

---

ARTÍCULO I

**ESTUDIOS HIDROCLIMATOLÓGICOS;  
MARCO, CRÓNICA Y  
ASPECTOS METODOLÓGICOS SUCINTOS**

*Éric Cadier, Pierre Pourrut, Michel-Alain Roche,  
Roberto Cruz, Gustavo Gómez, Alejandro Bermeo, Galo Toscano†*

Este artículo se limita a exponer el contexto y luego a explicar el camino lógico que guió la definición de las diversas fases de estudio con miras a la obtención de los resultados esperados. Como se puede suponer por la amplitud del tema y la extensión del período considerado, se trata más de la presentación de un catálogo de los trabajos realizados que del análisis de la consistencia de los resultados obtenidos.

**I. Lugar del hidrólogo en el contexto de los estudios realizados por el ORSTOM en cooperación con el Ecuador**

Originalmente, fue en el marco general de la óptima utilización de los recursos naturales renovables, objetivo hoy en día prioritario para numerosos países, en donde se inscribían los estudios emprendidos en 1974 por el ORSTOM en cooperación con el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) del Ecuador. Así, varias decenas de investigadores franceses y de especialistas ecuatorianos del Programa Nacional de Regionalización Agraria (PRONAREG), se dedicaron a la vasta tarea de inventario y evaluación de los potenciales nacionales, con miras al establecimiento de una planificación de su óptima utilización, orientada hacia una programación integrada del desarrollo agro-económico del país.

Obligados a adaptar sus metodologías particulares a las limitaciones de una acción pluridisciplinaria, los científicos debieron igualmente plegarse a una situación dada y abandonar la aplicación de métodos óptimos convenientes, a menudo demasiado largos, a fin de alcanzar los objetivos fijados dentro de los plazos impartidos. Así, las metodologías disciplinarias aplicadas presentan más

de un aspecto original: debían a la vez garantizar la necesaria coherencia de los diversos parámetros propuestos y permitir considerar elementos cifrados escogidos para cada especialidad a fin de realizar la síntesis común, fundamento de la regionalización.

Finalmente, la metodología hidrológica elaborada se singularizó por los siguientes aspectos:

- 1** - un inventario de los datos existentes y luego un análisis crítico de los mismos por « muestreo aleatorio », fase acompañada de salidas al campo lo más completas posibles para orientar las muestras de control y la interpretación de las etapas subsiguientes;
- 2** - una generación espacial de la información apoyándose en la noción representada cartográficamente de « zona hidrológica homogénea » con base en criterios físico-geo-climáticos escogidos minuciosamente;
- 3** - una descripción de los recursos hídricos mediante algunos parámetros de fácil acceso y generalmente representables cartográficamente (módulos, caudales característicos de estiaje, irregularidad...), índices por cierto destinados a caracterizar el agua disponible en sus aspectos fundamentales, con miras a integrarlos en la síntesis de los factores bio-físicos del desarrollo agro-económico regional.

**II. Estudios específicos**

Es evidente que la metodología resumida en el capítulo anterior, aunque suficiente a nivel de la planificación, comprendía una importante parte cualitativa, y que los expedientes de factibilidad de los proyectos de desarrollo requerían necesariamente medidas cuantitativas locales (bombeos de prueba, aforos...) a fin de desarrollar el estudio monográfico regional o local.

Es así como, después del primer convenio de tres años de duración destinado a proporcionar las bases teóricas y las grandes orientaciones de una estrategia de intervención regional, se firmó con el PRONAREG un nuevo acuerdo de 5 años de duración. El objetivo general era afinar los conocimientos con miras a constituir un inventario de las *zonas aptas para un ordenamiento del territorio*, evaluar los problemas a afrontarse (distorsión del binomio potencialidades/uso actual) y atribuir un *orden de prioridad* a los acondicionamientos necesarios. El producto científico resultante debía poder ser incorporado fácilmente al Plan Nacional de Desarrollo que, en función de imperativos estratégicos nacionales y regionales, establece la programación de las intervenciones juzgadas oportunas y prevé el financiamiento de las obras correspondientes.

