REPUBLICA DEL ECUADOR

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA

CONADE - INERHI - ORSTOM

FUNCIONAMIENTO DEL RIEGO PARTICULAR
EN LOS ANDES ECUATORIANOS
Recomendaciones para el Plan Nacional de Riego

FONCTIONNEMENT DE L'IRRIGATION TRADITIONNELLE
DANS LES ANDES EQUATORIENNES
Recommandations pour le Plan National d'Irrigation

INERHI
INSTITUTO ECUATORIANO DE RECURSOS HIDRAULICOS

ORSTOM
INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

Documento elaborado por :

INERHI	Hugo RIBADENEIRA Miguel ALEMAN Ivan OSORNO	Patrick LE GOULVEN Thierry RUF	ORSTOM

COMUNICACIONES PRESENTADAS SOBRE EL RIEGO TRADICIONAL EN LOS ANDES DEL ECUADOR

Periodo 1987 - 1992

Quito, junio de 1993

Participaron al Proyecto

POR EL INERHI

DEPARTAMENTO PLAN NACIONAL DE RIEGO
Ing. Hugo Ribadeneira
Ing. Alex Salazar

Sección de Planeamiento Hidro-agrícola
Ing. Wellington Carrera
Ing. Maribell Montenegro
Ing. Marcelo Proaño
Ing. Edgar Pazmiño
Ing. Manuel Rojas
Ing. Eva Gavilanez
Sr. Efraín Guerra
Sr. Milton Hermosa
Sra. Marcia Lalama
Srta. Jeannette Veira

Sección de Programación Operativa
Ec. Omar Silva
Ec. Edison Juna
Sr. Mario Galarza
Sr. Rodolfo Romero

DIRECCIÓN DE ADMINISTRACIÓN DEL AGUA
Ing. Homero Villacres
Ing. Fernando Serrano
Hid. Angel Segovia

DEPARTAMENTO PLAN NACIONAL DE RECURSOS HIDRAÚLICOS
Ing. Elder Aragundi

Sección de Evaluación de Recursos y Análisis Hidro-económicos
Ing. Edmundo Góngora
Ing. Patricio Moncayo
Ing. José Silva
Ing. Patricio Nájera
Ec. Martha Durango
Hid. Antonio Gonzalez
Arq. Mercedes Jara
Arq. Guido Mantilla
Srta. Yadira Carrión
Sr. Jorge Cisneros
Sr. Edison Echeverría
Sr. Patricio Cueva
Srta. Patricia Andrade

Sección de Planeamiento Hidraúlico
Ing. Iván Osorno
Ing. Miriam Ayala
Ing. Pedro Mosquera
Ec. Cesar Yumiseva
Sr. Ricardo Díaz

UNIDAD DE CÓMPUTO
Ing. Miguel Alemán

POR LA EPN

Ing. Luis Bastidas
Ing. Francisco Cruz (INAMHI)
Ing. Santiago Sarasti

POR EL ORSTOM

DEPARTAMENTO AGUAS CONTINENTALES
Ing. Patrick Le Goulven
Ing. Roger Calvez (01/91 -)
Ing. Xavier Bonhommeau (VSN 14 meses)
Ing. Jean-Louis Augeras (VSN 16 meses)
Ing. Luc Gilot (VSN 16 meses, Aloc. 8 meses)

MISIONES DE APOYO
Ing. Michel Goueffon (CEMAGREF 1 mes)
Ing. Jean-Luc Sabatier (CIRAD 3 meses)
Ing. Alain Vidal (CEMAGREF 1 mes)
Ing. Isabelle Chaffaut (BCEOM 1 mes)

DEPARTAMENTO SOCIEDAD, URBANIZACION, DESAROLLO
Ing. Thierry Ruf
Ing. Emmanuel Dattée (VSN 14 meses)
Ing. Francis Haberstock (VSN 16 meses)

APOYO LOCAL
Ing. Catherine Perroud
Ing. Isabelle Linossier
Sr. Pablo Nuñez (después Aloc 18 meses)
Sr. Geovanny Teran
Srta. Miriam Cisneros
Sra. Amparo de Egüez

Los nombres en letra itálica indican intervenciones puntuales, los subrayados señalan a los responsables administrativos o científicos, y los doblemente subrayados a los co-directores respectivos.

FUNCIONAMIENTO DEL RIEGO TRADICIONAL EN EL ECUADOR

El ORSTOM y la Dirección de Planificación del INERHI colaboran desde 1987 para realizar los estudios necesarios a la elaboración del Plan Nacional de Riego del Ecuador. El correspondiente convenio de cooperación entre los dos institutos fue renovado en diciembre de 1989 por tres años.

El ORSTOM interviene con dos investigadores: un hidrólogo del Departamento de Aguas Continentales (DEC) y un agro-economista del departamento Sociedad, Urbanización, Desarrollo (SUD).

El INERHI interviene con ingenieros y técnicos del Departamento de Planificación (Plan Nacional de Riego y Plan Nacional Hidráulico).

El proyecto científico multidisciplinario aborda varios temas de investigación en los planos tanto del medio físico como del medio socio-económico.

PROBLEMATICA GENERAL

El riego tradicional tiene una importancia fundamental en el desarrollo agrícola de los Andes ecuatorianos. Concierne más de 200.000 hectáreas, pero se conoce muy poco de sus problemas y su eficiencia.

El proyecto INERHI-ORSTOM se propone analizar el funcionamiento de los sistemas de riego con el objeto de preparar una rehabilitación planificada a costos razonables, conjunto de acciones que permitirán incrementar la productividad, asegurar una rentabilidad económica a las inversiones y mejorar las condiciones de vida de los campesinos.

Para alcanzar estos objetivos tan complejos como ambiciosos, el proyecto ha elaborado una serie de análisis temáticos cuyos resultados enriquecen la comprensión global del funcionamiento del riego tradicional en los Andes ecuatorianos.

TEMAS ESPECIFICOS ABORDADOS

A Selección razonada de las áreas significativas para el estudio de los disfuncionamientos del riego ecuatoriano (CRASEDIE)

B Trabajos y acciones multidisciplinarias sobre la agricultura de terrenos representativos del riego ecuatoriano (TAPATRIE)

C Localización, organización y caracterización del riego ecuatoriano (LOCIE)

D El agua y su manejo racional: una ayuda al desarrollo del riego ecuatoriano (EGRADIE).

E Observatorio de los cambios agrícolas y socio-económicos en las zonas regadas ecuatorianas (OCASEZIE)

F Estudio pedológico orientado hacia los problemas del riego en el Ecuador (EPOPIE).

H Historia del desarrollo de los sistemas andinos de riego

I Integración, banco informatizado de datos relativos al riego ecuatoriano (BIDRIE).

El proyecto ha acumulado una serie de referencias fundamentales en todos los campos relacionados con el riego, tratando de completar las lagunas del conocimiento técnico y socio-económico en las condiciones ecuatorianas.

ORGANIZACION ORSTOM
- Patrick Le Goulven, hydrólogo del DEC y Director Internacional del Proyecto
- Thierry Ruf, agro-economista del SUD

ORGANIZACION INERHI
- 1987-90: Hugo Ribadeneira, Director Nacional del Proyecto
- 1991: Alex Salazar

PUBLICACIONES DEL PROYECTO INERHI-ORSTOM

Para favorecer un manejo eficaz del proyecto, las 8 operaciones descritas en la página anterior han sido divididas en 58 actividades específicas.

A cada actividad corresponde :

- una tarea precisa,
- personal francés y ecuatoriano asignado, con un responsable de actividad,
- una descripción de los diferentes resultados esperados,
- una programación de trabajo para el año en curso.

Esta estructuración permite evaluar rápidamente el avance del trabajo, adecuar el personal necesario y establecer un plan de publicación de los resultados.

Los resultados esperados de una actividad son de varios tipos : programas, bancos de datos, mapas, informes metodológicos, informes de síntesis, presentación de resultados, anexos de mediciones,...
Para dar cierta coherencia a los diferentes informes, ellos se publican bajo la misma carátula y son identificados por :

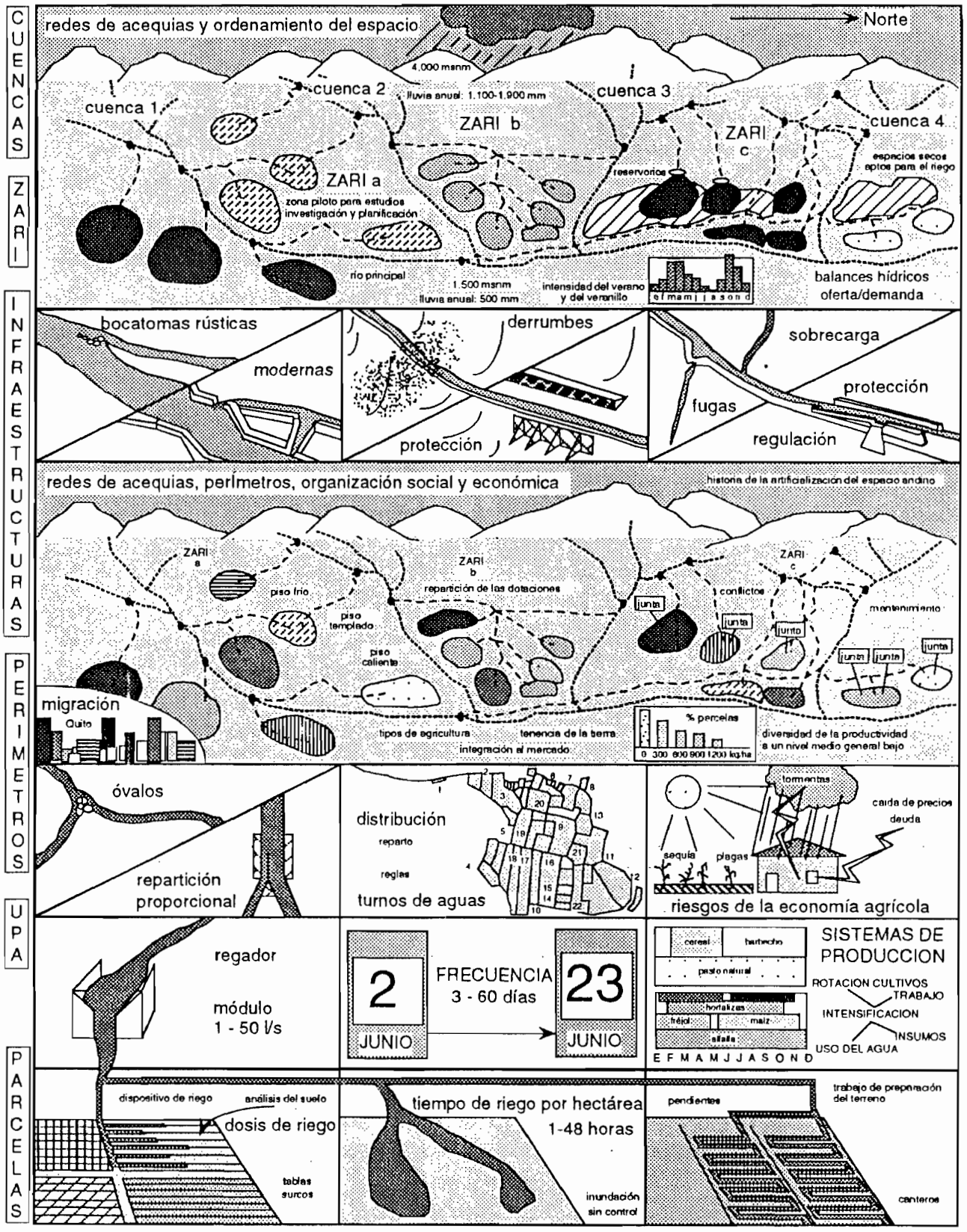
- un número de serie que corresponde a la actividad,
- un nombre de volumen que precisa el tema tratado (metodología, presentación de programa), o el espacio estudiado en función de las diferentes escalas de trabajo (ver la página al lado).
- un número de tomo cuando el volumen corresponde a un informe demasiado voluminoso.

PRESENTACION DEL VOLUMEN

En el caso presente, el informe no corresponde a una publicación ordinaria del proyecto. Reagrupa todas las comunicaciones presentadas a reuniones, congresos y seminarios (nacionales o internacionales) durante el periodo de validez de los 2 convenios firmados entre INERHI y ORSTOM (diciembre de 1986 - febrero de 1993).

Se trata entonces de un esfuerzo de restitución de las apreciaciones y conclusiones que van afinándose a medida que llegan nuevos datos.

LAS ESCALAS DE TRABAJO SOBRE EL FUNCIONAMIENTO DEL RIEGO PARTICULAR EN LOS ANDES



INDICE

PRESENTACION
DEL PROYECTO INERHI-ORSTOM

por P. Le Goulven *, T. Ruf **, H. Ribadeneira***

Quito, mayo de 1987

* hydrólogo ORSTOM, Misión ORSTOM, CP 17-11-06596, Quito, Ecuador.
** agro-economista ORSTOM, Misión ORSTOM, CP 17-11-06596, Quito, Ecuador.
*** Ingeniero civil EPN, INERHI, 532 Juan Larrea y Rio Frío, Quito, Ecuador.

INTRODUCCION

En París, el 17 de octubre de 1985, el **ORSTOM** (Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación) y el **INERHI** (Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos) firmaron un acuerdo provisional de trabajo, concretando así varios años de conversaciones sobre una eventual cooperación científica con miras a contribuir a la formulación del Plan Nacional de Riego.

Este acuerdo entró en vigencia en febrero de 1986, con el arribo de un hidrólogo (P. LE GOULVEN) y de un agro-economista (T. RUF) del ORSTOM, en julio del mismo año.

En mayo de 1986, se publicaron dos documentos:

- Análisis de la situación actual y concepción general del Plan Nacional de Riego

- Términos de referencia para un proyecto específico de cooperación

Elaborados con el Jefe del Departamento Plan Nacional de Riego del INERHI (H. RIBADENEIRA) y aprobados por el Representante del ORSTOM en el Ecuador (P. POURRUT), esos textos tomaron en cuenta las necesidades formuladas por el INERHI, la información existente y los trabajos realizados o en curso sobre este tema.

Posteriormente, se envió el proyecto específico de cooperación a las diversas instancias de los dos institutos y se lo modificó en función de los criterios y comentarios obtenidos. El texto definitivo pasó luego por una serie de trámites administrativos, hasta el 18 de diciembre de 1986 en que se suscribió el convenio específico de cooperación técnica y científica entre el INERHI y el ORSTOM, con la firma del Ministro ecuatoriano de Relaciones Exteriores, del Director Ejecutivo del INERHI y del Representante de ORSTOM en este país, en presencia de un representante de la Embajada de Francia en el Ecuador.

El trabajo comenzó realmente en febrero de 1987, es decir al cabo de más de un año de la firma del acuerdo provisional.

Este lapso, lejos de ser inútil, sirvió para:

- analizar más exhaustivamente la documentación existente sobre el riego actual;

- visitar varios sistemas de riego, tanto públicos como privados;

- definir los objetivos del proyecto en función de los dos puntos anteriores y delimitar las áreas de trabajo;

- tomar contacto con diversos institutos ecuatorianos y proponerles su colaboración;

- perfeccionar los métodos de trabajo y adaptar los programas informáticos para análisis y procesamiento de datos;

- formular las tareas a efectuarse y constituir los equipos de trabajo.

Finalmente, un ingeniero del CEMAGREF (Centro Nacional de Mecanización Agrícola, Desarrollo Rural de Aguas y Bosques) realizó en Quito una misión de apoyo del 1º de diciembre de 1986 al 15 de enero de 1987, para observar el funcionamiento de los grandes tipos de riego existentes y definir las modalidades de observación. Esa misión concluyó con un informe titulado « Caracterización preliminar del riego y observaciones a realizarse sobre las infraestructuras ».

Como se puede ver, los trabajos anteriores fueron objeto de informes, de notas manuscritas o simplemente de comentarios breves durante las diversas reuniones. Sin embargo, el conjunto se revelaba desarticulado y no permitía a los participantes tener una visión de conjunto de sus tareas.

Esto hizo sentir la necesidad de publicar un texto general que reúna todas las conclusiones de las etapas preparatorias, que especifique los diferentes temas abordados, esclarezca las relaciones entre ellos y responda a las inquietudes planteadas.

El presente documento es el resumen del informe " Metodología general y detalle de las operaciones del proyecto INERHI-ORSTOM " publicado en 1987 .

Después de un análisis de la situación actual, la primera parte expone los objetivos planteados, define las unidades espaciales de análisis y sus diferentes niveles, relaciona los trabajos de campo y los estudios temáticos propuestos y especifica ciertos términos que serán utilizados posteriormente.

