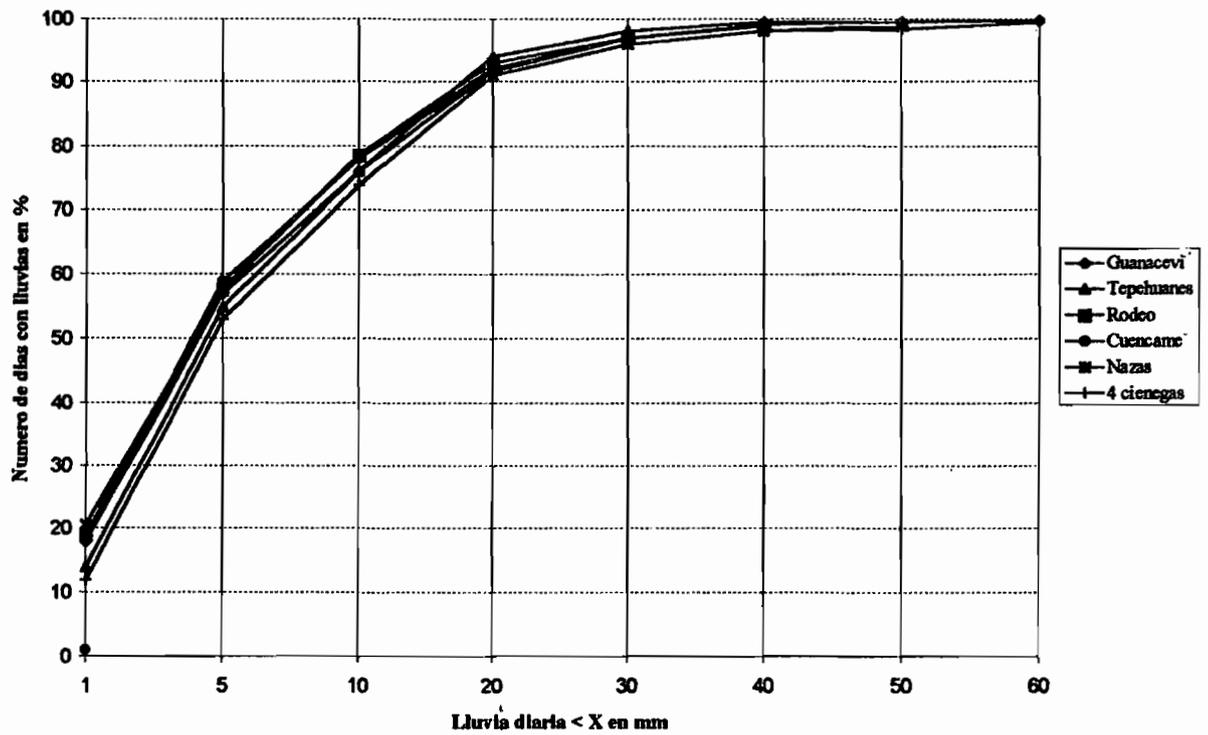


Figura 5. Distribución del número de días con lluvia vs precipitación diaria.

Cuadro 1. Alturas pluviométricas diarias de frecuencia decenal en diferentes regiones áridas (en mm)

P. anual mm	Norte-México	Sahel África	Nordeste 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

Cuadro 2. Intensidades de las precipitaciones de frecuencia decenal en diferentes regiones áridas para precipitaciones anuales de más o menos 400 mm (en mm/h).