En lo que respecta a los estudios hidrológicos, los términos de referencia del nuevo convenio ponían énfasis en la *cuantificación y el inventario del uso actual y potencial del agua* así como en la determinación de soluciones alternativas que permitan satisfacer la demanda de agua en las regiones en donde la valorización agrícola se consideraba prioritaria.

Rápidamente, se reveló que los estudios hidrológicos requeridos para llevar a buen término tales proyectos no podían emprenderse en el marco del PRONAREG, puesto que, por una parte, esa estructura administrativa del MAG no disponía de recursos financieros suficientes para ello, y por otra, la legislación ecuatoriana atribuye el monopolio de adquisición de datos hidrometeorológicos a una entidad especializada, el Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología (INAMHI). Existen sólo dos excepciones para tal exclusividad, aquella relativa a los organismos regionales de desarrollo que están autorizados a manejar ciertas redes de observación provisional y la correspondiente a las grandes entidades estatales encargadas del manejo de los recursos hídricos tales como el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INERHI), especializado sobre todo en la construcción de obras hidro-agrícolas y la instalación de sistemas de riego, o el Instituto Nacional de Electrificación (INECEL). Así, se tuvo que recurrir a esas entidades y, una vez definidos temas de interés común, se suscribieron acuerdos internos entre el PRONAREG y varios organismos, asumiendo los investigadores del ORSTOM la responsabilidad de los estudios en el plano técnico. Entre los más importantes, se deben citar:

- PRONAREG/INAMHI/INERHI, en el cual los dos institutos pusieron a disposición del grupo de trabajo cierta cantidad de técnicos especializados, refuerzo indispensable para hacer frente a la multiplicación de las labores de oficina y de campo; este convenio permitió también acceder a la totalidad de datos recogidos;
- PRONAREG/INERHI, relativo al estudio de las cuencas

vertientes representativas del río Tinto, en la zona árida de la península de Santa Elena;

- PRONAREG/INERHI/Municipio de Quito, destinado a establecer los balances hídricos, a evaluar los flujos y estimar los parámetros necesarios para la recarga de las napas acuíferas de la cubeta de Quito; el *Bureau d'Études de Géologie Appliquée* (BURGEAP — Oficina de estudios de geología aplicada) y la *École Nationale Supérieure des Mines* (Escuela Nacional Superior de Minas) de París estaban asociados a este estudio que debía desembocar en una modelización acoplada de los flujos de superficie y de subsuperficie;
- PRONAREG/Centro de Rehabilitación de Manabí (CRM), con miras al estudio de las cuencas vertientes representativas del río Banchal, situadas en una zona seca de la provincia de Manabí, y a la planificación de un programa de perforaciones para evaluar lo mejor posible los recursos subterráneos de la provincia;
- PRONAREG/Instituto Nacional Galápagos (INGALA), con el apoyo de la Fundación Charles Darwin, para establecer el inventario exhaustivo y definir la problemática de los recursos hídricos de las cuatro islas habitadas del archipiélago.

Paralelamente, los estudios específicos desarrollados dentro del PRONAREG bajo la dirección de los investigadores del ORSTOM, estaban dedicados prioritariamente a:

- la *planificación del riego* a nivel nacional, trabajos que iban a servir de base, años más tarde, a un programa mucho más ambicioso emprendido desde 1988 por el INERHI y el ORSTOM;
- el *análisis fino de las series pluviométricas* para tratar de definir las correspondientes leyes y elaborar una zonificación nacional;
- la revisión crítica y el *análisis de los flujos* observados en las pequeñas cuencas hidrográficas de la red nacional, con miras a estimar parte de los parámetros hidrológicos tradicionales, en particular las relaciones lluvias-caudales.