Son presentadas finalmente las diferentes operaciones consideradas y sus interrelaciones.

Este documento no fue sino una base de partida, modificada a medida que avanzabamos en este campo aún poco conocido.

Permitió sin embargo presentar mejor este proyecto al interior mismo de los dos institutos, así como a los equipos locales o extranjeros que trabajen sobre el mismo tema.

I - OBJETIVOS GENERALES

1. ASPECTO LEGAL E INSTITUCIONAL

La creación del INERHI en 1966 responde a la necesidad de tener un organismo público que se ocupe de las obligaciones del Estado en materia de riego y conservación del suelo, según una política única y coherente.

Las principales atribuciones del Instituto están definidas en el artículo 3 de su Ley de creación y concierne los siguientes aspectos:

- elaborar y ejecutar el Plan Nacional de Riego como parte integrante del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social del país, y colaborar con el Ministerio de Agricultura y Ganadería y el Consejo Nacional de Desarrollo (CONADE) para actualizar ese plan;
- proyectar, estudiar, construir y explotar los sistemas de riego, por sí solo o en colaboración con otras instituciones;
- evaluar los recursos de agua del país con el Instituto Nacional de Metereología e Hidrología (INAMHI), efectuar un inventario y mantenerlo actualizado;
- estudiar y fijar las necesidades de agua para riego;
- conocer y autorizar las concesiones de uso del agua.

La Ley de Aguas de 1972 viene a reforzar la posición del Instituto al declarar el agua superficial y subterránea como bien nacional de utilidad pública y confiar al INERHI la administración de este recurso.

2. CONCEPCION GENERAL

El contexto legal anterior define entonces al Plan Nacional de Riego como una respuesta a un análisis socio-económico global.

La identificación, la caracterización y la jerarquización de acciones deberán orientar a quienes toman decisiones, y el calendario de ejecución de los proyectos, les permitirá respetar los objetivos nacionales fijados.

Durante la época del boom petrolero, la principal preocupación fue la de satisfacer la autosuficiencia alimentaria del país. Actualmente, la fuerte caída de los precios del petróleo y el endeudamiento externo han incitado al gobierno a buscar otras fuentes de divisas, una de las cuales constituye el incremento de la producción agrícola.

La jerarquización de acciones y la planificación de inversiones destinadas a su ejecución son en consecuencia elementos extremadamente variables que dependen de factores estratégicos y políticos estrictamente internos del Ecuador y por lo tanto difícilmente pueden ser objeto de una colaboración con un organismo extranjero.

Finalmente, al ser el INERHI ante todo una entidad técnica, no tiene la capacidad profesional ni institucional para llevar a buen término esta tarea.

Puede en cambio, para responder a sus atribuciones legales, elaborar instrumentos técnicos capaces de adaptarse a diferentes estrategias considerando el Plan como una serie de operaciones distintas y sucesivas:

- **Caracterización de las acciones posibles**

  Se puede considerar esta operación como la elaboración de una matriz en la que cada línea representa un proyecto y cada columna un parámetro. Esta matriz constituye un instrumento de apoyo a la decisión, independiente del Plan. Son la jerarquización y la toma de decisiones posteriores las que permitirán pasar de la matriz al Plan.

  La matriz de caracterización es entonces un instrumento permanente cuyos parámetros pueden ser especificados y reactualizados, con una flexibilidad que permite reducirlo o aumentarlo. Es sobre todo a través de la informática que se sacará provecho de esta versatilidad de utilización.

- **Preselección**

  Esta etapa marca el ingreso de los niveles de decisión (por lo tanto del CONADE) quienes deberán efectuar una primera selección, interviniendo principalmente a nivel de los parámetros indicativos (localización administrativa, tipos de producción posible, etc.) y según las orientaciones gubernamentales vigentes.

  Los datos restantes conformarán lo que se denomina la *Matriz de decisión.*

- **Análisis y jerarquización**

  La utilización de un modelo de análisis multidimensional facilitará la toma de decisiones en base a variados criterios, cuya importancia podrá ser modificada interviniendo a nivel del peso de cada uno de los parámetros. Esto debería facilitar la selección de los proyectos en los cuales la inversión pública favorecerá de la mejor manera el incremento de la producción de bienes comercializados y, consecuentemente, el aumento de los ingresos de los agricultores.

Los parámetros de caracterización serán establecidos a partir de diagnósticos científicos fundamentados en los datos reales del medio físico y socio-económico, datos que será conveniente recolectar en el terreno en la mayoría de los casos, y que vendrán a reemplazar los datos internacionales normativos, muy difíciles de trasladar a un país como el Ecuador.

II - GENERALIDADES SOBRE EL RIEGO EN EL ECUADOR

1. PRESENTACION DEL PAIS

La República del Ecuador está situada al Noroeste de Sudamérica, entre los paralelos 1° 20' de latitud Norte y 5° de latitud Sur. Se extiende desde el Océano Pacífico hasta la cuenca amazónica entre los meridianos 75° y 81° de longitud Oeste.

Aproximadamente 1.000 km al Oeste, las Islas Galápagos están distribuidas de un lado y otro de la Línea Equinoccial.

La superficie de su territorio es de algo más de 281.000 km² repartidos, de Oeste a Este, en tres grandes regiones naturales:

- La **Costa**, que comprende una franja litoral de 100 km de ancho en promedio. En sus partes occidental y noroccidental se eleva una pequeña cordillera que no supera los 800 m de altitud.

- La **Sierra**, que se caracteriza por la imponente barrera montañosa de la cordillera de los Andes, cuyo ancho varía entre 100 y 140 km.

  En la parte norte, se distinguen dos macizos (cordilleras Occidental y Real) bien separados por un callejón interandino de alrededor de 40 km de ancho y coronados por volcanes que superan los 6.000 m de altitud.

  En el Sur, las cordilleras pierden su individualidad y altitud (2.000 a 3.500 m).

- El **Oriente**, que está en gran parte constituido por la cuenca amazónica en donde se extienden grandes valles aluviales a veces pantanosos.

Sólo el 22 % del territorio es apto para la agricultura propiamente dicha; el resto está ocupado por las selvas vírgenes o los páramos (formación herbácea de alta montaña).

	miles de hectáreas	% superficie	% agrícola
Superficie cultivada	1.730	6,2	28,0
Pastos artificiales	25	0,1	0,4
Pastos naturales	4.433	15.7	71,6
Total superficie agrícola	6.188	22,0	100,0
Selvas y páramos	21.994	78,0	100,0

Uso actual del suelo en el Ecuador (fuente: MAG)

2. EL CLIMA Y LOS RECURSOS HIDRICOS: UNA DISTRIBUCION DESIGUAL EN EL ESPACIO Y EL TIEMPO

En un plano general, el Ecuador es un país dotado de un gran potencial hídrico. Las dos vertientes, tanto la oriental amazónica como la occidental pacífica, ofrecen suficiente agua para satisfacer los diferentes tipos de demanda. Sin embargo, la gran variabilidad del recurso en el tiempo y en el espacio provoca graves problemas caracterizados por una sucesión de sequías (callejón interandino) y de inundaciones (Costa).

La pluviosidad anual varía entre 100 y 5.000 mm.

La región amazónica y la parte norte de la Costa son las zonas más lluviosas y reciben más de 3.000 mm. Las precipitaciones están bien repartidas durante todo el año con una ligera disminución entre diciembre y febrero.

Desde el litoral hasta el piedemonte de la cordillera Occidental, las precipitaciones aumentan regularmente (menos de 200 mm a 3.000 mm). El régimen pluviométrico comprende una estación lluviosa de diciembre a mayo y una estación seca bastante marcada el resto del año.

En la parte sur, se observa una tendencia a la sequía que habrá de tenerse en cuenta en un proceso de planificación a mediano y largo plazo.

Finalmente, la región andina recibe alternadamente las masas de aire oceánico y amazónico que definen un régimen de dos estaciones lluviosas (de febrero a mayo y de octubre a noviembre). Los totales pluviométricos no son muy elevados (entre 800 y 1.500 mm) y pueden descender a 300 mm en los valles bien abrigados.

Por otro lado, el relieve muy marcado implica una amplia variación de la temperatura y ciertas partes cultivadas de la Sierra son afectadas por las heladas.

3. EL DESARROLLO DEL RIEGO EN EL PAIS: UNA HISTORIA ANTIGUA PERO UNA INTERVENCION RECIENTE DEL ESTADO

En razón de la distribución irregular de las lluvias, el riego ha sido practicado en el Ecuador desde hace muchos años, aunque en el marco de sistemas de reducida amplitud.

Parece incluso que los Quitus, antiguos habitantes de los alrededores de la actual capital, Quito, organizaron, a principios de la era cristiana, un sistema de administración del agua.

Luego, los Incas que dominaron la zona interandina del actual Ecuador entre los años 1460 y 1534, debieron establecer una considerable red de canales de riego de los que aún existen, aquí y allá, algunos vestigios.

Sin embargo, los colonizadores españoles destruyeron una buena parte de esas obras o las utilizaron en su beneficio, y aunque algunos sectores (en particular la Sierra) hayan conocido el riego desde comienzos de la época colonial, en realidad casi todas las obras que funcionan actualmente en el país fueron construidas en la época de la República, es decir durante los siglos XIX y XX.

La importancia de las obras de riego dependía entonces de la situación económica del propietario que las hacía construir, quien era igualmente propietario del agua y del sistema de distribución.

Es así como un número considerable de propietarios vendían el agua o la arrendaban a precios y en condiciones fijados por ellos mismos, explotando así a los agricultores.

Se han registrado casos de propietarios que no poseían tierras sino toda el agua y que con ello hicieron fortuna!

Esta situación cambió — al menos en el plano legal — a partir de 1972: la Ley de Aguas decretó que este recurso, bajo cualquier forma, era un patrimonio del Estado, y que su administración correspondía al INERHI.

En realidad, la intervención gubernamental en el riego se remonta a inicios del siglo XX: la primera Ley de Aguas (de 1936) trataba de sentar las bases jurídicas para una mejor distribución de los recursos hídricos; en 1944, una ley complementaria, la Ley de Riego y Saneamiento, atribuía al Estado la obligación de realizar obras de interés público, a través de la creación de una primera institución: **la Caja Nacional de Riego**.

A esta Institución no se le asignó sin embargo una atribución nacional en materia de planificación y control del uso de las aguas. En realidad, se comportó como una simple empresa pública de construcción sin preocuparse jamás de la agricultura, ni del desarrollo en general.

Fue apenas en 1966 que se creó el INERHI con la intención de confiarle la administración de las aguas en sus aspectos técnicos y jurídicos, y la tarea de definir una política del agua y planificar el acceso a los recursos hídricos.

Antes de la creación del Instituto, fueron constituidas entidades regionales de desarrollo a fin de promover la construcción de sistemas hidro-agrícolas propios.

Algunas de ellas funcionan aún y administran algunos de los principales sistemas de riego del país.

Por otro lado, algunos particulares han construido, por su propia iniciativa, gran cantidad de obras, desde simples canales con una toma rudimentaria en un río, hasta sistemas muy complejos como en el caso de las grandes explotaciones agro-exportadoras.

Es así como al menos los dos tercios de la superficie regada en el país corresponden a sistemas realizados sin ninguna intervención pública. Se observará igualmente un fuerte incremento de la superficie regada en el transcurso del siglo XX, sobre todo durante los últimos 30 años, período en el cual dicha superficie se ha visto prácticamente cuadruplicada.

año	superficie agrícola (miles de hectáreas)	superficie regada (miles de hectáreas)
1900	500	40
1954	2.080	112
1971	3.800	117
1981	5.820	426
1986	6.190	550

Evolución de las superficies agrícolas regadas en el Ecuador (incluye bosques y pastos artificiales)

4. LOS GRANDES PROBLEMAS DEL RIEGO EN EL ECUADOR

Los sistemas existentes han sido realizados sin tener en cuenta un control de planificación regional o nacional. Es normal entonces que las soluciones adoptadas no sean siempre las mejores y que los rendimientos agrícolas, así como los excedentes para comercialización, no respondan a las expectativas.

El INERHI trata de resolver este problema a través de su Departamento del Plan Nacional de Riego y Drenaje.

Antes de él, ninguna institución pública tenía tal tarea, de manera que ciertas decisiones eran tomadas bajo la influencia de presiones políticas, sin tener en cuenta las prioridades establecidas o el simple sentido común (disponibilidad de agua).

Además, el Estado no daba la atención necesaria al sector regado, en materia de inversiones.

A pesar de todo, los recientes esfuerzos desplegados sobre todo por los organismos regionales de desarrollo, han dotado al país de varios sistemas de riego de gran envergadura.

Hasta principios de los años setentas, se observaban los siguientes problemas principales:

- la ausencia total de planificación daba lugar a decisiones subjetivas e incluso a veces irracionales;
- la inexistencia de leyes en este campo (hasta 1972), acarreaba una situación jurídica inextricable;
- escasos recursos económicos y una dispersión de los programas en el seno de estructuras inadecuadas y que actuaban sin coordinación;
- falta de asistencia técnica y financiera para crear condiciones favorables al desarrollo de perímetros regados;
- estructuras de comercialización inadecuadas, etc.

A partir de 1970, algunas de estas deficiencias son corregidas principalmente con el nuevo criterio de « proyecto de desarrollo integrado », en donde el riego es considerado simplemente como un medio y no como una finalidad.

A más del incremento de las inversiones públicas y la creación de una planificación nacional, se constata una cierta redistribución de la propiedad de la tierra (efecto de la Reforma Agraria); al mismo tiempo, las cooperativas amplían su acción y la construcción de reservorios permite mejorar el funcionamiento de los perímetros regados.

Esto denota que el país ha tomado conciencia de la importancia del riego y de la necesidad de promoverlo.

Actualmente, la « demanda social » (artículos de prensa, delegaciones campesinas que se dirigen a la sede de INERHI) para obtener tanto derechos de agua como infraestructuras, se hace más fuerte; el incremento demográfico contribuye seguramente a ello.

Por otra parte, al parecer, lo existente funciona por debajo de su potencial y no faltan los problemas. Un rápido sobrevuelo del país y la compilación de la documentación existente permiten destacar los siguientes aspectos:

- El **riego público** parece sufrir de falta de agua debido, por una parte, a una sobre-estimación de los caudales disponibles (carencia de datos), y, por otra, al acondicionamiento de extensiones más grandes que las previstas inicialmente.

  Esto determina una gran variación de los caudales disponibles (600 a 20.000 m^3 por hectárea por año), para proyectos de características agro-climáticas similares.

  Por otro lado, el funcionamiento real de ciertos perímetros difiere del previsto en el diseño de los proyectos; por ejemplo, el riego nocturno, necesario en caso de alimentación insuficiente, es poco apreciado, y el uso de grandes caudales durante tiempos muy cortos con una baja frecuencia de turno de agua, no corresponde al dimensionamiento clásico de los terciarios (módulo = área x caudal ficticio continuo).

  Finalmente, los diferentes sectores de un mismo sistema pueden tener un ordenamiento bastante desigual según los cultivos practicados, las posibilidades de comercialización, la antigüedad de las explotaciones y la competencia de fuentes de trabajo (proximidad a las grandes ciudades).

- Las **redes privadas** se caracterizan por una mayor complejidad debida a su número y a su trazado; en consecuencia, los inventarios realizados son a menudo incompletos e inexactos, tanto más cuanto que el acceso a ellas es difícil y su control casi imposible.

  El examen, a nivel de un valle (río Mira), de los ratios caudales concedidos / áreas regadas pone en evidencia una gran variación (0,12 a 1,6 l/seg/ha) que las solas diferencias de cultivos no pueden explicar, revelando un desconocimiento de las áreas y caudales reales y/o una repartición desigual de los recursos.

  Por este hecho, las explotaciones parecen esperar ante todo un abastecimiento seguro (mejora de las tomas, atribución justa de dotaciones) y una mejor infraestructura (rectificación de los trazados, revestimiento de canales, etc.).

  Salvo estudios particulares (tesis, etc.), los datos agro-socio-económicos son inexistentes.

5. CONCLUSION: PUNTUALIZACIONES SOBRE LOS OBJETIVOS

Actualmente, es verdad que la mayor parte de los sitios ideales han sido acondicionados, especialmente en la Sierra. Todo nuevo sistema será cada vez más caro, en momentos en que, en un contexto de crisis económica y petrolera, el Estado debe cuidar sus recursos. Lo que es más, el terremoto del 5 de marzo de 1987 agravó la situación macro-económica del país y reforzó la necesidad de « enmarcar mejor » las acciones públicas de desarrollo.