Frecuencia minutos	Norte-México	Sahel África	Nordeste 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

Cuadro 3. Coeficiente de variación de las precipitaciones anuales en diferentes regiones áridas

P. anual mm	Norte-México	Sahel África	Nordeste 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	

Esta indiscutible homogeneidad es la consecuencia de la estacionalidad de los fenómenos observados que varían por ambas partes de una situación "media", tanto a nivel temporal como a nivel espacial. Es decir, que no se debe confundir homogeneidad y variabilidad. Por ejemplo, las precipitaciones anuales están estrechamente relacionadas con sus coeficientes de variación ω (desviación estándar dividida por la media para poder comparar valores de magnitudes diferentes), prueba de una cierta coherencia: ω aumenta cuando las precipitaciones bajan (0.15-0.30 para 600 mm, 0.4-0.5 para 200 mm). Estos valores son bastante similares a los encontrados en África del Oeste o del Centro y en el callejón interandino de Ecuador, inferiores a los del Nordeste de Brasil y muy inferiores a los de la zona costera del sur de Ecuador (Cuadro 3). Se debe recalcar que para un coeficiente de variación superior al valor 0.20, la distribución estadística de las observaciones no son, en muchos casos, "gáussicas" y, por esta razón, presentan una cierta asimetría tanto más marcada como el valor del ω sea grande.

La altura pluviométrica anual no representa un fenómeno atmosférico continuo, es la suma de eventos pluviométricos separados por intervalos de tiempo sin lluvias más o menos largos. Es decir, que la variabilidad de las observaciones depende de la estructura espacial y temporal de las diferentes tormentas. Un estudio geoestadístico hecho en la zona árida, en un área de 35 km² equipada con 40 pluviómetros, demuestra que para lluvias, cuya duración es cercana a una hora, el rango del variograma, es decir, la distancia más allá de la cual las precipitaciones no están más correlacionadas, es de unos 5 km. En otras palabras, una tormenta de este tipo tiene una extensión de unos 20 km². Es probable, como se comprobó en otros países y como es lógico, que este rango se va disminuyendo al mismo tiempo que la duración de la lluvia. Generalmente, los aguaceros de verano no son muy largos, pasan difícilmente a las dos horas, excepto, a veces, al fin de la temporada cuando provienen de ciclones. Sus

formas (o distribuciones temporales) son bastante similares: una parte principal de 5 a 30 minutos de duración con intensidades superando a los 40 mm/h, una parte anterior y/o una parte posterior de débiles intensidades. Puede presentar un solo máximo de intensidades (forma unimodal) o, a veces, dos (forma bimodal). Esta segunda distribución favorece al escurrimiento, sobre todo cuando el segundo máximo es superior al primero. En todos los casos, casi 2/3 de los aguaceros tienen su máxima intensidad en la primera cuarta parte de su duración.

Antes de llegar sobre al suelo, las precipitaciones pueden ser interceptadas por la cobertura vegetal o piedras sueltas de tamaño suficiente (> 2 mm). La cantidad de agua así perdida no es muy significativa (máximo, algunos milímetros), pero la vegetación arbórea y la vegetación arbustiva o el estrato herbáceo, como las piedras y el mantillo, tienen un papel muy importante por su acción sobre la energía cinética de las gotas de lluvia. Además, la vegetación herbácea, el mantillo y las piedras pueden interceptar igualmente la energía del escurrimiento. En las zonas áridas y semiáridas, con un porcentaje de cobertura del suelo inferior al 30 ó 40 por ciento, se observan, en las vertientes caracterizadas por escorrentía laminar, coeficientes de escurrimiento superiores al 50 por ciento (hasta 90 por ciento). Es la formación, en las zonas con suelos desnudos, de costras superficiales impermeables que impiden la infiltración. Estas costras están generadas por la acción de la energía de las gotas de lluvia, por el propio escurrimiento, la sedimentación en zonas de débil pendiente o por el pisoteo del ganado. Después de unas decenas de metros de recorrido en las vertientes, el agua se va concentrando, destruyendo las costras, fenómeno que favorece, a la infiltración. Además, a menudo cerca de los lechos de los arroyos, los aluviones representan, por causa de su fuerte permeabilidad, zonas de acumulación del agua que disminuyen también los escurrimientos superficiales. En otros casos la vegetación aminora, de manera muy notable, la velocidad del escurrimiento generado en las zonas de suelo desnudo (peladeros), ubicadas aguas arriba, favoreciendo igualmente la infiltración. Este proceso puede dar forma a un paisaje de tipo "mogote", muy conocido en muchas regiones del mundo (América Latina, África negra, África del Sur, Australia, etc.). En estos casos, una hidrodinámica vertical se substituye rápidamente a la dinámica subhorizontal. Por estas diferentes razones, las cuencas de pocos km^2 y, muchas veces, de sólo unas hectáreas, tienen un coeficiente de escurrimiento superficial anual bastante inferior al 5 por ciento. En las mismas cuencas, a la escala de tormentas, los coeficientes de escurrimiento sobrepasan, muy pocas veces, al 15 por ciento. Se puede averiguar (Figura 6) que en la zona semiárida, la lámina escurrida anual está relacionada con el área de la cuenca o de la parcela por una relación de tipo "potencia" negativa. El intervalo de variación es bastante amplio para las pequeñas áreas (parcelas), por el hecho que se escogió, a propósito, características muy diferentes para llevar a cabo un estudio comparativo. Sin embargo, la recta logarítmica de tendencia pasa en medio de los diferentes puntos.