### III. Breves referencias metodológicas relativas al inventario inicial de los recursos hídricos

Aunque la metodología utilizada para llevar a buen término los primeros estudios hidrológicos en el Ecuador ya fue descrita en uno de los *Cahiers d'Hydrologie* (Cuadernos de Hidrología) del ORSTOM — al que se hace referencia muy a menudo para presentar lo que sigue — y no es sino el residuo de un trabajo mucho más importante, constituye una *« ganancia » exportable* porque puede ser utilizada en otras condiciones geográficas. Por ello, parece útil presentar aquí algunas indicaciones relativas a los diferentes principios de base y

procesos lógicos que prevalecieron en la definición de las etapas de trabajo y la presentación de los resultados.

La secuencia de dos fases sucesivas adoptada para los estudios se deriva directamente de la calidad de la información disponible: hidrometeorológica en el INAMHI, geológica en la Dirección General de Geología y Minas (DGGM) y en la Dirección General de Hidrocarburos (DGH) y finalmente cartográfica y topográfica en el Instituto Geográfico Militar (IGM). La colaboración de estos organismos fue muy valiosa pero el INAMHI merece nuestro especial reconocimiento puesto que puso a nuestra disposición, sin reticencia alguna, todas las observaciones existentes y buscó permanentemente mejorar la calidad de la obtención de los datos de las redes de observación (en la época existían alrededor de 100 estaciones meteorológicas, 200 puestos pluviométricos y 150 estaciones hidrométricas) y de su posterior procesamiento.

Probablemente, lo ideal habría sido disponer de bancos de datos analizados críticamente y exhaustivos relativos a las principales informaciones hidrometeorológicas e hidrogeológicas, así como de estudios monográficos de esos datos por cuenca hidrográfica o por sistema acuífero. Estos habrían proporcionado entonces una información crítica, corregida, e incluso completada y homogeneizada, permitiendo los análisis estadísticos y las síntesis regionales de los diversos recursos hídricos, a partir de los cuales habría sido fácil extraer los parámetros característicos de tales recursos con miras a la planificación de su utilización.

Evidentemente, la realidad era muy diferente. Existían efectivamente series pluviométricas de una duración superior a los 30 años y alrededor de 10 años de observaciones hidrometeorológicas bastante densas en la parte no amazónica del país, pero se trataba de informaciones no reunidas en un banco de datos criticados y que prácticamente no habían dado lugar, con una o dos excepciones, a la elaboración de monografías regionales. Además, como se puede constatar a menudo, el conocimiento de las aguas subterráneas era, fuera de ciertos puntos localizados, muy vago por no decir inexistente.

Dados los plazos impartidos, fue necesario quemar ciertas etapas.

Para ello, se partió del siguiente *postulado*: el planificador no necesita conocer de parámetros hidrológicos sofisticados calculados con gran precisión para estaciones puntuales; lo que le interesa, para confrontar los elementos propicios al desarrollo o los factores limitantes más diversos, es la estimación de los recursos utilizables (sean estos meteóricos, superficiales o subterráneos) en todo punto de la región estudiada, incluso si no se trata sino de valores aproximados.

Este gran principio permitía poner énfasis en la caracterización de los recursos hídricos bajo aspectos simplificados pero fundamentales: abundancia anual, repartición estacional, irregularidad interanual, intensidad de

los extremos (crecidas y estiajes), existencia o inexistencia de acuíferos, etc. Implicaba también una *presentación de resultados fácilmente accesibles* a los agrónomos y economistas encargados generalmente de la planificación de los recursos naturales renovables. Esta intención se concretó de la siguiente manera:

**1** - delimitación del período de observación de referencia 1964-1973, que permitía proceder al análisis estadístico y a la homogeneización de los datos (función directa de la densidad de las observaciones) y que podía ser considerado como representativo de los regímenes (problemas planteados por la gran diversidad de condiciones climáticas del país);

**2** - selección de los parámetros que, calculados con base en un procesamiento de los datos de observaciones hidroclimatológicas, habitualmente practicado por los hidrólogos, podían integrarse a la síntesis PRONAREG-ORSTOM sobre la zonificación regional de las potencialidades agrícolas, siendo al tiempo fácilmente utilizables por parte de los planificadores:

- *lluvias anuales y distribución mensual* de las precipitaciones;

- *evapotranspiración potencial anual* según la fórmula de Thornthwaite (aproximación escogida ya que no se disponía sino de los valores de temperatura);

- *módulos específicos anuales* (la noción de caudal específico permitía proceder a estudios comparativos);

- *caudales característicos de estiaje* de treinta días consecutivos DCC 30 (criterio importante para el cálculo de las dosis mínimas de riego);

- *coeficiente de irregularidad interanual* K3;

- *coeficiente de regularidad estacional* KE;

- *déficit hídrico promedio anual*, número anual de meses secos y análisis de una delimitación climática de las necesidades de riego;

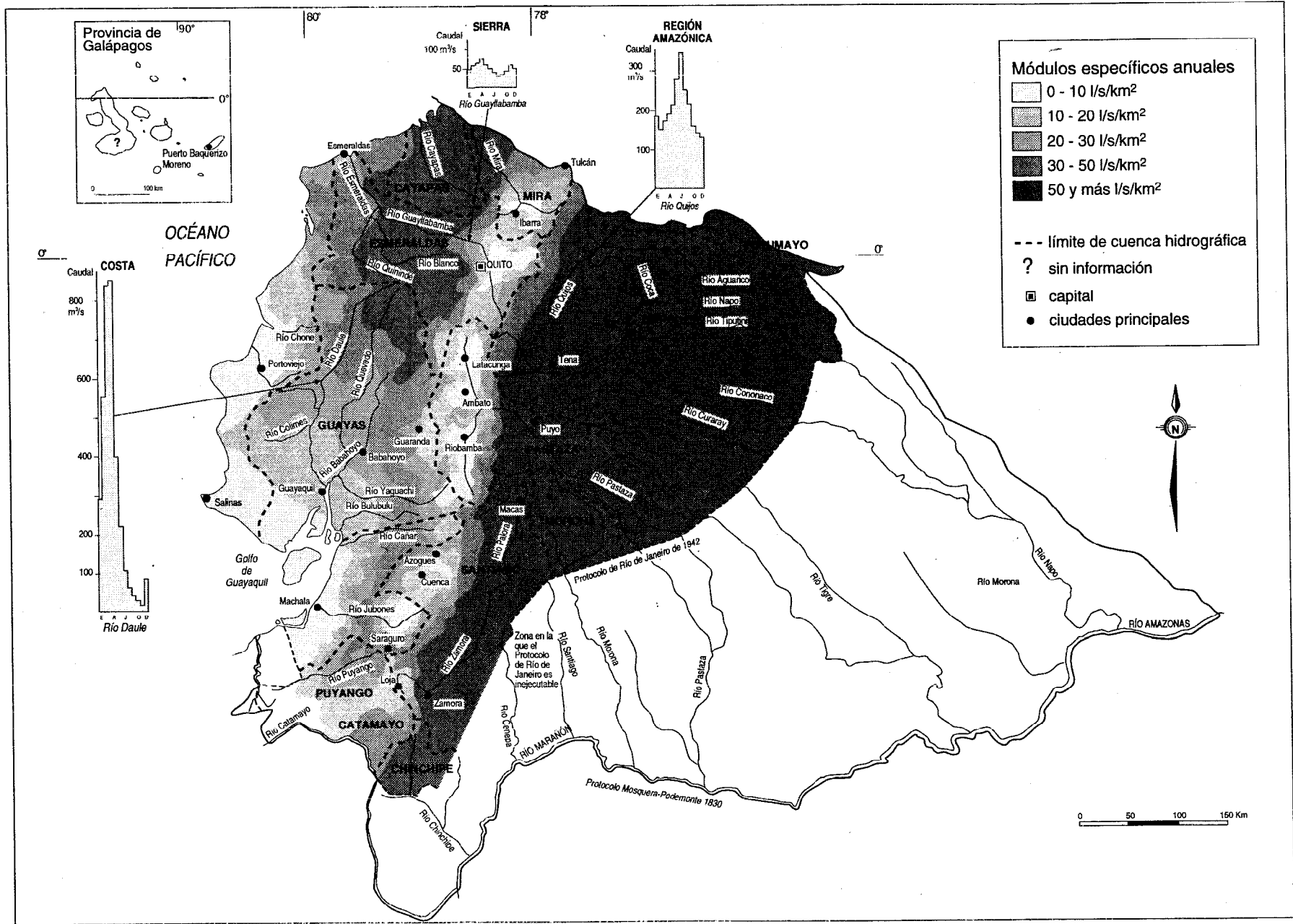
- *potencial hidrogeológico* y situación de las zonas propicias a la explotación de las aguas subterráneas;