Hasta ahora, el INERHI ha orientado sus esfuerzos principalmente a la extensión de las superficies regadas, mediante la construcción de nuevos sistemas cuyos resultados, positivos o negativos, poco conoce (no hay evaluación). Es tiempo de examinar si el mejoramiento de los sistemas ya existentes no permitiría obtener los mismos resultados con inversiones menores.

Extensión o intensificación, la opción no es nueva y es de actualidad en varios países y en otros continentes. Para efectuarla de manera realista, el INERHI debe poseer un instrumento que le permita juzgar objetivamente la situación de los proyectos existentes tanto públicos como privados.

La construcción de tal instrumento constituye el objetivo de la investigación en cooperación para el desarrollo que deberá proporcionar las bases científicas a los debates políticos sobre el riego.

En estas condiciones, los esfuerzos deberán dirigirse hacia el riego privado, por las siguientes razones:

- es un riego muy mal conocido;

- constituye y seguirá constituyendo la parte predominante de las superficies regadas (**más del 75 %**) y presenta, como tal, los mayores potenciales de desarrollo de la producción y de la población;

- está presente en todo el país y coexiste con las realizaciones públicas que, de algún modo, forman el último eslabón de una cadena histórica de sistemas superpuestos;

- en razón de la existencia de una fuerte tradición de riego, los productores saben regar, conocen las mejoras a ser aportadas a sus sistemas y probablemente están dispuestos a colaborar: es entonces justificado pensar que toda intervención, incluso de un monto limitado y que supere el marco de la irrigación en su sentido estricto, tendrá una rentabilidad marginal y un impacto muy importantes.

III - LAS UNIDADES ESPACIALES DE INVESTIGACION Y PLANIFICACION

Una política de desarrollo agrícola se apoya en el acondicionamiento de espacios caracterizados, que están igualmente adaptados a las decisiones.

Actualmente, se ejerce en unidades administrativas regionales o en proyectos locales.

Se intentará entonces concebir una unidad espacial adecuada que concuerde a la vez con los niveles de estudio y con los de decisión.

Se impulsará el estudio de niveles graduales para alimentar los diagnósticos realizados en base a estudios puntuales de terreno y pasar después a la planificación regional y luego nacional.

Son esos niveles que intentaremos examinar ahora.

1. EL NIVEL NACIONAL

El país está organizado en un gran número de cuencas hidrográficas en general bien diferenciadas, salvo en el litoral, donde fue preciso proceder a ciertos agrupamientos.

No todas tienen la misma importancia, los mismos recursos en agua ni las mismas necesidades; por ello, se deberá primeramente razonar por comparación de proyectos de una cuenca a otra.

Las transferencias hídricas entre cuencas hidrográficas serán consideradas posteriormente, si es necesario, después de un primer diagnóstico.

Esta problemática difiere totalmente de los sistemas de tipo « Tenessee Valley » o « Valle del Nilo », en donde toda intervención repercute en el conjunto de sistemas.

2. LA GRAN CUENCA HIDROGRAFICA

A este nivel, se encuentran sistemas dependientes (relación aguas arriba - aguas abajo) aunque también proyectos más o menos autónomos en los afluentes ramificados.

La cuenca hidrográfica es fundamental para el balance hidrológico global, pero es aún demasiado amplia para la aplicación de un proyecto único de acondicionamiento. Por otra parte, cada cuenca es muy heterogénea y contiene sectores de importante producción de agua y otros muy deficitarios, sin que estos últimos estén situados necesariamente aguas abajo de los primeros.

En el plano agro-socio-económico, la cuenca hidrográfica no es tampoco una unidad homogénea. Se encuentra en ella una gran diversidad de sistemas agrarios. Puede en cambio constituir un conjunto económico (fuente de empleo, polo de comercialización, etc.) que proporciona el marco general de la economía agrícola de unidades espaciales más pequeñas.

3. LA CUENCA VERTIENTE UNITARIA

Esta unidad hidrográfica de menor importancia ha sido definida en el marco de los trabajos realizados por el ORSTOM y el PRONAREG; se trata de cuencas vertientes de 50 a 120 km^2 en las cuales los factores condicionantes del régimen hidrológico varían poco.

En la Sierra, estas cuencas contienen una zona de alta montaña (a menudo superior a 3.000 m de altitud) productora de agua y una parte baja ampliamente acondicionada y que demanda gran cantidad de agua debido a un déficit pluviométrico muy marcado; se distinguirá a veces una parte intermedia de pequeños perímetros regados alimentados a partir de los afluentes laterales más cercanos.

A primera vista, la cuenca unitaria corresponde al acondicionamiento tradicional.

Podría entonces constituir la unidad de investigación y de reflexión sobre el acondicionamiento y el mejoramiento de los sistemas regados tradicionales, pues es a este nivel que se puede apreciar el balance entre la oferta y la demanda de agua, interesarse en la eficiencia de las infraestructuras y comprender la repartición de recursos entre grupos de usuarios, y, en resumen, emitir un juicio sobre el manejo colectivo del agua.

Desgraciadamente, las visitas de campo han demostrado que la cuenca unitaria no siempre corresponde a la unidad espacial básica de los sistemas hidro-agrícolas; existen transferencias importantes de agua sobre todo en las partes inferiores, en donde las separaciones entre cuencas no son muy marcadas.

4. EL PERIMETRO UNITARIO

Es una unidad explotada dependiente de una sola acequia y en donde el uso del suelo parece suficientemente homogéneo según la cartografía elaborada por ORSTOM-PRONAREG.

Cada cuenca unitaria cuenta con varios tipos de utilización que corresponden a diferentes perímetros unitarios.

Por ejemplo, la cuenca de Palacara (cuenca hidrográfica del MIRA) tiene su parte baja ocupada por un perímetro azucarero (hacienda) mientras que su parte intermedia es usada para el perímetro destinado a alimentos básicos de Cahuasquí.

El perímetro unitario corresponde bien a la noción de sistema agrario. Se trata de un cierto tipo de asentamiento humano cuya acequia lleva a menudo el nombre de *acequia del pueblo* en el caso del perímetro estrictamente campesino y *acequia* seguido de un nombre propio o de un lugar en el caso de las haciendas.

Esta unidad corresponde igualmente al tipo de administración del agua efectuado por el INERHI; teóricamente, cada acequia debe ser registrada oficialmente en el INERHI el que atribuye una dotación: existe entonces un embrión de banco de datos a este nivel.

5. LA ZARI
(ZONA DE ANALISIS Y RECOMENDACIONES PARA LA IRRIGACION)

Una unidad operacional de investigación y de planificación concebida después de la observación de varios sistemas hidro-agrícolas.

5.1. La etapa de concepción

La cuenca unitaria es la unidad fundamental de los hidrólogos; ella les permite estudiar las transformaciones lluvias-caudales y determinar el recurso agua.

En caso de modelización de una gran cuenca hidrográfica, constituye la unidad espacial elemental, la red en base a la cual se calcularán los balances de oferta y de demanda de agua .

El primer inconveniente surge en su definición: en calidad de cuenca vertiente, sus límites están definidos por la líneas de separación de flujo bien visibles en las partes montañosas, pero son bastante imprecisos cuando se llega al callejón interandino o se trabaja en la Costa.

Adicionalmente las cuencas de enlace han sido dibujadas para unir las cuencas unitarias entre sí, y constituir un entramado hidrológico completo de las grandes cuencas. Evidentemente, estas unidades adicionales respetan el sentido del drenaje, guardan las mismas dimensiones que las trazadas por ORSTOM-PRONAREG y tienen en cuenta las estaciones hidrométricas existentes.

Desgraciadamente, la mayoría están situadas en el fondo de los valles y reúnen entidades físicas y humanas a menudo diferentes.

Ahora bien, es en estas zonas en donde el riego es más necesario y está más desarrollado, captando una parte de los recursos hídricos de cuencas unitarias vecinas.

La primera idea ha sido admitir una prolongación de las cuencas unitarias para eliminar así las cuencas de enlace.

Sin embargo, los límites de riego seguían siendo difíciles de establecer a causa de la gran complejidad de las redes, caracterizadas por:

- **una muy fuerte densidad de canales** y de múltiples cruces (imbricación de redes de riego);

- **una falta de información confiable** sobre la localización de las tomas, los caudales que captan, los trayectos de los canales, las subdivisiones, etc.;

- **numerosas transferencias** entre cuencas, que hacen difícil la comprensión de su funcionamiento.

Frente a estos problemas, ha sido indispensable probar una unidad espacial con una definición clara y que tenga sentido, y con límites relativamente simples de identificar en el terreno.

La noción de ZARI intenta responder a este problema de entidad espacial y de límites claros. Su definición es la siguiente:

ZARI: unidad espacial de organización de la toma, del transporte y de la utilización del agua de riego.

Se trata entonces de una zona elemental en la cual se encontrarán las tomas, los canales y los perímetros regados. En el caso de dos cuencas unitarias yuxtapuestas, el límite corresponderá casi siempre a los ríos mismos, y en consecuencia, la ZARI estará formada de dos mitades de cuencas unitarias, aumentadas con una parte de la cuenca de enlace.

En otros casos, la ZARI estará limitada por una gran línea de cresta y por un río (media cuenca unitaria simple); a veces, habrá la misma correspondencia entre la cuenca unitaria y la ZARI.

El hecho de tomar como límites los obstáculos naturales adaptados a cada caso real, hace pensar que la definición de ZARI será válida tanto en la Sierra como en la Costa.

A pesar de todo, subsistirán algunas transferencias entre cuencas muy alejadas, pero el número de esos casos debería ser reducido.

5.2. Implicaciones para el análisis hidrológico

La discordancia entre cuencas unitarias y ZARI exigirá dos tramas diferentes para cada cuenca hidrográfica.

Sin embargo, como cada tipo de demanda (agrícola, hidroeléctrica, humana) está unida a la red hidrográfica mediante la toma de agua correspondiente, será relativamente fácil pasar del uno al otro.

Las demandas potenciales en cambio deberán ser asignadas a una cuenca unitaria para verificar la disponibilidad de agua y medir su impacto aguas abajo.

Al realizarse los estudios detallados de campo en las ZARI representativas, nos interesaremos también en las cuencas vertientes circundantes a fin de analizar las dependencias propias de cada toma de agua.

6. LA EXPLOTACION Y LA PARCELA

Estos dos últimos niveles no conciernen la planificación, pero son indispensables en los estudios de campo.

Es a través de encuestas sobre las explotaciones y de observaciones en las parcelas que se espera obtener las referencias técnicas necesarias para el análisis de las ZARI.

En cada ZARI representativa, se escogerá un perímetro específico en el que se estudiarán una o dos parcelas características. Estas parcelas corresponderán, en la medida de lo posible, a un campo (o porción de campo) ocupado por un sistema de cultivo bien definido, cuyos consumo de agua y productividad principalmente podrán ser evaluados en cifras.

El análisis de estos espacios graduales favorecerá la transferencia de resultados de la parcela a la ZARI, particularmente en lo concerniente a la evaluación de las necesidades y los consumos de agua, y a la estimación de productividades actuales y potenciales de los perímetros regados.

IV - LOS ESTUDIOS DE CAMPO

1. EL PORQUE Y EL COMO

Los perímetros unitarios y las ZARI constituyen los espacios privilegiados puesto que se adaptan a la vez a los estudios técnicos (espacios de acondicionamiento) y al concepto de planificación (espacios de decisión).

Sin embargo, no se pueden estudiar 500 ZARI sobre las cuales hay una falta alarmante de datos básicos, tanto descriptivos (localización, infraestructura, etc.) como analíticos (eficiencia de las redes, rendimientos agrícolas, seguimientos agro-socio-económicos, etc.).

Si los estudios de campo son entonces indispensables, se deberán realizar solamente sobre una selección de ZARI representativas, elección por demás delicada que se deberá efectuar a partir de datos e informaciones heterogéneos.

Restará finalmente transponer los resultados obtenidos en el terreno al conjunto de ZARI.

La idea básica es por lo tanto la siguiente:

- proceder a un reagrupamiento de las ZARI en función de todos los parámetros descriptivos encontrados (principalmente los resultados de ORSTOM-PRONAREG);
- determinar en el terreno los indicadores característicos de funcionamiento y tratar de unirlos a los parámetros descriptivos;
- transferir estos indicadores, por análisis de los elementos descriptivos o adoptando los resultados de campo de las ZARI similares; esta transferencia será ponderada en función de las características favorables o desfavorables;
- en caso de financiamiento exterior, se efectuará un inventario sistemático de los indicadores en cada ZARI.

2. LOS ELEMENTOS DE FUNCIONAMIENTO QUE PUEDEN SER TRANSFERIDOS

- **Primeramente, la circulación del agua**, que se apoya en tres enfoques: la disponibilidad de agua en la toma, el funcionamiento de la infraestructura y la sociología de la repartición del agua.

  Se estimará la primera a nivel de las cuencas unitarias.

  La segunda será evaluada mediante mediciones de la eficiencia en las acequias principales.

  La tercera en cambio constituirá un tema común a varias disciplinas; se recurrirá a las medidas de caudales en puntos estratégicos y a las encuestas agro-sociológicas.

- **En segundo lugar, el funcionamiento general de la agricultura** y sus cualidades técnicas tanto físicas (producción, rendimientos) como socio-económicas (producción, ingresos).

  Al estudiar los perímetros unitarios de las ZARI representativas, se espera inventariar el conjunto de los principales sistemas de producción actuales, revelar sus dinamismos y

sus principales limitaciones (enfoque agronómico a nivel de una muestra de parcelas, y enfoque socio-económico e histórico a nivel de una muestra de explotaciones).

Las encuestas explicarán las estrategias de uso del agua en función de la estructura de las explotaciones, de su evolución pasada, y de los objetivos que se plantean las familias involucradas: se elaborarán entonces cuentas de explotación que nos llevarán a las de las ZARI y, por transferencia, a las cuentas macro-económicas indispensables para la planificación.

Los seguimientos de las parcelas, realizados concretamente por los encuestadores contratados localmente, servirán para establecer las condiciones en que se cultivan los principales productos básicos que gozan de riego (maíz, papas, fréjol, arroz, etc.).

Se tomarán en cuenta los datos sobre el clima, el riego, el estado de la vegetación, el estado del medio (en el plano hídrico) y las intervenciones del agricultor.

Esta investigación permitirá instaurar en el terreno un ambiente de confianza, que permita después el establecimiento de cuentas « más reales » que las provenientes de simples encuestas agro-económicas.

- **Finalmente, el riego como factor de erosión**, será estudiado en colaboración con el equipo ORSTOM-MAG que trabaja desde hace algún tiempo en este tema. Las soluciones serán ensayadas en las parcelas experimentales que este equipo ya ha instalado.

  La importancia de este aspecto reside en el hecho de que, en el Ecuador, se riega en pendientes superiores al 50 %, mientras que la mayor parte de manuales de referencia excluyen todo terreno en donde la pendiente sea superior al 6 %.

La transposición de resultados no será una tarea fácil. Se propondrá siempre tolerancias que tengan en cuenta la realidad. Se abordará luego el objetivo operacional de trabajo: definición de los diferentes potenciales, evaluación de los mismos en términos de producción, de costos y de beneficios para los diferentes agentes involucrados en el desarrollo.

V - LOS POTENCIALES Y SU DEFINICION

Cada cuenca unitaria comprende generalmente varios perímetros unitarios, en los cuales se distinguirán cuatro tipos de potenciales.

1. DEFINICIONES

- **La extensión « externa »**

  El primer potencial que viene a la mente de los responsables del acondicionamiento, es el de extender la superficie regada a toda área potencialmente regable.

  Definir este potencial teórico significa interpretar los mapas de suelos ya publicados por ORSTOM-PRONAREG. Ello requiere, ante todo, la intervención de un pedólogo conocedor del país y de sus mapas.

- **La extensión « interna »**

  El segundo potencial, que corresponde a la observación de un geógrafo, consiste en regar las partes no atendidas en un perímetro ya acondicionado.

- **La intensificación « agrícola »**

  El tercer potencial, que corresponde a las observaciones de un agrónomo, es el mejoramiento de los rendimientos de cada cultivo.

  No se trata, sin embargo, de querer alcanzar las referencias establecidas en estaciones agronómicas en donde todas las condiciones son favorables y en donde los costos de producción y las limitaciones de mano de obra no son considerados.

  Con el tercero y cuarto potenciales, se intentará establecer, para cada sistema de cultivo, en función del tipo de agricultura (manual, tracción animal, mecanizada y grado de integración a los intercambios mercantiles), una productividad agrícola potencial (PAP), realista (tolerancias), en peso o en volumen de producción.