En la sierra más húmeda, donde la vegetación natural (bosque y pasto) impide la formación de costras superficiales, se observa también una disminución de la escorrentía desde pequeñas áreas hacia cuencas mayores, pero con menos intensidad. En promedio, los coeficientes de escurrimiento anuales, casi siempre superan el 15 por ciento. En cuencas medianas, de algunos km^2 a varias decenas de km^2 , los coeficientes de escurrimiento, que corresponden a tormentas notables, pueden llegar o superar al 20 ó 30 por ciento, según sus características. Es la humedad del suelo que aquí desempeña un papel importante: se demostró que en cuencas de varios millares de km^2 no se observa escurrimiento

superficial hasta tener un cúmulo de 100 milímetros de lluvia, altura que representa, en muchos lugares de la Sierra, casi la tercera parte de las precipitaciones de la estación lluviosa.

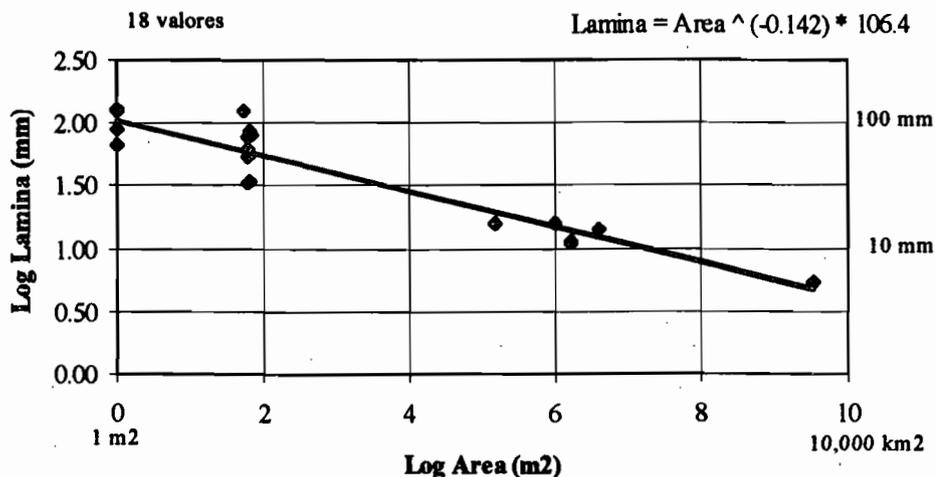


Figura 6. Lámina escurrida anual vs área.

Sin embargo, se debe recalcar que estos valores promedio ocultan una variabilidad mucho más importante que la de las precipitaciones. Por ejemplo, en la sierra la precipitación anual del año 95 representa, más o menos la mitad de la de 96, cuando en ciertas pequeñas cuencas se observó una lámina escurrida cien veces inferior (en la cuenca de El Palmito la razón de las láminas anuales es de 4 para los dos mismos años). Esta gran variabilidad natural no permite evaluar fácilmente el impacto de las acciones de degradación del hombre sobre el recurso hídrico. En la Sierra, un estudio por teledetección mostró que, entre 1972 y 1992, 30 por ciento de la cobertura vegetal, tanto herbácea como arbórea, sufrió una degradación por sobrepastoreo o desmonte; pero es muy problemático relacionar estos cambios con una alteración de la disponibilidad en agua o del recurso en suelo, o con un aumento de la erosión.