**3** - resolución de representar los resultados cartográficamente:

- bajo la forma de isolinéas (cada vez que era posible);

- cuantificando los parámetros (valor promedio) en una superficie lo suficientemente reducida como para poder suponer que sean relativamente homogéneos. Es así como el espacio que comprende las regiones costanera y andina (la región amazónica forma una entidad aparte y, además, no se disponía de una cartografía exacta) fue dividido en *1.245 pequeñas cuencas hidrográficas « unitarias »* de una superficie generalmente inferior a 200 Km<sup>2</sup>, dimensión considerada como un límite superior para respetar el criterio de homogeneidad;

**4** - decisión de realizar el trabajo en dos etapas, una de análisis regional y otra de síntesis nacional, ambas resumidas a continuación.



MÓDULOS ESPECÍFICOS ANUALES

La **etapa de análisis regional** se inició con una fase de análisis crítico y de evaluación de la confiabilidad de los datos, seguida del cálculo del valor de los principales parámetros hidrológicos y de los elementos del balance en espacios regionales (grupo de grandes cuencas hidrográficas) que supuestamente tenían una problemática de conjunto similar, ya sea debida a las condiciones físico-climáticas o bien derivada de aspectos más técnicos como la densidad de la red de observación o las dificultades de acceso. Así, se individualizaron *cinco regiones*, teniendo los estudios emprendidos en la primera de ellas, en los alrededores de la base de trabajo de Quito (cuencas de los ríos Pastaza, Chimbo y Chanchán), un valor de test metodológico.

Es evidente que la red respondía de manera imperfecta a la gran diversidad de condiciones hidroclimáticas del Ecuador y que por lo tanto era utópico pensar en caracterizar cada una de las cuencas hidrográficas, y menos aún las 1.245 pequeñas cuencas unitarias, mediante valores realmente observados o medidos. Se recurrió entonces al método elaborado por P. Dubreuil y J. Guiscafré, que consiste en una división en zonas *hidrológicas teóricamente homogéneas*. Aliado a un buen conocimiento del terreno, ese método iba a permitir rellenar las lagunas de información gracias a extrapolaciones en el espacio. Recuérdese que el método, basado en un principio de reproductibilidad y de conservación de la relación causa/efecto (conjunto de factores condicionantes cuidadosamente escogidos/valor de los parámetros hidrológicos resultantes), posibilita el traslado a una zona no estudiada de los resultados obtenidos en otra zona que presenta características físico-geo-climáticas similares. En el Ecuador, tales características fueron individualizadas para las 1.245 cuencas unitarias tomando un número reducido de factores condicionantes cuyas elección y consistencia estaban relacionadas directamente con la información disponible, y que son los siguientes:

- *totales pluviométricos anuales*, con indicación del período de aparición de la estación lluviosa (6 clases);
- *tipo de aporte subterráneo*, determinado en función de la permeabilidad del suelo y del subsuelo (5 clases);
- *8 clases de relieve*, calculadas de manera tradicional con base en desniveles específicos;
- *altitud promedio* (8 clases), reemplazada por la *cobertura vegetal* (5 clases) por debajo de los 500 m.

Como evidentemente no se disponía de la gama completa de las zonas teóricamente homogéneas necesarias, la transferencia de los resultados a otras zonas fue sometida a ciertos ajustes efectuados en los factores considerados secundarios (por ejemplo la altitud) o de trazado menos rígido (la pluviometría).