2. LOS POTENCIALES Y SU UTILIZACION

En realidad, cada ZARI (o conjunto de perímetros unitarios) dispone de una compleja capacidad de producción en la cual interfieren los cuatro potenciales anteriores.

No bastará con estimarlos para establecer una jerarquía necesaria para el Plan Nacional de Riego. Se deberá además pasar a las condiciones de exteriorización de esos potenciales, sin olvidar que todos los proyectos no pueden ser independientes.

La condición de su independencia será la de la disponibilidad de agua y su costo.

Las condiciones de exteriorización dependerán principalmente de las cuentas económicas de los perímetros y de las explotaciones, que nos llevarán a definir las condiciones imperativas (umbrales de rechazo de proyectos).

VI - CONCLUSION
UNA DIVISION EN VARIAS OPERACIONES

El proyecto de investigación multidisciplinario INERHI-ORSTOM se esforzará en presentar los elementos indispensables para la formulación de planes nacionales de riego realistas, evolutivos y modificables en función de las coyunturas nacionales e internacionales.

Los esfuerzos estarán principalmente orientados a la caracterización de los disfuncionamientos en el riego privado que es el más importante y el menos conocido.

La variedad de situaciones nos ha obligado a elaborar una unidad espacial que establezca el enlace entre la planificación y los diagnósticos de la situación.

Finalmente, la falta alarmante de datos básicos hace necesario realizar varios estudios de campo muy completos que servirán de referenciales técnicos para los diferentes temas abordados.

Para mayor claridad, se ha dividido el programa de estudio, muy complejo, en una serie de operaciones que son presentadas con sus diferentes componentes.

OPERACION A

Selección Razonada de Areas Significativas para el estudio de los Disfuncionamientos en el Riego Ecuatoriano
— CRASEDIE —

A_1 Delimitación de las zonas climáticamente secas y su estructuración en red de unidades hidráulicas (cuencas vertientes unitarias)

A_2 Selección de las ZARI representativas sobre las cuales se realizarán los estudios de campo

OPERACION B

Trabajos y Acciones Multidisciplinarias sobre la Agricultura de Terrenos Representativos del Riego Ecuatoriano
— TAPATRIE —

B_1 Delimitación exacta de las ZARI representativas, trazado de la infraestructura, esquema de funcionamiento, selección de perímetros y parcelas a estudiarse

B_2 Trabajos multidisciplinarios a nivel de la ZARI (conjunto de acequias y perímetros)

B_3 Trabajos multidisciplinarios sobre las unidades de uso del suelo y las explotaciones

B_4 Trabajos multidisciplinarios sobre las parcelas

OPERACION C

Localización, Organización y Caracterización del Riego Ecuatoriano
— LOCIE —

C_1 Localización y organización estructural, en base a la documentación existente y a datos obtenidos por foto-interpretación

C_2 Caracterización funcional en base a los datos de campo

OPERACION D

El Agua y su Manejo Racional: una Ayuda al Desarrollo del Riego Ecuatoriano
— EGRADIE —

D_1 Caracterización hidroclimática preliminar, análisis de los datos básicos, constitución de archivos operacionales

D_2 Cálculo de las demandas teóricas y confrontación con la realidad

D_3 Evaluación de los recursos de agua por modelización hidropluviométrica

D_4 Balance entre la oferta y la demanda de agua por gran cuenca hidrográfica

OPERACION E

Observación de los Cambios Agrícolas y Socio-económicos en las Zonas Regadas Ecuatorianas
— OCASEZIE —

E_1 Metodología del diagnóstico sobre la repartición del agua en las ZARI e investigación sobre el mejoramiento de los turnos de agua

E_2 Dinámicas agrarias en torno a los acondicionamientos hidro-agrícolas (perspectivas históricas)

E_3 Determinación de las producciones agrícolas actuales y potenciales en cada ZARI

E_4 Evaluación *ex-post* de un proyecto público de riego; comparación con una situación vecina « fuera de proyecto »

E_5 Establecimiento de cuentas macro-económicas por ZARI

OPERACION F

Estudio Pedológico Orientado a los Problemas de Riego en Ecuador
— EPOPIE —

F_1 Caracterización hidrodinámica de los diferentes tipos de suelo por tratamiento de muestras en laboratorio.

F_2 Delimitación de las zonas potencialmente regables y elaboración de un banco de datos por ZARI y cuenca con sus características precisas.

OPERACION G

Estudios de los Fenómenos de Erosion Ligados al Riego en Ecuador
— EPELIE —

Estudio de los parámetros que intervienen en la degradación de los suelos por efecto del riego mal manejado.

Esa operación debía llevarse a cabo en colaboración con el equipo MAG-ORSTOM que trabajaba sobre la erosión desde algunos años. No ha podido realizarse pero el aspecto erosión-riego queda un tema de actualidad que deberá analizarse en el futuro.

OPERACION H

Tratamiento de los Archivos Históricos Relativos al Riego en Ecuador
— TAHRIE —

H_1 Elaboración de un catálogo sobre juicios de agua y de un banco de datos por cuenca con el resumen de cada juicio.

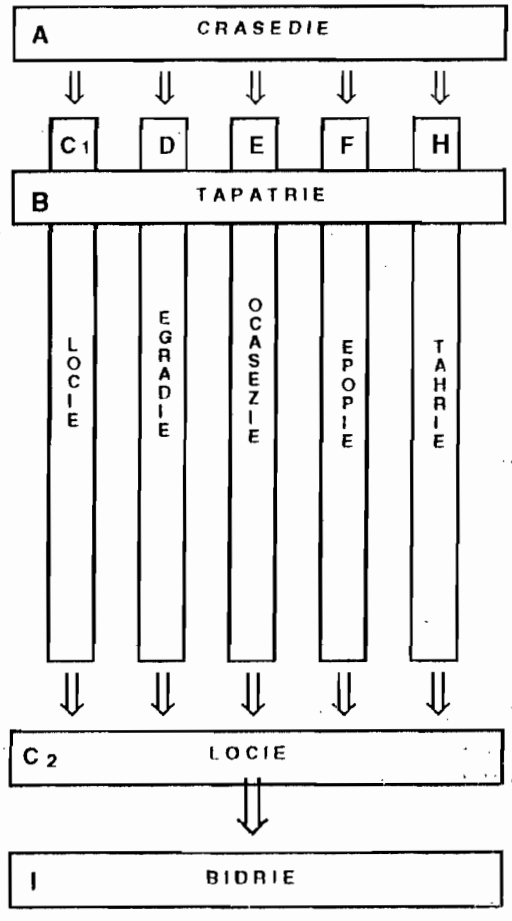
H_2 Evaluación del desarrollo espacial del riego desde la colonización hasta hoy en día, de las etapas de construcción de las acequias y de los cambios en la propriedad de las aguas.

OPERACION I

Banco Informatizado de los Datos Relativos al Riego en Ecuador.
— BIDRIE —

Organización, en archivo informático, de los datos descriptivos y analíticos provenientes de las operaciones anteriores y análisis integral para la formulación de recomandaciones.

Estas diferentes operaciones se articularán según el siguiente esquema:



Después de un primer análisis (A) que apunta a circunscribir las zonas de estudio y de campo, las diferentes operaciones temáticas (D, E, F y G) tratarán de encontrar los indicadores de funcionamiento relativos a su área de aplicación, apoyándose en los estudios de terreno (B), previstos en las ZARI representativas.

Esas operaciones intentarán entonces en la medida de lo posible, relacionar las ZARI con parámetros descriptivos, fácilmente accesibles.

La primera parte de la operación C (C_1) reunirá todos los elementos descriptivos obtenidos por compilación de la información existente o por foto-interpretación. Requerirá también de los trabajos de campo para verificar la tarea de los foto-intérpretes y para perfeccionar el análisis de imágenes del satélite SPOT.

El cálculo de los diferentes indicadores se realizará en la componente C_2 de la operación C; los faltantes serán completados ya sea mediante un inventario sistemático o por analogía con zonas afines.

Finalmente, todos los datos anteriores serán ordenados en un banco computarizado (BIDRIE). Este deberá ser concebido para facilitar las correcciones necesarias y el intercambio de información con las agencias del INERHI.

Com :
III er Seminario " Infraestructuras hidroagrícolas y sistemas de producción "
Dirección de Sistemas Agrarias
DSA/CIRAD, Montpellier, 16-19/12/86, pp 511-518.

APUNTES ACERCA DE LA THESIS DE P. A. MOTHES, 1986 " PIMAMPIRO'S CANAL : ADAPTATION AND INFRASTRUCTURE IN NORTHERN ECUADOR ".

Thesis masters of arts, univ. of Texas, Austin, 247 p.

por Thierry Ruf*

RESUMEN

P.A. MOTHES es una joven geógrafa norteamericana, alumna de G. KNAPP, universitario norteamericano conocido por sus trabajos sobre la historia de los acondicionamientos hidro-agrícolas antiguos en el Ecuador. Trató de informar sobre el uso de un recurso escaso en el norte del Ecuador, el agua, en una suerte de monografía de una acequia famosa por su antiguedad (su existencia es conocida en el siglo XVI) y que permite regar 600 hectáreas explotatadas por 400 usuarios. El estudio se apoya en dos meses de campo, durante los cuales siguió de manera sistemática el recorrido de la acequia principal y de sus ramos, conversando con los principales actores de la administración y uso del agua. Añadió datos quantitativos a las informaciones qualitativas, pruebas de infiltración para apreciar la eficiencia de la acequia, y análisis de suelos para reforzar la hipótesis del aporte fertilizante del agua de riego.

Nota Bene

En este texto, nuestros comentarios aparecen en bastardilla para poder distinguirlos de las informaciones alegadas en la tesis de MOTHES. Igualmente, las figuras 1 y 4 corresponden a MOTHES, mientras que las figuras 2, 4 y 5 resultan de nuestras reflexiones después de leer su texto, el cual constituye más una descripción minuciosa de las estructuras e infraestructuras que un análisis del funcionamiento de los sistemas observados.

* Agro-economista, Misión ORSTOM, Apartado 17.11.06596, Quito - Ecuador

1. Situación del "sistema agrario" que corresponde a la red de la acequia principal, llamada "acequia del pueblo".

PIMAMPIRO es una pequeña cuidad de la cordillera oriental, en el norte de los Andes ecuatorianos (fig. 1, mapa de ubicación). El clima sub-húmedo de esta región varía en función de la altitud. La pluvionetría alcanza 1000 mm a 3000 m de altitud, pero se reduce a unos 500 mm a 2000 m de altitud. Está repartida en dos estaciones de lluvias, separadas por una estación seca muy intensa de junio a septiembre (el verano) y una pequeña estación seca en diciembre-enero (el veranillo).

La acequia del pueblo pasa justamente por este gradiente de altitud 3000-2000 m. Bajo 3000 m de altitud, el ETP mensual es casi siempre superior a las precipitaciones. Las formaciones vegetales naturales se suceden de la manera siguiente :

Alt.>2900 m Lluvia>1000 m	**2900-2500 m**	**2500-2000m**	**2000-1600 m <500 mm**
Bosque muy húmedo montaña	Bosque húmedo de montaña	Bosque seco de baja montaña	Bosque seco de pre-montaña

Dos comunidades que representan más o menos 15 000 personas viven en las tierras atravesadas por la acequia (fig. 2). La comunidad indígena de Mariano Acosta vive en el límite de la zona pluviosa de altitud pero, aunque está atravesada por la acequia, sólo dispone de derecho de uso del agua para comodidades domésticas (fig. 2, esquema de ubicación). La agricultura pluvial se desarolló más allá de 3000 m hasta los límites del Páramo (formación herbosa de alta altitud).
Los indígenas de Mariano Acosta tienen una producción agrícola de auto-subsistencia (cereal y papa) por no tener acceso al riego y a los pisos inferiores donde se puede practicar una agricultura mercantil. Sin embargo, los habitantes de esta localidad no viven en autarcía, los hombres buscan actividades remuneradoras en las grandes haciendas de los valles de los alrededores y quizas aun de la costa (la costa Pacífica donde se desarolló una economía de plantaciones agro-industrilaes en el siglo XX).
Los indígenas de Mariano Acosta, muy organizados en el plano político, orgullosos de gozar de cierta autonomía, sólo mantienen relaciones conflictivas con los habitantes de Pimampiro ya que desearían aprovechar el agua que pasa justo delante de sus casas.

A quinze kilómetros de allí, y cerca de 800 m más abajo, los mestizos de Pimampiro comparten el agua imprescindible para la práctica de la agricultura con algunos hacendados o propietarios de grandes dominios. Organizados en "juntas del agua", reivindican exclusivamente para ellos el derecho de uso del agua, apoyandose en un texto jurídico de 1795 que delimitaba la zona de riego de la acequia.
Allí, se cultivan una gran variedad de plantas, fréjoles, tomates, guisantes, cebollas, pepinos, fresas, limones, ... etc, especulaciones comerciales por excelencia, junto a cultivos más tradicionales, el trigo, la cebada, el maíz, la papa y la caña de azucar.

Así, el sistema agrario de Pimampiro no se parece a los tipos de organización inventariados por BRUSH (1977), es decir el tipo "archipélago" (organización de largas migraciones para procurarse productos que sólo existen en estas zonas lejanas), el tipo "extended" (largos valles sin mucha diferencia de altitud), o el tipo "compressed" (valles cortos con muchas diferencias de altitud, donde cada campesino dispone de parcelas en los diferentes estratos de cultivo).
En Pimampiro, al contrario, cada campesino sólo cultiva a un solo nivel con uno o dos campos ubicados a menos de treinta minutos de su casa.
En cambio, en Mariano Acosta, cada uno quisiera cultivar cerca de su casa pero la presión sobre la tierra es tan importante que los jovenes deben cultivar a más de una hora de caminata, hacia el Páramo (1).
Tenemos pues el caso en que dos comunidades distintas ocupan dos pisos bioclimáticos diferentes pero concomitantes. Un análisis histórico rápido permite aclarar este punto.

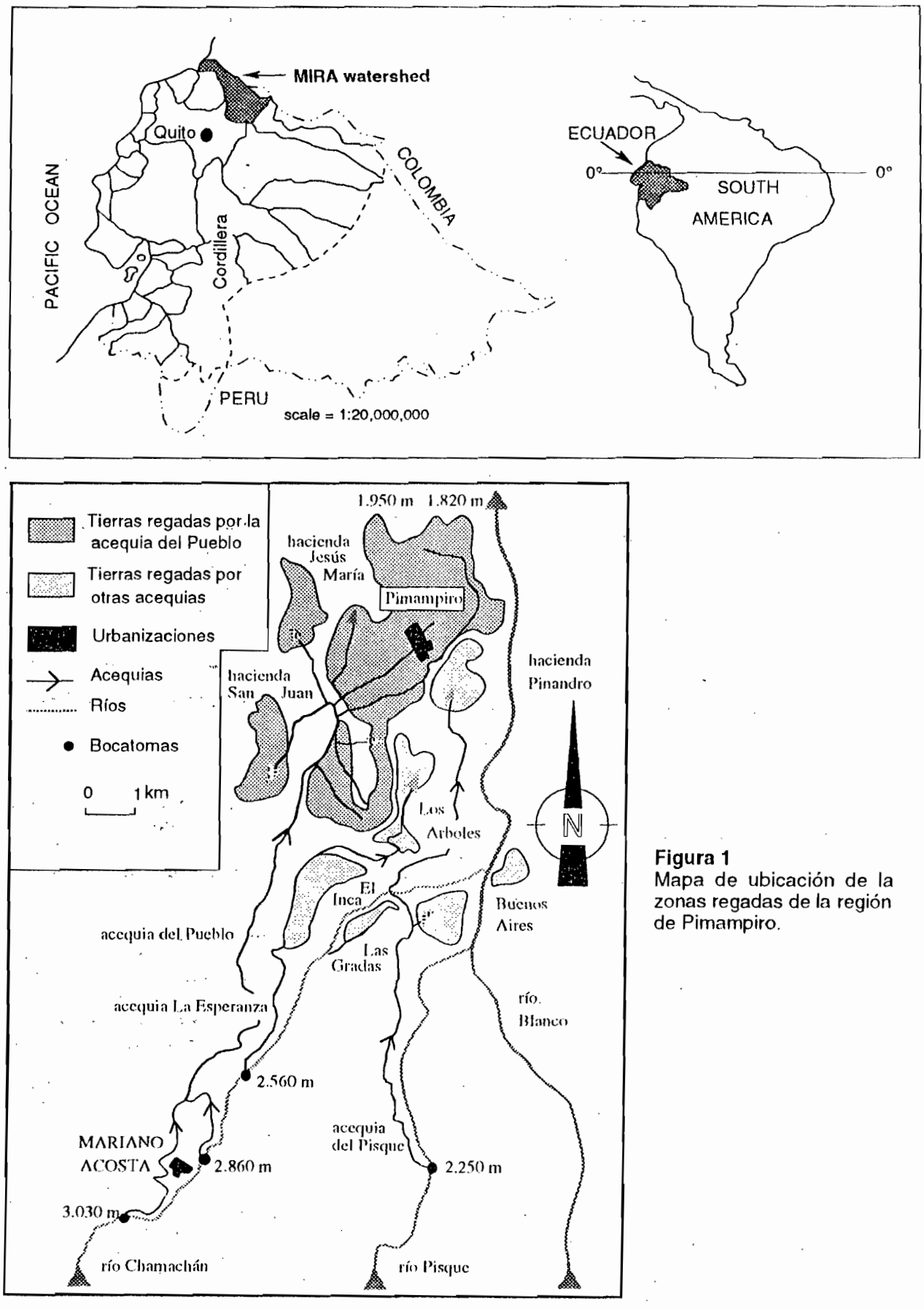


Figura 1
Mapa de ubicación de la zonas regadas de la región de Pimampiro.