El estudio estadístico de esta variabilidad sólo será posible después de disponer de uno o varios modelos de simulación de la relación lluvia - escurrimiento. Ya se elaboraron y se comprobaron diferentes modelos de tipo estocástico o determinístico. Se buscan, ante todo, modelos sencillos y robustos, es decir, modelos que den resultados aceptables, incluso en condiciones extremas. Se sabe, por experiencia, que para mejorar el nivel de conceptualidad de un modelo es necesario aumentar el número de parámetros, sin tener en cambio la certeza de conseguir mejores resultados. Estudios comparativos hechos por diferentes científicos comprobaron que no todos los modelos, que manejan varios parámetros dan los mejores ajustes. Eso es la consecuencia del hecho que la hidrología es una ciencia de la naturaleza y que la utilización de leyes físicas no puede hacerse de una manera sencilla. Es necesario conocer las leyes de distribución estadística en el espacio de sus diferentes parámetros; además, en muchos casos, a más de esta variabilidad espacial se observa un cambio en la forma de las leyes físicas cuando se pasa del nivel puntual al nivel de una cierta área, incluso de pequeñas dimensiones.

En parcelas de 50 m² con escurrimiento laminar, la erosión específica puede variar, según las condiciones físicoclimáticas, de 0 a 20 ton/ha/año en la zona semiárida, y de 10 a 50 ton/ha/año en la Sierra Madre Occidental. Pero, pasando a áreas de unos km², la erosión es de 5 a 10 veces inferior. En cambio, no se observa una fuerte disminución en las cuencas de varias centenas o varios millares de km²: en la cuenca de la presa de El Palmito (19,000 km²) el gasto sólido promedio es de 5 ton/ha/año. Así, a nivel de cuenca, la erosión en la RH 36 puede ser calificada de moderada a débil. Se debe subrayar que, en muchos casos, la variabilidad temporal, interanual de la erosión es inferior a la del escurrimiento. Los problemas de azolve tanto en las presas como en los presones no son tan agudos como los que se pueden encontrar en otras regiones del mundo: en Africa del Norte, en la India o en los Andes, por ejemplo.

Los numerosos presones de las zonas áridas y semiáridas tienen un impacto bastante significativo sobre el balance hidrológico. En los pequeños bordos de algunos millares de m³ que, en el mejor de los casos, tienen agua durante tres a cinco meses al año, la infiltración representa muchas veces más de la mitad de las pérdidas naturales que, en regiones ubicadas a los 2,000 msnm, pueden pasar los dos centímetros por día; la otra parte se pierde por evaporación. La costumbre que consiste en limpiar frecuentemente estas pequeñas obras hidráulicas favorece este proceso, quitando los sedimentos finos (sobre todo arcillas) que impiden la infiltración, por lo menos en la parte inferior de los vasos. Estas pérdidas fueron evaluadas por métodos físicos (calculando la relación entre la evaporación en el tanque de clase A y la evaporación en los presones) y por métodos químicos, basados en el balance iónico y en el principio de conservación de la masa. En obras de mayor tamaño que tienen agua casi todo el año, la evaporación siempre supera a la infiltración.

La modelación del funcionamiento de las obras hidráulicas no trae grandes dificultades, desde el momento que se controlan, con suficiente precisión, los diferentes factores del balance hidrológico, en relación con el intervalo de tiempo unitario escogido para hacer las simulaciones. Uno de los objetivos de estas simulaciones es evidentemente mejorar el uso del agua.

El estudio de la evolución de la calidad química del agua durante el ciclo hidrológico demuestra que en muchos casos no se observan cambios importantes desde el agua de lluvia hasta el agua de la capa freática.