En definitiva, esta fase condujo a algunos resultados interesantes, presentados en 5 informes en español que totalizan más de 1.200 páginas, acompañados de 40

mapas a escala 1:200.000:

- en los cinco conjuntos regionales que dieron lugar al análisis, *determinación de 236 zonas hidrológicas teóricamente homogéneas* que corresponden adecuadamente a las grandes variaciones de los factores condicionantes, lo cual por cierto se verificó *a posteriori*;
- puesta en evidencia de las principales lagunas en el conocimiento de los factores condicionantes y definición de los estudios a emprenderse prioritariamente para remediarlas;
- propuesta de *planificación de la red hidrométrica mínima*, mediante comparación entre red en servicio y red teórica óptima;
- homogeneización y mejoramiento del conocimiento de los principales parámetros físico-climáticos que eran indispensables para la realización de la fase de síntesis.

La etapa de **síntesis nacional** elaborada en la óptica de la planificación agrícola de las aguas, se dedicó a identificar ciertos parámetros simples que permitan conocer las características de los regímenes hidrológicos necesarios para el planificador, tratando de evitar la redundancia de tales parámetros. Su objetivo era presentar documentos claros con miras a establecer sin retraso un primer diagnóstico, no sólo de las disponibilidades hídricas existentes, es decir de *la oferta*, sino también de las necesidades de agua resultantes de las realidades físico-climáticas, es decir la demanda, y finalmente de las posibilidades teóricas de satisfacer esta última con base en los recursos locales.

En 1979, los resultados se agruparon en una nota de síntesis en español que comprendía 34 páginas y 9 figuras, acompañada de 10 mapas (o grupo de mapas) nacionales a escala 1:1.000.000, 1:2.000.000 y 1:4.000.000, 2 mapas de las regiones litoral y andina a escala 1:500.000 y dos mapas regionales a escala 1:200.000. Un extenso cuadro resumía las características principales de las 1.245 cuencas hidrográficas unitarias. Así, para cada una de ellas se puede conocer instantáneamente: el código, la gran cuenca de pertenencia, el nombre local, la superficie en Km<sup>2</sup>, el módulo específico en l/s/Km<sup>2</sup>, la irregularidad interanual K3, la regularidad estacional KE, los DCC 30 en l/s/Km<sup>2</sup> y finalmente los límites superior e inferior del volumen escurrido anual en millones de m<sup>3</sup>.

Un breve comentario de los diferentes mapas bastará para apreciar en su justo valor los trabajos realizados durante cinco años:

- isoyetas interanuales e histogramas de las pluviometrías mensuales — escala: 1:1.000.000. Corresponde a los recursos meteorológicos directos. Se acompaña en el texto de comentarios y gráficos que indican, por zona, la tendencia de los valores del coeficiente de variación de los totales anuales así como de una estimación de los órdenes de magnitud de los totales diarios y de las intensidades según las regiones naturales del país;

- evapotranspiración potencial Thornthwaite — escala: 1:1.000.000. La fórmula considerada era la única que permitía calcular un número suficiente de valores para trazar isolinéas. Su interés radica sobre todo en el hecho de que sirve de base a la evaluación de los déficits hídricos;

- referencia de las cuencas hidrográficas unitarias — escala: 1:500.000. Permite situar a las cuencas, ya sea para la utilización del cuadro de las características o para precisar su posición en los mapas a escala 1:1.000.000;

- módulos específicos anuales — escala: 1:1.000.000. Las grandes clases escogidas (0-10, 10-20, 20-30, 30-50 y más de 50 l/s/Km<sup>2</sup>) y los colores permiten identificar con una simple mirada las disponibilidades consideradas bajo el ángulo de un almacenamiento;

- caudales específicos de estiaje DCC 30 — escala: 1:1.000.000. Las clases escogidas (0-2, 2-5, 5-10, 10-25 y más de 25 l/s/Km<sup>2</sup>) permiten evaluar los recursos disponibles en caso de obras de toma directa. Proporcionan también valiosas indicaciones sobre la intensidad de la recarga subterránea;