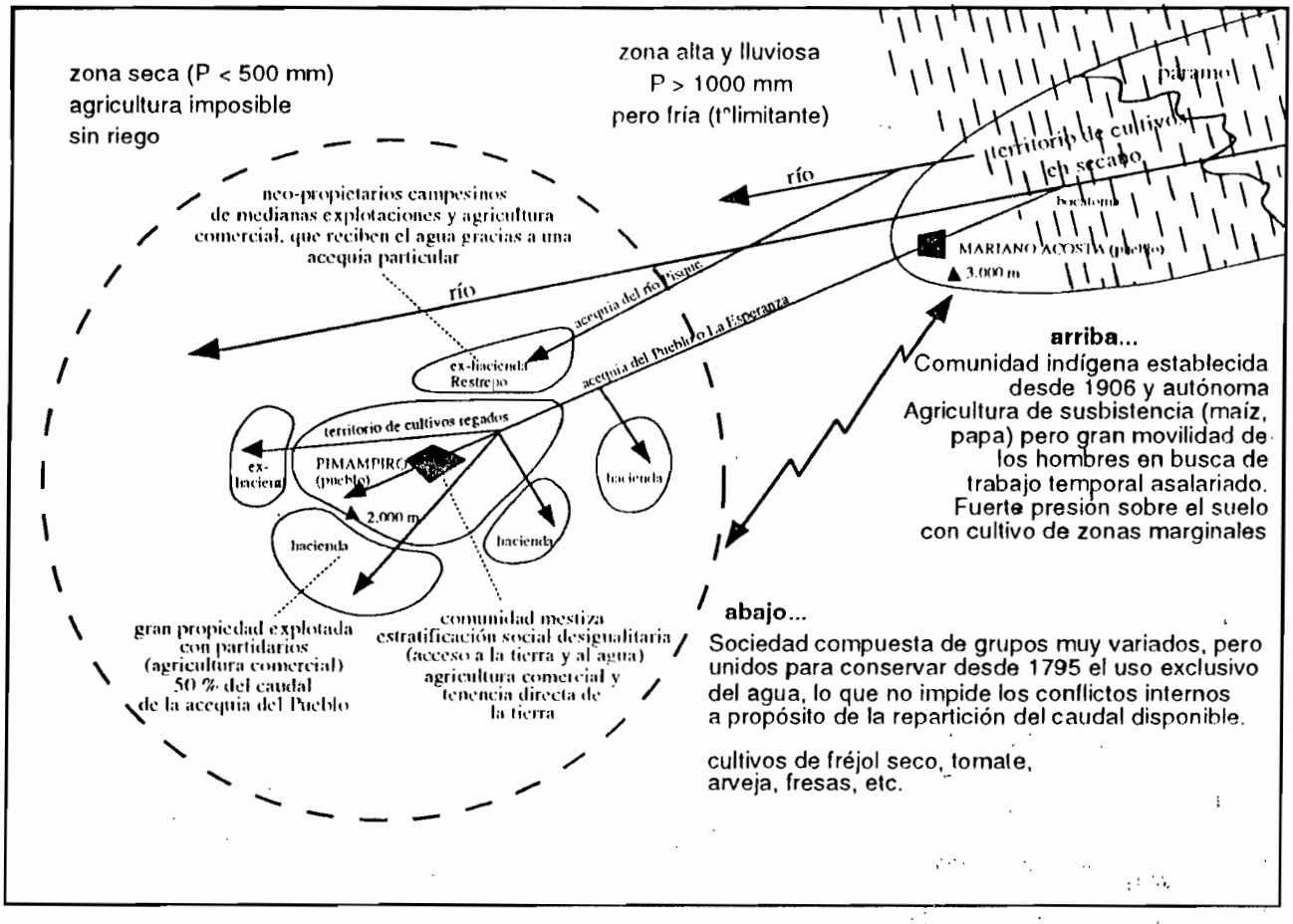


Figura 2 - Representación de los diferentes grupos de usuarios en la zona regada de Pimampiro.

2. Un poco de historia...

En el siglo XVII, los jesuitas y los dominicanos se habían otorgado todas las tierras del valle organizando una migración masiva de onze mi indígenas hacia la costa, donde se murieron de enfermedades diversas. La población indígena que quedaba, debilitada, ya no podía proveeer mano de obra a los religiosos. Pero estos recurrieron a la importación de esclavos negros (sus descendientes siguen viviendo en márgen de los indígenas).

En 1767, los religiosos fueron expulsados y las tierras fueron concentradas en grandes haciendas privadas. Tenemos desde entonces el sistema muy famoso en el Ecuador de los "huasipungeros" (2) y de los "partidorios" establecido por los hacendados para explotar sus propiedades inmensas. Entre ellos, la familia TOBAR consigue concentrar cada vez más tierra dedicada al cultivo extensivo de cereales hasta 1929 cuando una succesión conduce al desmantelamiento y a la venta de las partes de los herederos a ricos negociantes entre los cuales algunos colombianos.

Entre estos últimos, un denominado RESTREPO compra en 1945 una hacienda de Pimampiro; el conjunto de sus propiedades alcanza 9000 hectáreas. Abandona el sistema de cereales extensivo. Reivindica enérgicamente su modernismo y se declara partidario de una agricultura mecanizada. Ya que sus tierras no disponen de agua en cantidad suficiente, ordena la construcción de una acequia "personal" de quinze kilómetros e introduce la técnica de la aspersión por sprinklers. Aprovechando el trabajo de adaptación del cultivo del tomate realizado en el valle por un italiano, Restrepo hace de eso su especulación principal, le provee un "label" (el tomate Pimampiro) y comercializa su producción en el Ecuador y en Colombia. La demanda crece y se diversifica y, finalmente, el fréjol seco se va convertir en la especulación principal en Pimampiro, en todas las clases de explotaciones. Pero Restrepo quiebra en 1972 y sus bienes son vendidos a los pequeños campesinos, a los ex-huasipungeros, etc...

En cuanto a la hacienda original de los Tobar, o lo que queda de esta, la reforma agraria la entregó a una cooperativa de campesinos. En adelante, sólo queda un verdadero gran hacendado, ROMAN, quien tiene un derecho de fiscalización sobre la acequia del pueblo, ya que él solo goza de la cuarta parte del caudal disponible. Sigue existiendo un contraste importante entre las tierras parceladas indígenas de Pimampiro y las tierras de las haciendas, aunque unas como otras son regadas.

En este resumen histórico, todavía no hemos hablado de Mariano Acosta. Estas tierras altas habían sido abandonadas en el siglo XVII, o quizas antes. Habían sido incorporadas a las propiedades de los Tobar pero en 1906, un movimiento de colonización indígena, que proviene de la región sur de la ciudad vecina de Ibarra vino a apoderarse de estas tierras y se mantuvo en éstas a pesar de los esfuerzos de los Tobar para echarlo. Los conflictos entre comunidades son latentes ; el último en 1982 tuvo como motivo la reforma administrativa que hacía depender a Mariano Acosta del nuevo cantón de Pimampiro, cuando los vínculos de origen habían unido a Mariano Acosta con Ibarra. Las roturas de cañería de agua potable y los desbordamientos de la acequia fueron numerosos.

De esta manera, esta pequeña región, cuya infraestructura de riego parece muy antigua, presenció, a lo largo de estos tres últimos siglos, toda clase de movimiento agrario (es decir vinculados con la conquista, con la apropiación y con la defensa de su derecho sobre la tiera), de orígenes indígenas, mestizos, jesuitas, esclavos negros, latifundistas, minifundistas, indígenas reconquistadores, grandes negociantes, cooperativistas y pequeños campesinos propietarios, movimientos que hoy en día se encuentran representados en las dos comunidades geográficas, la de arriba, la de abajo y que subdivisa sobre todo la comunidad de abajo. Para simplificar, abajo, están unánimes para reivindicar el agua y no ceder a los de arriba, pero cuando se trata de la gestión del agua en Pimampiro, las competencias entre usuarios aparecen claramente. Antes de ver como funciona la "junta del agua" y de que manera resguarda los conflictos, sigamos a P.A. MOTHES en su descripción de la infraestructura.

3. Una infraestructura tradicional y modernizada, adaptada

Es casi imposible certificar que la acequia que hoy en día existe sigue exactamente el trazado de la acequia catalogada por los primeros exploradores colonos en el siglo XVI. En efecto, el trayecto que toma una vía de agua pasa por sitios particularmente accidentados ; allí, frecuentemente, se producen derrumbes cuyas intervenciones deben ser rápidas y a veces se necesita volver a diseñar el recorrido de la acequia. Entre Mariano Acosta y el principio de la zona regada, existen al menos onze túneles de algunos metros hasta varias dezenas o centenas de metros que permiten evitar los sectores más frágiles en el plano erosivo.

Desde la toma de la acequia, más arriba de Mariano Acosta y a lo largo de su recorrido, la vigilancia está asegurada por "aguateros" (o conductores de acequia - ver comunicación sobre la acequia de Manosque en este mismo seminario), cuyas funciones son las de asegurar diariamente, día y noche, la llegada del agua en la zona de riego (fig. 3).

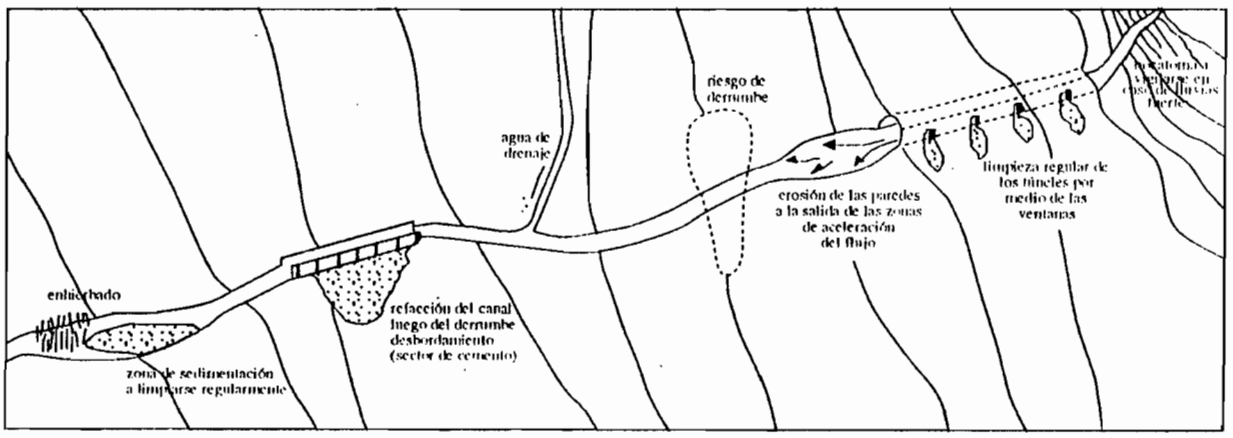


Figura 3 - Trabajos de realizar a lo largo de la acequia, desde la toma hasta los primeros usuarios.

La toma de la acequia del pueblo, cementada desde 1976, permite captar unos 130 litros por segundo en tiempo normal, pero en cuanto se produce una lluvia bastante importante, el aguatero responsable debe acudir al lugar y regular la entrada del torrencial de agua para no sobrecargar la obra. Río abajo, la acequia recibe de Mariano Acosta un aporte adicional que fija su caudal en unos 200 litros por segundo. Si, a lo largo de los quinze kilómetros de recorrido se producen algunas infiltraciones, éstas están compensadas por pequeños aportes, a menudo bajo la forma de agua de drenaje de los páramos o de algunas parcelas aisladas ubicadas más arriba de la acequia. La acequia del pueblo también tiene algunos sectores cementados que corresponden a las zonas que experimentaron un comienzo de erosión en forma de lupa, muy característico en los Andes ecuatorianos. Si el suelo se humedece durante demasiado tiempo, se vuelve pesado y acaba deslizándose en un subsuelo impermeable, llamado "cangahua" (literalmente mala tierra en quichua).

Finalmente, la infraestructura maestra parece antigua, pero las intervenciones constantes y la modernización de 1976 le aseguran una eficiencia relativamente buena.

Según MOTHES muchas acequias de los Andes no funcionan tan bien (4).

De esta manera, la mitad del caudal llega a las haciendas privadas (y a la cooperativa) y la otra mitad es repartida entre los campesinos. En este último caso, cada acequia secundaria está dotada de un caudal contínuo de seis litros por segundo desde 1976 y el turno de agua está organizado entre sus usuarios (fig. 4). Cada uno tiene derecho, según un reglamento establecido por la "junta de agua", a sacar, cada siete días y con un horario fijo, el caudal de seis litros por segundo durante una duración dada pero no escogida. Este tiempo depende en particular del estatuto adquirido, de los derechos de agua heredados, eventualmente de los arriendos de hora de riego por una persona que no riega. A la hora fijada, y bajo el control eventual del aguatero, el usuario obstruye la acequia secundaria con una "chamba", simple mata de hierbas, y el agua se dirige hacia su propiedad.

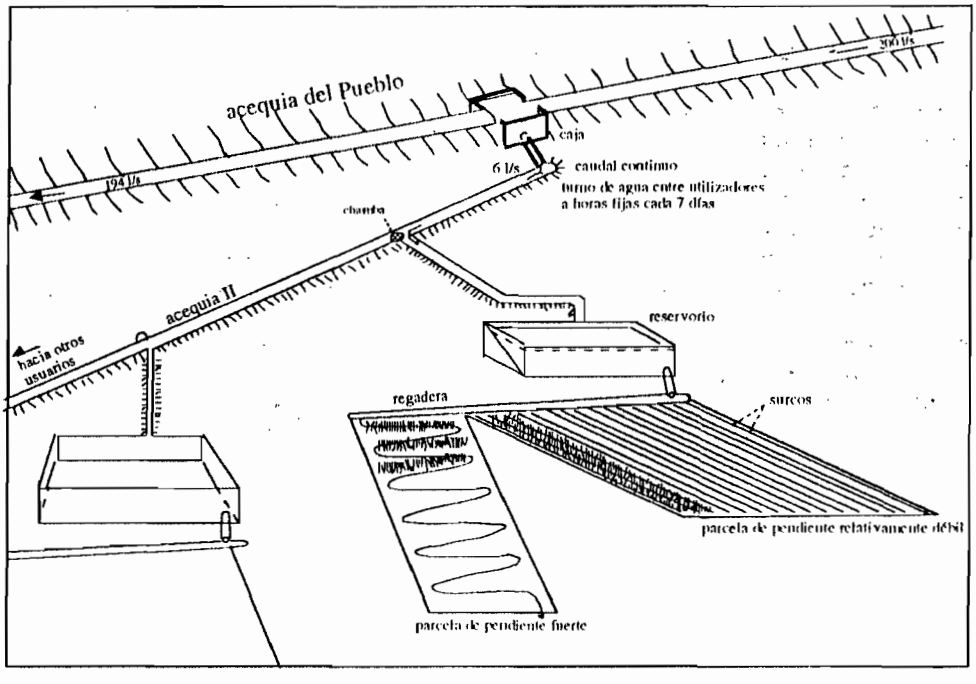


Figura 4 - Infraestructura y turno de agua en un canal segundario.

Lo que parece original en Pimampiro, no existe en otra parte o sino, en pocos casos con respecto a los otros usuarios, es la presencia casi sistemática de un tanque intermedio cavado en la cangahua, el cual permite generalmente almacenar su dotación y extender su riego. La cosa es tanto menos importante cuanto que la periodicidad de siete días (y no 150 horas como en la acequia de Manosque) obliga la mitad de los campesinos a recibir el agua durante la noche (5). El tanque facilita mucho el trabajo permitiendo aplazar el riego hasta la madrugada.