A pesar de dedicarse a la hidrología superficial, el programa se preocupa, a través de una tesis de doctorado de un estudiante francés, en conocer mejor el recurso en aguas subterráneas. El objetivo de este trabajo estaba esencialmente enfocado al conocimiento del (o de los) acuífero(s) de la Comarca Lagunera. El programa de investigación se articuló en torno a cuatro grandes enfoques temáticos: estudio geoquímico de los procesos de interacciones entre fase líquida, sólida y gaseosa, origen de la mineralización del agua; reconocimiento de las mezclas potenciales; estimación de los tiempos promedios de estancia (edad del agua); definición de las áreas y de los procesos de recarga de los acuíferos.

Divulgación.

A la fecha han emanado, en Folletos Científicos INIFAP-ORSTOM, seis publicaciones que abarcan diferentes aspectos del entorno productivo de la región, y un manual de laboratorio para los análisis de suelos, agua y plantas. Otras tres están en preparación. Además de las 21 tesis desarrolladas en el marco del programa, se redactaron diez publicaciones, en español y en francés, entre las cuales cinco artículos aparecen en diferentes revistas. Por otra parte, los investigadores del CENID o del ORSTOM presentaron 23 comunicaciones en 18 seminarios, simposia y coloquios.

Sin embargo, si es responsabilidad del investigador divulgar los resultados científicos obtenidos, es también de utilidad primera la transferencia de los logros hacia los diferentes usuarios (tomadores de decisiones o productores).

CONCLUSION

La sequía de los últimos años en el norte de México no presentó un carácter muy excepcional; sin embargo, tuvo en la población un impacto muy fuerte, lo que demuestra que la cultura de la importancia del agua y de la necesidad de ahorrarla y conservarla se torna realidad. Eso es fundamental en una región cuya característica dominante es la aridez que, al contrario de la sequía, no es conyuntural.

La aridez concierne numerosas regiones del mundo, donde el hombre, por necesidad, siempre ha buscado soluciones que, con el tiempo, se van mejorando y sofisticando hasta originar desigualdad en la utilización del recurso agua. Es evidente que las precipitaciones, fuente de las aguas continentales, transmiten a los ecosistemas su variabilidad. Sin embargo, a la variabilidad climática se une la variabilidad edáfica, consecuencia de la redistribución del agua en función de las características físicas y bióticas de los medios. Frente a la sequía, los ecosistemas reaccionan por un proceso de autoconservación que se manifiesta por una disminución de la cobertura vegetal, las zonas desnudas, convirtiéndose en espacios definitivamente estériles. El límite extremo de esta evolución sería la formación de un verdadero desierto mineral. Así, el recurso agua, vital para la conservación de los ecosistemas y la satisfacción de las necesidades de la población, no logra ser suficiente o, al menos, estar regularmente asegurado. Diferentes soluciones técnicas, bien conocidas, permiten afrontar estas situaciones: grandes presas públicas que faciliten una gestión plurianual; pequeños y medianos bordos establecidos mediante programas gubernamentales, o algunas veces debidos a motivos políticos o bien, por intereses privados; en fin, utilización de aguas subterráneas más o menos profundas y, a veces, con una recarga débil.

Una gestión racional del recurso agua necesita, con evidencia, un buen conocimiento de la disponibilidad y de su variabilidad, así como de medios que ayuden a la toma de decisiones. Sin embargo, la solución para que el precario equilibrio de los medios áridos del norte de México no se rompa, tiene que venir de un cambio en la actitud del hombre frente al aprovechamiento de los recursos llamados renovables como son el agua, el suelo y la vegetación, sabiendo que su renovación se torna a veces difícil, larga o imposible, sobre todo en el caso de una sobreexplotación o de un mal manejo.

1
9
7
2

1
9
9
7

25 Aniversario del CENID-RASPA

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACION DISCIPLINARIA
EN RELACION AGUA-SUELO-PLANTA-ATMOSFERA

inifap
PRODUCE 

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
FORESTALES, AGRICOLAS Y PECUARIAS