- hidrogeología — escala: 1:1.000.000. Basado en la litología y el tipo de permeabilidad de las formaciones geológicas pero elaborada voluntariamente bajo una forma simplificada para ser accesible, este mapa individualiza claramente las zonas que presentan diversos potenciales de aguas subterráneas;

- zonas prioritarias para la búsqueda y la explotación de las aguas subterráneas — escala: 1:1.000.000. Este mapa no es una simple interpretación del anterior. En él se realiza el cruce de varios parámetros: existencia del recurso, necesidades identificadas, aumento previsible de la demanda en función de la dinámica regional;

- calidad de la información pluviométrica e hidrológica — 2 mapas a escala 1:2.000.000. Identifica claramente las carencias de las redes de observaciones;

- déficit hídrico anual, necesidades del riego — escala: 1:1.000.000. Los valores de déficit se obtuvieron sumando los déficits mensuales ETP - P cuando ETP era superior a P. Los valores límite escogidos para definir una igual necesidad climática del riego son evidentemente dependientes de la fórmula utilizada para calcular la ETP y por lo tanto, en el presente caso, de los valores de temperatura. Son claramente más elevados en la Costa que en el callejón interandino: por ejemplo, las necesidades del riego considerado respectivamente como complementario, necesario e indispensable se sitúan en las gamas 100-150 mm, 150-500 mm y > 500 mm en los Andes mientras que en la región litoral llegan a 500-700 mm, 700-1.000 mm y > 1.000 mm;

- déficits hídricos mensuales — 12 mapas a escala 1:4.000.000. Precisa el anterior proporcionando indicaciones sobre los períodos más críticos;

- número anual de meses secos — escala: 1:1.000.000. Complemento indispensable de los dos mapas anteriores, indica la extensión previsible del período en el que hay que regar;

- zonas regables y evaluación del modo de utilización del agua disponible localmente — 2 mapas a escala 1:200.000. Se trata de una prueba metodológica realizada en la región árida de Salinas en donde ningún río tiene un flujo permanente. Las zonas llamadas regables fueron delimitadas utilizando criterios geomorfológicos y edafológicos superpuestos a los factores climáticos. Su selección con miras a un eventual desarrollo agropecuario tenía también en cuenta las posibilidades de almacenar los flujos durante las estaciones lluviosas.

#### IV. Conclusión

A manera de conclusión, se puede decir que a inicios de los años ochenta, el utilizador potencial disponía de mapas y de una lista directamente utilizable de todas las cuencas unitarias del país, de su superficie y de la clase (u orden de magnitud) de las principales características hidrológicas que determinan el origen, la cantidad y la repartición en el tiempo del agua utilizable.

La separación jerárquica de esas características en clases era compatible con la presentación normalizada prevista para la síntesis general de los datos físicos y socio-económicos, para la cual se había contemplado la utilización de un procesamiento mediante matriz Bertin (el uso del computador no se había generalizado aún). Hoy en día se sabe que esta fase de la regionalización agraria PRONAREG/ORSTOM fue un éxito. El análisis factorial de los parámetros tomados en cuenta, por una parte, y la superposición cartográfica de las potencialidades y de la división administrativa cantonal (necesaria para que el Estado realice sus intervenciones), por otra, permitieron individualizar ciertas zonas homogéneas que presentaban problemáticas agrícolas diversas, las ZAPI (Zonas Agrícolas para una Programación Integral).

A otro nivel, el de la planificación nacional, el trabajo realizado fue productivo y sigue siendo de actualidad en algunos campos. Los mapas hidrológicos de la síntesis, publicados por el IGM, fueron difundidos ampliamente y recientemente tuvimos la oportunidad de constatar que eran expuestos sistemáticamente en las oficinas de los responsables del Plan Nacional de Desarrollo para quienes constituyen aún, en ocasiones, una referencia.