En fin, el agua llega hasta las parcelas. Todas están en pendiente más o menos fuerte, entre 10 y 40 %. Según la importancia de ésta, el campesino escogerá hacer surcos de riego paralelos en el sentido de la pendiente, respetando a veces más o menos las curvas de nivel y si esta curva es realmente pronunciada, adoptará un sistema de riego espectacular en zig-zag.

4. La reglamentación, los conflictos y los arbitrajes

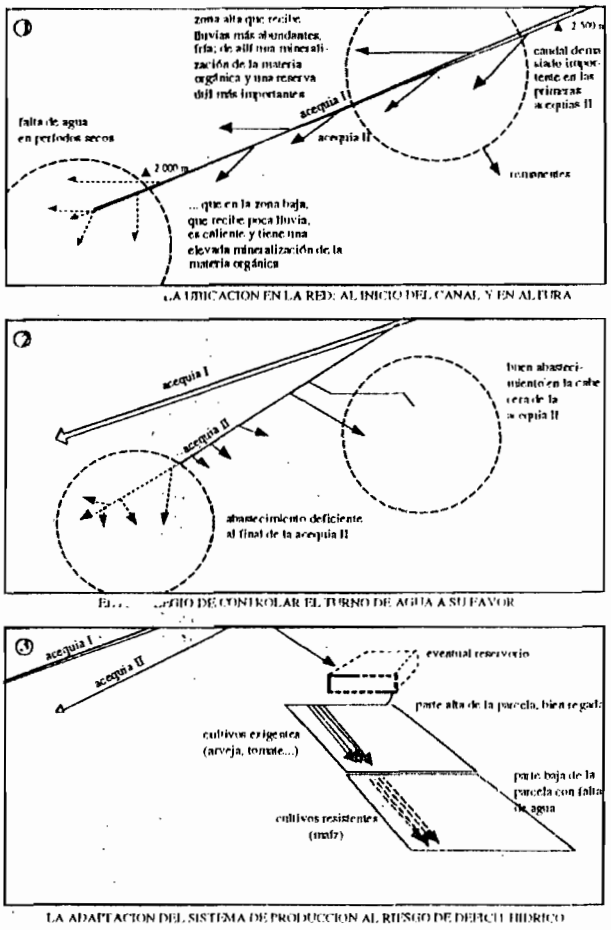


Figura 5 - Tres escalas de análisis de la repartición del agua .... y de la falta de agua.

Cuando se habla de red como la de Pimampiro o como la de Manosque, la atención debe ser dirigida hacia la realidad de llegada del agua.

Se pueden distinguir tres escalas de análisis de la llegada del agua... o más bien del análisis de escasez de agua (fig.5).

En primer lugar está el privilegio de la situación del usuario en toda la red. (cuadro 1).

A menudo los caudales de los distribuidores (acequias secundarias) son más superiores en el principio de la red que en el final.
Pero en el caso andino, este privilegio tiene otra ventaja : la ventaja de estar ubicado a una altitud más elevada y de beneficiarse de lluvias más abundantes y de una reserva útil teoricamente superior a lo que puede ser más abajo.

La segunda escala de análisis concierne al grupo del turno de agua.

Allí también, la ubicación en la acequia secundaria juega un papel favorable o desfavorable (cuadro 2).

En fin, la falta de agua debe ser comprendida en escala de la explotación y de sus parcelas para saber de que manera los campesinos administran el déficit. Hay que recordar al respecto que el caudal disponible sólo es de 200 litros por segundo cuando 600 hectáreas están regadas : lo que significa que el caudal disponible tiene un promedio de 0,33 litros por segundo y por hectárea. Estamos lejos del caudal ficticio contínuo de un litro por segundo y por hectárea generalmente tomado en cuenta como valor correspondiente a las necesidades de las plantas en fase de plena vegetación. Es verdad que en la situación andina, las necesidades podrían ser menores, más o menos medio litro por segundo y por hectárea.
A pesar de todo, muchos campesinos padecen una falta de agua. El cuadro 3 de la figura 5 muestra, como ejemplo, una de las posibiliaddes de reaccionar : adaptaría su sistema de producción escogiendo un sistema de cultivo exigente en la parte alta de sus campos, y un sistema de cultivo resistente a la sequía en la parte baja. (esto vale como hipótesis personal).

En Pimampiro, el primer caso (cuadro 1, fig. 5) fue teoricamente eliminado por la rehabilitación de 1976, hecha con el apoyo del INERHI. Cada acequia secundaria recibe un caudal contínuo normalmente equivalente a 6 litros por segundo.

La realidad evidencia dos fuentes de "errores". Lo constante es el diametro del tubo de toma de la acequia secundaria, pero si la carga varía en la acequia, el caudal también varía. De vez en cuando, los aguateros deben sacar piedras grandes en las cajas de repartición que se cayeron allí justamente para aumentar la carga y por consecuencia, el caudal (hay otras maneras de llegar a esto dejando caer pedazos de plástico o hojas que obstruyen las rejas, etc...)

Pero hay que subrayar que este tipo de modificación es limitado y no tiene consecuencia mayor. Si se observa bien la red de la acequia del pueblo, al contrario del "modelo", son los usuarios "de abajo" los que se atribuyen más caudal, pero no cualquier usuario : los propietarios de haciendas (o la cooperativa) tomaron la mejor parte.

El secundo caso existe frecuentemente : se trata de conflictos de vecindad que se traducen por el no respeto de las horas, y de manera concreta, por el hecho que un usuario pierde mucho tiempo en subir a lo largo de la acequia para retirar la "chamba" del recalcitrante. Este tipo de problemas es arbitrado en cada reunión semanal del "consejo de administración de la acequia", es decir de la "junta de agua".

Se trata de una estructura de gestión jurídicamente cercana de nuestra "asociación ley de 1901". Los usuarios son los miembros. Elijen el presidente, el tesorero, etc...
Cada semana, los dirigentes de la junta escuchan el informe del jefe-aguatero y enfocan los problemas planteados por los usuarios presentes (en general en cuanto a un conflicto). Por otra parte, una reunión anual permite fijar las fechas y el núnero de participantes en los trabajos de mantenimiento de la acequia (en general, 400 personas movilizadas durante 4 o 5 días).
A parte de esta mobilización en fuerza de trabajo (6), la junta cobra una canon fijado a 36 sucres (7) por período de una hora de uso para los campesinos, a 56 sucres para las haciendas, lo que permite pagar a los aguateros y enfrentar los gastos ordinarios. Este costo del agua es muy marginal en la estructura de los gastos de los campesinos (una estimación aproximada da más o menos 2 % del producto bruto).
Cada usuario paga en promedio 1250 sucres, lo que corresponde a cinco jornadas de obreros agrícolas jornaleros, pero si se toma en cuenta la mobilización en trabajos, equivale a diez días de trabajo que rinde un campesino para disponer del agua en una hectárea y media o dos hectáreas (8).

5. De la solidaridad a la estratificación socio-económica...

A pesar de este buen funcionamiento relativo, MOTHES subraya que no existe solidaridad. Fuera de su parcelle, el campesino no se interesa por la acequia, al menos de manera cuotidiana. Los aguateros se quejan de esta situación ya que se añaden muchos pequeños despilfarros y hay que esperar su intervención, cuando un campesino u otro, ubicado cerca del derrame podiá rapidamente remediar con esto.

Es verdad que esta solidaridad sólo puede expresarse en un marco social difícil, ya que los grupos en presencia son históricamente rivales.
Si la rehabilitación borró ciertos abusos de situación, los privilegios fueron mantenidos como lo muestra la gran disparidad de las horas de acceso al agua, por una parte entre campesinos y haciendas, y por otra parte dentro del mundo campesino. No se trata de diferencias menores.
En un caso, el usuario puede cultivar durante la estación seca, a pesar de que sufran las plantas y que el rendimiento sea inferior a lo que podría ser durante la estación de cultivo normal, es decir centrado en el invierno y la primavera pluviosos. El hecho de mucho desplazar el ciclo de cultivo permite obtener una producción cuando los cotizaciones son más elevados.
Al contrario, los que no disponen de un número de horas suficiente para intentar el cultivo de verano no obtienen ingresos importantes.

Así, las haciendas y los campesinos-comerciantes de la ex-hacienda Restrepo, a los cuales se añaden los ricos campesinos del pueblo de Pimampiro pueden acaso practicar dos cultivos anuales, al menos en una parte significativa de sus propiedades.
Los otros esperan el retorno de las lluvias en octubre para sembrar toda su superficie (9). Hay que tomar en cuenta otro elemento para explicar esta diferenciación : sería la escasez de fuerza de trabajo en las pequeñas explotaciones que volvería dificil el paso al doble cultivo, ya que hay que cosechar rápido, liberar la parcela y prepararla sin demora para el cultivo siguiente.

Esta rapidez de ejecución necesitaría el recurso a los jornaleros agrícolas, y por consecuente, una tesorería adecuada.

6. La contribución de la acequia del pueblo al funcionamiento de los sistemas de producción

La primera contribución es evidentemente la contribución en cuanto al suministro del agua en un piso bioclimático deficitario. Pero MOTHES construye una parte de su tesis subrayando la "eficencia" de la infraestructura tradicional bajo la forma de la función fertilizante del agua de riego.

Esta hipótesis no es nueva (10), pero la argumentación de MOTHES no parece totalmente convincente, particularmente porque no detalla todos los elementos constitutivos de la fertilidad en estos sistemas de producción y de su evolución histórica.

Por una parte está basada en análisis de limo recogido en el fondo de los reservorios (limo efectivamente utilizado por los campesinos como abono) y por otra parte en análisis de suelos tomados en parcelas de cultivo seco nunca regadas y en parcelas sometidas al riego desde mucho tiempo.

Ahora bien, estos sistemas de cultivo son historicamente muy antiguos, muy diferentes y el estado actual de los suelos depende de la historia de las intervenciones en materia de reproducción del ecosistema cultivado.
Los agricultores no desarollaron de la misma manera las técnicas de fertilización, basadas en el limo de los reservorios o en los otros elementos de los cuales de puede suponer que no desempeñan un papel secundario : la asociación entre agricultura y ganadería, al menos en los rastrojos, en parcelas privilegiadas (de noche) o por desplazamientos de animales amarrados, pero también la utilización de los resíduos de cultivos (11) y el uso regular de fertilizantes químicos, siendo todos estos medios reservados al cultivo regado.

Conclusión : la problemática general de la producción agrícola en un sector mixto, zona regada y zona seca.

Prosiguiendo con las técnicas de fertilización, podemos extender el campo de investigación a escala de la cuenca vertiente. A 3000 metros de altitud, es decir en el origen de los flujos del agua de riego y de los elementos fertilizantes asociados, los agricultores indígenas realizan una agricultura pluvial en suelos relativamente arcillosos, ricos en cuanto a las materias orgánicas y cuya capacidad de retencíon de agua parece importante.

Ahora bien, esta característica aparece como un limitante importante ya que la saturación de los suelos genera casi siempre un deslizo en el subsuelo más o menos impermeable y una erosión a veces espectacular en forma de "lupas".
Así haremos la hipótesis siguiente " los indígenas de Mariano Acosta deben controlar los procesos erosivos pero, como sólo disponen de los abonos orgánicos como único medio de fertilización, ésta mantiene la retención importante del agua en el suelo ; retener el agua para la planta (las lluvias son irregulares), fertilizar para "alimentarla", pero también drenar para evitar los excesos sin retirar mucha agua a la planta ; estas son los diferentes componentes de la gestión del agua al nivel de la agricultura de alta montaña en pendientes importantes que a menudo rebasan 25 o 30 %.
Según las experiencias de los unos y de los otros, se instalará canales de drenaje en el sentido de la pendiente más grande, o se dispondrá surcos generalmente intermedios entre la pendiente más importante y la curba de nivel.
Esta es la problematica general de la producción en la parte de arriba, frente a la alternativa de excesos de lluvias et de sequía marcada.

En la parte de abajo, esta problemática evoluciona conforme disminuye el peligro de excesos de lluvias.

A 2000 metros, los suelos son menos arcillosos, menos profundos, con tasas de materia orgánica reducidas y muy sensibles a la sequía (reserva útil reducida).

Sin embargo, volvemos a encontrar esta noción de equilibrio entre la saturación y el déficit hídrico, pero a un nivel más fino, el de la explotación, según la disposición de las parcelas, sus pendientes, y el acceso al agua de riego en cantidad suficiente o insuficiente.
Allí, la problemática de la producción está vinculada con la repartición del agua (apropiarse lo máximo de este recurso en la medida que es admitido por los otros usuarios), adquirir los elementos fertilizantes (limo, abonos orgánicos, resíduos de cultivo, fertilizantes minerales) para compensar las exportaciones importantes debidas a los sistemas de cultivo intensivos. (12).

NOTAS

(1) en el detalle, algunas familias, en altitud elevada, intentan obtener parcelas de arriendo en una altitud menor, pero siempre en la zona que no es regada. Así, una familia instalada desde 30 años a 3300 m de altitud pudo alquilar dos hectáreas a 2700 m de altitud y cultivar con cierto éxito el trigo que madura bien en este piso intermedio.

(2) Huasipungero : recibía el usufructo de una parcela de dos o tres hectáreas, a veces más, y tenían que trabajar cuatro o cinco días por semana para la cuenta del propietario de la tierra : recibía entonces un sueldo muy inferior al sueldo del mercado (definición de FAUROUX E., 1983). Las recientes transformaciones de las grandes explotaciones agrícolas en la sierra y en la costa del Ecuador. In : Cah. ORSTOM, ser. sci. hum., vol. XIX nº1, pp.7-22).

(3) Partidorio : huasipungero que recibe una parte de cosecha variable.

(4) Mothes señala una pequeña acequia vecina, las gradas, muy mal administrada, con muchos derrames y un desacuerdo importante entre los usuarios, grandes propietarios y partidorios.

(5) un año sobre dos.

(6) las haciendas envían a jornaleros, teniendo los campesinos la posibilidad de ser reemplazados.

(7) Moneda ecuatoriana. En 1985, el sucre valía más o menos 10 centavos franceses, pero en 1986, ya no vale más que 4 centavos.

(8) Evidentemente hay que añadir el tiempo dedicado cada semana al seguimiento del agua hasta los surcos, el mantenimiento del reservorio, su limpieza, etc...

(9) En algunos casos, se observan alquileres de horas de riego no utilizadas.

(10) Se atribuye esta función a las pequeñas zanjas de riego antiguas de los pastos naturales en zonas de montaña, como por ejemplo en la región de Segala en Aveyron (ver SALLES J.M.; WOLF C., 1985 - Contribution à l'étude de l'agriculture du Ségala : une analyse de son développement. Mémoire DAA.CDAS, DSA/CIRAD, ENSAM INAPG. 150 p. más o menos) Ver también en la bibliografía FEDERES (1983).

(11) En un sitio vecino de Pimampiro, fuimos testigos de prácticas de enriquecimiento del suelo muy elaboradas bajo diversas formas hasta tal punto que se puede hablar de "cultivos caseros" cerca de las habitaciones. También se encuentran "transferencias de fertilidad" (compra de paja proveniente de los campos de cereales extensivos en cultivo pluvial). RUF Th. - Gira en el campo con De NONI G., COUJOLLES A., & I. agosto 1986).

(12) A esto se añade la lucha fitosanitaria que toma proporciones importantes tanto en el plano de la pérdidas de cosecha como en el plano de los costos en trabajo y en fertilizantes.

BIBLIOGRAFIA

Extractos de la bibliografía de la tesis de P. A. Mothes para mejor conocer el riego en los Andes ecuatorianos.

BASILE David, 1974.
Tillers of the Andes: farmers and farming in the Quito Basin. Studies in Geography n[8, Univ.of North Carolina at Chapel Hill.

BRUSH steven B., 1977.
Moutain, field and family: the economy and human ecology of an andean valley. Univ.of Pennsylvania Press. Philadelphia.

Di VICENZO Janet D., 1984.
Middlemen and peasants in PIMAMPIRO: changing market relations in a highland ecuadorian canton. Unpublished thesis. Latin American Studies. Univ;of Texas, Austin.

FEDERES E., 1983.
Short and long term effects of irrigation on the fertility and productivity of soils. IN: Nutrient balances and the need for fertilizers in semi-arid and arid regions. Proceedings of the 17th colloquium of the International Potash Institute held in Rabat and Marrakesh. Marroco. International Potash Institute, Bern, Switzerland, pp283-304

INERHI. 1985.
Unpublished datas from a memorandum in the Pimampiro file folder. INERHI office files, Ibarra, Ecuador.

KNAPP Gregory, 1984.
In search early canals in the equatorial Andes. Paper presented at the annual meeting of the association of american geographers.

MOTHES Patricia A., 1986.
Pimampiro's canal: traditional irrigation in Ecuador. Paper presented at the annual meeting of the association of american geographers. May 3-7, Minneapolis.

PRONAREG-ORSTOM, 1982.
Elementos basicos para la planification de la irrigatión en el Ecuador: el agua con fines de riego, provincias de Carchi y Imbabura. Ministerio de Agricultura y Ganaderia (MAG), Quito.

Com :
IIIer Seminario " Infraestructuras hidroagrícolas y sistemas de producción "
Departamento Sistemas Agrarias
DSA/CIRAD, Montpellier, 16-19/12/86, pp 519-523.

RIEGO Y ESTADO EN ECUADOR, HISTORIA, PROBLEMAS ACTUALES Y EJEMPLO DEL SISTEMA LATACUNGA - SALCEDO - AMBATO

por Hugo Ribadeneira*

* Director del Plan Nacional de Riego, INERHI, Juan Larrea 534, Quito - Ecuador

La República del Ecuador está ubicada en la costa occidental de América del Sur. Se extiende entre los paralelos 1°30' de latitud norte et 4°30' de latitud sur, entre los meridianos 75° et 81° de longitud oeste. La superficie total del territorio tiene un poco más de 281 000 kilomètres carrés, y abarca cuatro régiones bien determinadas : la región amazónica (Oriente), los Andes (Sierra), la costa Pacífica (Costa) y la région insular (Galápagos).
Solamente 22 % del territorio se dedica a la agriculture propiamente dicha, siendo el resto principalmente constituido por la selva virgen o los páramos de altitud (formación herbácea de alta montaña) (fig. 1).

Uso del suelo	Millares d'ha	% total	% sup.agric.
Superficie cultivada	1730	6,2	28,0
Bosques artificiales	25	0,1	0,4
Superficie siempre en hierba	4433	15,7	71,6
Total superficie agrícola	6188	22,0	100,0
Bosques naturelles, páramos	21994	78,0	

Fig. 1 - Uso actual del suelo en el Ecuador (Fuente : Ministerio de Agricultura y Ganadería).

De las 1 730 000 hectáreas cultivadas, se estima que unos 550 000 hectáreas están regadas, entre las cuales unas 120 000 son regadas en el marco de un proyecto estatal.
Allí se cultiva una variedad muy grande de plantas anuales o permanentes, cuya producción está destinada sea al mercado nacional, sea a la exportación. Vamos a ver en que condiciones se desarollaron estas diversas agriculturas regadas.

1. El clima y los recursos hidráulicos : una repartición desigual de las lluvias y de los caudales en el espacio y en el tiempo.

En un plano général, el Ecuador es un país dotado de un gran potencial hidráulico. Las dos vertientes andinas, la oriental amazónica al igual que la occidental pacífica, poseen grandes cuencas hidrográficas que aparentemente colectan una cantidad de agua bastante suficiente para satisfacer la demanda humana.
Sin embargo, la gran variabilidad de los recursos hidráulicos en el tiempo y en el espacio induce graves problemas de abastecimiento marcados por succesiones de sequía y de inundaciones. Las cuencas orientadas hacia el Pacífico ofrecen un caudal anual global de 115 000 Hm3, mientras los que alimentan la Amazonía dan 315 000 Hm3.

La pluviometría anual alcanza 2274 mm, pero en realidad, cuando las vertientes andinas, pacíficas y amazónicas reciben más de 5 000 mm en altitud media, algunas zonas del callejón interandino sólo disponen de 400 mm, mientras se encuentran sectores con menos de 200 mm en la costa pacífica.

La evapotranspiración potencial anual rebasa 1 500 mm en la Costa, no es inferior a 800 mm en la Sierra (valor indicativo seguramente subestimado por falta de fórmulas que toman en cuenta la altitud).

La Cordillera de los Andes constituye una zona de transición climática, existen dos regímenes pluviométricos que dependen de su orografía :

- el régimen occidental caracterizado par la concentración de las lluvias entre diciembre y mayo, y por una sequía importante el resto del año,
- el régimen oriental el cual, al contrario del primero, no conoce sequía, pero una repartición casi uniforme de las precipitaciones (con un máximo en junio, un mínimo en diciembre).

Evidentemente, estas diferencias existen al nivel de los caudales de los ríos.

En fin, el pais tiene una gran variedad de regímenes de temperaturas con zonas de la Costa cuyos máximos rebasan 41°C, lugares de la Sierra afectados por la helada.
La temperatura promedia de la Sierra es de 15ºC, la de la Costa 25ºC.

2. El desarollo del riego en el pais, una historia antigua, pero una intervención reciente de parte del Estado.

En relación con la distribución irregular de las lluvias, el riego es practicado en el Ecuador desde ya bastante tiempo, aunque en el marco de acondicionamientos de amplitud reducida.
Algunos sectores, en particular en la Sierra, conocieron el riego desde el principio de la época colonial. Aun antes de esto, parece que los Quitus, antiguos habitantes que vivían en los alrededores de la actual capital Quito, sabían organizar un sistema de administración del agua, desde el principio de la era cristiana.
Los Incas, quienes dominaron la zona interandina del actual Ecuador entre los años 1460 y 1534, tuvieron que establecer una red apreciable de acequias cuyos vestigios todavía permanecen aquí y allá. Los colonizadores españoles destruyeron gran parte de estas obras, o las utilizaron en su beneficio.
Pero, casi todas las obras que hoy en día funcionan en el país fueron establecidas en la época de la República, o sea durante los siglos XIX y XX..

La importancia de las obras de riego dependía entonces de la situación económica del propietario quien las hacía construir, y que también se volvía propietario del agua y del sistema de distribución.
De esta manera, muchos propietarios vendían el agua, o la alquilaban con precios y condiciones fijadas solamente por ellos, explotando así a los agricultores.
Hasta habían propietarios que no poseían tierras pero toda el agua, y que hicieron fortuna. Esta situación al menos cambió en el plano legal a partir de 1972 : la ley sobre las aguas decretó que el agua, bajo cualquier forma, era patrimonio del Estado, y que el INERHI (Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos) se encargaba de su administración.

De hecho, la intervención estatal sobre el riego tiene su origen en el principio del siglo XX, y se cristaliza en la primera ley sobre las aguas de 1936 que intentaban crear bases jurídicas para una mejor repartición de los recursos hídricos.
En 1944, una ley complementaria, la ley de riego y de saneamiento, daba al Estado el poder de realizar obras de interés público, por medio de la creación de una primera institución : **la Caja Nacional de Riego**.

Esta institución, que precedió el actual INERHI, sin embargo ne recibió atribución nacional en materia de planificación y de control del uso de las aguas. De hecho, se comportó como una simple empresa pública de construcción, y jamás se preocupó por la agricultura y tampoco por el desarollo en general.
El INERHI solamente fue creado en 1966 con la intención de darle por una parte la función de administración del agua bajo sus aspectos técnicos y jurídicos, y por otra parte, darle el cuidado de determinar el acceso a los recursos hydráulicos.
En complemento, el INERHI debe formular un plano nacional de riego que deberá ser cumplido por el Estado, por organismos públicos o privados, entre los cuales el INERHI.

Antes de que se cree el INERHI, sus estructuras de desarollo regionales se habían constituido con el fin de promover acondicionamientos hidro-agrícolas propios, y algunos todavía siguen funcionando hoy en día :

- el CREA (Centro de Recuperación Económica del Austro) el cual reagrupa las provincias del Azuay, de Cañar, y de Morona Santiago,
- el CRM (Centro de Rehabilitación de Manabí),
- la CEDEGE (Comisión para Estudio y Desarollo de la Cuenca del Guayas),
- el PREDESUR (Programa de Desarollo Regional del Sur del Ecuador).

Hay que subrayar que algunos de los principales acondicionamientos del país están administrados por estas estructuras.

Por otra parte, particulares construyeron, con iniciativa propia, un número importante de obras que va desde simples pequeñas acequias que tienen una toma rudimentaria en un río hasta sistemas de mayor amplitud, como en los casos de explotaciones agro-exportadoras importantes. De esta manera, al menos los dos tercios de la superficie regada del país corresponden a acondicionamientos realizados sin ninguna intervención estatal.

En el transcurso del siglo XX, se nota una progresión muy fuerte de las superficies regadas, particularmente en los treinta últimos años (fig. 2) donde se hubieran practicamente multiplicado por cuatro.

Año	Superficie agrícola (millares de ha)	Superficie regada
1900	550	40
1954	2080	112
1971	3800	117
1981	5820	426
1986	6190	555

Figura 2 - Evolución de las superficies agrícolas y regadas en el Ecuador (inclusive los pastos y los bosques artificiales)

3. Los problemas del riego en el Ecuador : acondicionamientos caso por caso

Así, los acondicionamientos que actualmente existen nunca emprendieron una planificación nacional de manera seguida. Las soluciones adoptadas en cada lugar no siempre fueron las mejores, tanto en el plano técnico como en el plano económico.
Los resultados son decepcionantes al nivel de los rendimientos agrícolas así como en el nivel del excedente de comercialización.

El INERHI intenta tratar estos problemas a través de su departamento del Plano Nacional de Riego y de Drenaje.
Antes de él, ninguna institución pública tuvo tal cargo, de manera que algunas de las decisiones de creación de perímetros regados correspondían a presiones políticas, sin que se tomen en cuenta prioridades o racionalidades, por lo menos con respecto a las disponibilidades en agua.

Por otra parte, a pesar del cambio positivo en estos últimos decenios, el Estado no manifestó toda la atención necesaria al sector regado en materia de inversión, en la época de la Caja Nacional de Riego así como durante una gran parte de la existencia del INERHI.
A pesar de todo, el reciente esfuerzo emprendido particularmente a través de los organismos de desarollo regionales, da al país algunos acondicionamientos de gran amplitud.

Así, hasta el principio de los años 1970, los principales problemas fueron los siguientes :

- ausencia de un plano a largo plazo, determinado al nivel nacional (de allí resultan los otros problemas),

- comienzo de los trabajos con recursos económicos reducidos, y dispersión de los programas dentro de estructuras sin competencias técnicas adecuadas, que tienen tendencia a actuar sin coordinación,

- decisiones subjetivas, o bajo el efecto de presiones políticas que conducen a obras de construcción que no se fundamentan en ningún estudio serio,

- ausencia de fundamento jurídico hasta la ley de 1972 para facilitar la acción del Estado,

- repartición de la tenencia inadecuada,

- ausencia de assistencia técnica y de crédito para crear las condiciones favorables al desarollo de los perímetros regados,

- estructuras de commercialización inadecuadas, etc...

A partir de 1970, se nota una cierta tendencia por corregir algunos de estos defectos, particularmente en la nueva aproximación por "proyecto de desarollo integrado" (bajo financiamiento internacional) donde el riego está simplemente considerado como un medio y no como una finalidad de desarollo.
Otros cambios contribuyeron al mejoramiento de la situación del riego en el país. Excepto el crecimiento de las inversiones públicas y la creación de una planificación nacional, se nota una cierta redistribución territorial (efectos de la reforma agraria), el papel de cooperativas en la comercialización más importante, la regularización del abastecimiento de ciertos perímetros por el establecimiento de represas, y de manera general la toma de conciencia en el país del interés del riego y de la necesidad de promoverla.

4. Un ejemplo de realización estatal : el proyecto Latacunga - Salcedo - Ambato

4.1. Presentación

La zona regada abarca 8400 hectáreas ubicadas en el callejón interandino, entre la provincia de Cotopaxi et la de Tungurahua. Pertenece al complejo orográfico formado por los volcanes Illinizas y Cotopaxi al norte, y Chimborazo al sur.

Los recursos hídricos del proyecto provienen de una cuenca de 1165 km^2 drenada, entre otras, por los ríos Cutuchi y Pumacunchi, que proveen agua suficiente para los 8400 hectáreas previstas, al menos durante las estaciones lluviosas (NB igual hay que regar durante estos períodos !). Las tomas en los dos ríos aportan 3,5 et 1 m^3/s respectivamente.
El agua llega a los usuarios a través de 37 km de acequia maestra (14 km de túneles, 5 acueductos).
La red de distribución cuenta con 236 km de acequias y sifones (estos últimos traen agua hasta pequeñas planicies que nunca habián conocido el riego).

La zona interesada está constituida por terrenos más o menos ondulados, pero 66 % de la superficie dominada por la acequia puede ser regada en condiciones favorables, teniendo que reservar el resto para la reforestación o el pasto.
El régimen pluviométrico aparece muy seco ya que la pluviometría promedia es de 476 mm. La temperatura promedia mensual es más o menos constante : 13°C.

En el plano de las infraestructuras económicas, se nota que la zona, atravesada de parte a parte por la carretera Panamericana, está dotada de una red de vías secundarias bastante densas, que facilitan la comercialización de las producciones.

4.2. Un poco de historia ...

La primera zona regada por el proyecto, entre las ciudades de Latacunga y Salcedo disponía antes de acondicionamientos antiguos : así, todavía se observan los rasgos de una acequia en ruina en el medio de prados aún regados a partir de otra acequia de unos cuarenta años.
Estas obras pudieron ser realizadas por los propietarios de haciendas.
No es imposible imaginar que esta zona climaticamente deficitaria haya podido ser también acondicionada por los indios antes de la llegada de los colonos españoles.

Hoy en día, es sorprendente ver mantenerse la antigua red en medio del proyecto. Pero los beneficiarios de esta acequia se hubieran negado en adherir al proyecto INERHI en la medida que dispondrían de un caudal ficticio contínuo de 2 litros por secundo, cuando la acequia estatal sólo les ofrecía 0,6 litros por secundo.

De la misma manera, en la extremidad del proyecto, los campesinos del pueblo de Izamba rechazaron el agua del INERHI en la medida que disponían de acequias propias alimentadas a partir de un torrente próximo, y que sus sistemas de producción (minifundios de hortalizas) hubieran sido afectados por los trabajos de instalación de los sifones (única manera de alimentarlos a partir de la acequia maestra).

4.3. Sistemas agrarios, sistemas de producción

La mayoría de la población está constituida por comunidades indígenas las cuales viven en aldeas pobladas de manera muy densa.
Se estima a 36 000 personas (5 900 familias) : es una de las zonas con densidad de población más elevadas del Ecuador (unos 400 habitantes por kilómetro cuadrado agrícola regado), y esto evidencia la gravedad de los problemas socio-económicos que reinan allí, como lo muestra la estructura de la tenencia de la tierra (fig.3).

Estratos (ha)	Núm. de propietarios	Superficie correspondiente (ha)
0-1	14061	3329
1-2,99	625	973
3-4,99	84	318
5-9,99	59	408
10-19,99	46	608
20-19,99	31	946
>50ha	6	362

Figura 3 - Estructura de la tenencia de la tierra en el proyecto Latacunga - Salcedo - Ambato (Fuente : INERHI, 1986).

A lo largo de la acequia maestra, se encuentran diferentes sistemas agrarios según los sectores : aquí, encontraremos una juxtaposición de pequeñas haciendas de algunas dezenas de hectáreas orientadas hacia el piso lechero, que riega pastos naturales o a veces cultivados.
En otra parte, será la asociación entre este tipo de hacienda y el minifundisme en los alrededores. Más lejos, sólo encontraremos pequeñas explotaciones familiares de subsistencia con predominio del maíz, mientras que en otros lugares, la asociación entre agricultura y ganadería (maíz y alfalfa) aparece más francamente.
En fin, algunos sectores, en particular los sectores próximos de Ambato están constituidos por pequeños jardines hortalizos muy bien mantenidos. Hay que añadir las zonas ya citadas donde el agua acaba de llegar a través de los sifones y donde los sistemas de producción se orientan hacia tal o tal modelo próximo.

4.4. Funcionamiento teórico

La infraestructura funciona teoricamente de manera igualitaria y centralizada. En período normal, las acequias terciarias están alimentadas de manera contínua y el turno de agua recomendado es de siete días y medio, lo que impone a cada agricultor regar cada dos noches.
En práctica, el INERHI no interviene al nivel de los terciarias, dejando su administración a las "juntas de agua" (organización campesina) o a los grandes explotadores cuando sacan provecho de un tertiario para ellos solos.

Como se sobrestimó el caudal disponible en período de verano, el cual baja alrededor de dos metros cúbicos por secundo en vez de los cuatro y medio previstos, hay que hacer reajustes.
Si el déficit es bajo, la reducción de los caudales es realizada de manera proporcional (ya que los repartidores están formados por chapas verticales que divisan el caudal).
Cuando el déficit es demasiado importante, el INERHI procede a un turno de agua en las acequias secundarias y terciarias a fin de dar caudales de ataque suficientes cada quince días (parece que mejor vale regar con un caudal de 8 litros por secundo cada quince días para evitar las pérdidas por infiltracion y por evaporación que se producen con un caudal de 4 litros por secundo cada semanas).

4.5. Los conflictos entre usuarios

La zona del proyecto es bastante ámplia y el principio de distribución permite generalmente un funcionamiento autónomo de cada uno de los 600 grupos de usuarios ubicados en las terciarias. Sin embargo, pudimos notar conflictos en algunos sectores.

En primer lugar el conflicto que opuso los usuarios de la primera parte del proyecto entre Latacunga y Salcedo y los usuarios aguas abajo. Los primeros, generalmente propietarios de haciendas ganaderas, querían disponer de un litro por secundo y por hectárea.
Cuando los secundos se enteraron, exigieron el mismo tratamiento, y el INERHI terminó por restablecer todas las dotaciones en la base de 0,6l/s/ha.

Luego hay fenómenos más localizados : así, al nivel de algunas tomas de acequias terciarias, pudimos observar una modificación de las cargas hidráulicas (por medio de piedras o de matas de hierba) que provocan una repartición diferente de la repartición prevista por el proyecto.
Será interesante examinar si estas modificaciones constituyen un reajuste "normal" en el campo con respecto al cálculo de los concebidores de la red que quizás habían subestimado la demanda de tal o tal sector - se puede entonces emitir la hipótesis de que este reajuste es admitido por los usuarios de las terciarias próximas - o si se trata de una estafa de corto plazo - y entonces las piedras y las matas de hierba serán retiradas rapidamente.

4.6. Un rápide balance socio-económico

El financiamiento de la red, 20,4 millones de dólares, fue cubierto par el Banco Interamericano de Desarollo (BID) y por el Banco Ecuatoriano de Desarolo (BEDE).

El Estado no transfiere el costo de la inversión sobre los usuarios, quienes sólo pagan una cuota mínima (fijada en una base nacional). No impone ningún modelo cultural pre-establecido y no comercializa ninguna producción.
En este sentido, se trata de una forma de intervención ejemplar (el INERHI se comporta igual que un simple proveedor de agua), lo que la distingue de muchos otras intervenciones estatales que se conocen en otros paises.

Sin embargo, aparece que en un gran número de sectores del proyecto, con la excepción de la zona de hortalizas final, no haya verdaderamente culturas susceptibles de remunerar el trabajo de los campesinos.
Esto deberá probablemente ser estudiado para mejor entender el funcionamiento económico de las explotaciones campesinas. También hay que notar la adaptación muy rápida de los campesinos de los sectores antiguamente secos y que hoy en día están vinculados con la acequia principal por los sifones.

El sistema de riego Latacunga - Salcedo - Ambato parece ser una de las mejores intervenciones del Estado ecuatoriano, particularmente en el plano de la extensión del riego, y en el plano de la repartición proporcional proportionnelle de los déficits durante la estación seca.
Es evidente que subsisten algunos problemas y uno de los más importante es justamente este déficit estacional. Abordar este tema significa extender el campo de observación para constatar que existe una competencia sobre el recurso entre el proyecto y los sectores aguas arriba que antes utilizaban los ríos Cutuchi y Pumancuchi.
De hecho, el aumento del caudal estacional para el proyecto Latacunga - Salcedo - Ambato depende en gran parte de la realización de dos nuevos proyectos estatales, la acequia "del Norte" y la acequia "Alumis", los cuales drenarán aguas provenientes de una cuenca oriental para los tres sistemas.

En definitiva, lo que falta a la intervención estatal actual podría ser la colocación de un sistema de seguimiento y de evaluación de los efectos del proyecto, tanto en el punto de vista agronómico como socio-económico, sistema que debería estar en relación con el dispositivo de planificación del riego.

Conf :
Seminario " Sistemas agrarias en el Perú."
UNALM/ORSTOM, Lima (Perú), 10/87.

Usted dijo :
" ¿ SISTEMAS DE PRODUCCION ? "
Yo entendí :
" SISTEMAS DE PRODUCCION ! "

Ensayo de análisis sobre conceptos y modos.

por Thierry Ruf*

Quito, septiembre de 1987

Nota Bene :
Este texto se apoya sobre varias notas sobre sistemas de producción que provienen de diversos autores, así que no pretende ser exhaustivo. Su objetivo consiste simplemente en aclarar los conceptos utilizados en todas partes y por lo tanto avanzar en el conocimiento.

* Agro-economista, Misión ORSTOM, Apartado 17.11.06596, Quito - Ecuador

"El mundo no es un caos... No porque nos falte referencias internas para la observación de nuestro alrededor, no porque tenemos razones objetivas de insatisfacción, que nosotros podemos permitirnos concluir la existencia del caos. Por lo tanto, si el mundo no es un caos, es que está organizado en sistemas más o menos complejos. Por lo menos podemos admitir sus existencias: los seres vivientes, cualesquiera que sean, viven en poblaciones, las casas viven en ciudades y pueblos, las parcelas de tierras cultivadas viven en explotaciones agrícolas...

Así se expresaba J.M. LEGAY, biométrico del INRA, en el coloquio sobre "los métodos y los modelos en el estudio de los sistemas complejos" (Paris 1986). Con estas palabras, él nos recuerda los propósitos a menudo escuchados en los proyectos de desarrollo agrícola: "los campesinos no hacen lo que se les dice, ellos son limitados y no comprenden nada".

Las investigaciones "sistémicas" que son llamadas a dar un nuevo día a los agricultores, tienen en realidad dos grandes orígenes históricos: por una parte la constatación del fracaso de los proyectos de desarrollo, ha llevado a sus promotores a interrogarse sobre la resistencia a las innovaciones técnicas (de los proyectos) y a efectuar operaciones de investigación en las zonas de intervención, por otra parte, la investigación científica ha obligado a realizar investigaciones más allá de los campos disciplinarios y de los trabajos análiticos clásicos, para tratar de comprender el funcionamiento de los sistemas.

Esta distinción no es anecdótica, vamos a ver que ella corresponde a diferencias en las concepciones, los métodos, el rigor, el tiempo de investigación y obviamente los conceptos y sus interpretaciones que dan la apariencia de una gran confusión a la noción de sistemas de producción. Como lo señala J. BEEBE (1985), algunos emplean conceptos similares con "membretes" diferentes y otros tienen conceptos diferentes bajo un mismo "membrete".

1. ¿ QUE ES UN SISTEMA ?

La definición del diccionario ROBERT nos ofrece dos grandes acepciones:

- es un conjunto organizado de elementos intelectuales;
- o es un conjunto que posée una estructura y que constituye un todo orgánico.

El matiz no es estrecho. La mayoría de los adversarios de las investigaciones sistémicas se refieren a la primera definición, sosteniendo por ejemplo que un sistema es una vista del espíritu y no un resultado científico. (E. LAVILLE, 1985).

El mismo autor, refiriéndose a FOUCAULT (1966), recuerda que los naturalistas se opusieron a finales del siglo XVIII, sobre el procedimiento a adoptarse en vista de la "nominación de lo visible": para describir las plantas y buscar sus diferencias, los unos pregonaban el "Método", los otros el "Sistema".

Para establecer las identidades y las diferencias entre todos los seres naturales, se debería tomar en cuenta cada caracteristica que ya ha sido mencionada en una descripción, tarea infinita que retardará el advenimiento de la historia natural, si no existieran técnicas para dejar de lado la dificultad y limitar el trabajo de comparación:

- *o bien se hace comparaciones totales al interior de grupos constituídos empíricamente, donde la enumeración de semejanzas es evidentemente tan elevada que la enumeración de diferencias no será difícil determinar y así de poco a poco, el establecimiento de las identidades y de los destinos podrá ser asegurado: es el Método.*

- *o bien se escoge un conjunto finito y relativamente limitado de criterios que se estudiarán en todos los individuos que presenten las constancias y las variaciones: es el Sistema.*

La gestión del Sistema es arbitraria ya que no se tiene en cuenta otras diferencias o identidades que no fueron consideradas al comienzo.

Además si uno de los criterios es muy variable, se corre el riesgo de diferenciar un individuo del otro muy tempranamente, mientras que ellos pueden ser por otro lado muy parecidos. Al contrario si un criterio varía poco, se encontrará al final masas compactas de individuos no diferenciados.

El procedimiento del Método consiste en deducir progresivamente los elementos de diferencia entre especies semejantes. Se describe completamente una primera especie, luego para la segunda unicamente las diferencias con la primera y así sucesivamente. De esta forma solo se tiene un Método mientras que hay una infinidad de Sistemas. El Método puede adaptarse, mientras que el Sistema fija todos los procesos de descripción (FOUCAULT, 1966 citado por LAVILLE, 1985).

A esta segunda crítica, es fácil decir que las palabras del siglo XVIII tenían un sentido talvés más preciso que ahora: el Sistema significaba entonces dar pasos uniformes para la descripción de la naturaleza. Aquello se realzaba del conjunto organizado de elementos intelectuales tanto como el Método que contiene la idea de un proceso flexible y evolutivo en el tiempo. Pero ninguna de las dos concepciones de lo visible buscaba comprender como viven las plantas, como entran ellas en competición para la conquista del espacio, del suelo, de la luz, del agua y de los nutrientes, lo cual será objeto de investigación sistémica mucho más tarde.

Este recuento histórico sobre el proceso científico para dar identidades a las cosas visibles debería incitarnos a mayor circunspección en una de las formas de investigación actual sobre los sistemas de producción: se observa frecuentemente trabajos donde se han fijado a priori los criterios de diferenciación según un sistema de pensamientos pre-establecidos, llegando a simplificaciones abusivas y sobre todo ineficaces, incluso peligrosas para los objetos de esta clasificación (1). Podría ser muy ventajoso inspirarse en el "Método" de los naturalistas del XVIIIavo. siglo, es decir describir lo más detalladamente posible (en el estado de conocimientos actuales) un sistema de producción y buscar las diferencias para un segundo y así sucesivamente.

Pero, un sistema agrícola como el sistema de producción, pertenece al dominio de lo visible o solamente de lo invisible? Si se guarda por definición el conjunto que posée una estructura que constituye un todo orgánico, es lógico hablar de un sistema de producción en presencia de una estructura visible en la cual funcione el mencionado sistema. Veremos que no siempre es así según las disciplinas y las concepciones.

Supongamos válida la idea que el mundo está organizado en sistemas complejos como lo afirma LEGAY. Aquello significa que para definir un objetivo de investigación sobre un sistema, se debe reubicar ese sistema en el conjunto de los sistemas complejos. Ahora bien, esto tampoco es siempre explícito. Peor todavía, según CHATELIN e.a. (1982) quien refiriéndose a las ciencias del suelo, la tendencia de ciertas investigaciones sistémicas es de ir hacia investigaciones más y más detalladas para descubrir mecanismos fundamentales, lo que no significa problemas en sí, sino que se ha perdido los conjuntos superiores y que se es incapaz de restituír los resultados.

Esto no significa por tanto que se pretenda ser exhaustivo. Es indispensable fijarse los objetivos que van a contribuír para el "objeto científico". Los límites del sistema estudiado dependerán de los observadores y podrán parecer arbitrarios (BOURGEOIS, 1983). Sin embargo solo, el análisis de las formas no permite caracterizar el sistema. Es el análisis del "contenido" que da sentido a las investigaciones sistémicas. LEGAY enfrenta la "lógica formal" a la "lógica experimental que se aproxima más y más al contenido".

De ROSNAY (1975) propuso una definición explícita del sistema:

"conjunto de elementos con interacción dinámica y organizadas según un objetivo".

Las diversas relaciones que ligan los elementos del sistema son las funciones de producción (transformaciones de la energía y de la materia), las funciones de intercambio, las funciones de regularización, de información y de control. El sistema que se ha definido, permite tener una opinión del conjunto de todos estos procesos. Pero no es necesario conocer todos los procesos de todos los elementos del sistema para captar la lógica de su funcionamiento.
Según el nivel de observación, teniendo en cuenta el desarrollo de los conocimientos, se considerará suficiente, para un elemento dado, conocer los flujos de entrada y de salida.

Se mirará en la "caja negra" solo cuando se piense que existen malos funcionamientos en su seno. Un análisis de sistema comienza entonces por la definición de los elementos, o compartimentos, de los cuales se estudiará el funcionamiento como un subsistema y de otros en los que se estudiará los flujos de entrada y de salida (BOURGEOIS).

La investigación sistémica conduce por consiguiente, luego de observaciones y experimentación, a una simplificación en la representación del sistema complejo para comenzar a comprender su funcionamiento. LEGAY precisa que el trabajo sobre modelos-instrumentos implica nuevas exigencias de rigor: en principio se trata de descartar toda idea de modelo "a imitar", de precisar luego el dominio de validez, es decir las hipótesis para las cuales se piensa que el modelo explica validamente un fenómeno. El afirma con énfasis que "no se puede ostentar objetivos de investigación en sistemas complejos y continuar trabajando como si esos sistemas no fueran complejos".

La modelización de los flujos entre los compartimentos es solamente la primera etapa del análisis. El estudio de la toma de decisiones, frente a los objetivos de aquellos que dirigen el sistema, debe permitir un juicio sobre la coherencia entre el funcionamiento y la finalidad del sistema. Puesto que en la agricultura, los sistemas son abiertos y sujetos a imprevistos importantes, la coherencia no excluye el conflicto, el compromiso y la contradicción (BOURGEOIS).

El sistema está en movimiento permanente. Todos sus elementos tienen una historia. Solo se puede comprender un sistema complejo por sus relaciones con sus estados permanentes. LEGAY piensa que la complejidad proviene más de la herencia de un pasado reciente o no, que de los mecanismos del presente. Sin embargo, los estados pasados solo se conocen por rodeos dificultosos y a veces riesgosos, mientras que los mecanismos del presente pueden dar lugar a experiencias y repeticiones de experiencias.

A partir de esas precisiones conceptuales, tomamos conciencia de que el término sistema es empleado para calificar aquello que no es un sistema, ni del punto de vista intelectual ni del punto de vista orgánico. Asi, el "sistema de tenencia de tierra" es una expresión mal escogida (2): la expresión más correcta sería régimen de tenencia de tierra que refleja relaciones sociales. Generalmente, la expresión sistema aparece como una simplificación práctica, cuando se considera demasiado compleja la realidad o cuando se busca simplificarla a un "sistema" más simple. Alí, se encuentra un sentido más ideológico a la palabra sistema.

Nosotros podremos examinar como cada disciplina científica, adoptando una terminología de sistema, ha definido su propio concepto de sistema de producción. A continuación veremos los pasos que se realizan en las instituciones con tendencia sistémica, con las investigacioens anglosajonas sobre los "farming sistems" en los Centros internacionales de investigación y el movimiento francofono de "Investigación - Desarrollo" (desarrollado por ejemplo en el "CIRAD"). Finalmente, presentaremos el paso científico que algunos grupos franceses de agrónomos han adoptado en varios lugares, paso que puede ayudar a estudios pluridisciplinarias (en Francia con el INRA - SAD y en el tercer mundo con el ORSTOM). Como vamos a constatar, el término sistema de producción es empleado para diferentes conceptos y otros términos diversos son utilizados para dar cuenta del funcionamiento de la explotación agrícola y aún para otras cosas.

2. TRAYECTO HISTORICO Y DISCIPLINARIO DEL CONCEPTO DE SISTEMA DE PRODUCCION.

2.1 Un ilustre precursor : Olivier De Serres y el "mesnage des champs"

Aún antes de que la ciencia se forje sus conceptos y sus métodos, Olivier De Serres publicó el "Théatre d'agriculture et mesnage des champs" en Paris, el año de 1600. Por primera vez se expuso allí, una visión de conjunto de la gestión de una granja o de un dominio. Olivier De Serres fué un agricultor experimentado y basó su trabajo de precursor sobre "la ciencia, la experiencia y la diligencia" por sobre las creencias no probadas o probables.
No estando definidos los límites de los campos disciplinarios de la ciencia, el objetivo del "théatre" (la palabra significa entonces "obra de descripción") fué orientar la toma de decisiones de los agricultores en todos los dominios (3).

Ciertamente que esta visión de conjunto del "sistema de producción" encuentra sus límites en la falta de referencias sobre los mecanismos que explican el funcionamiento de tal o cual elemento. Pero justamente, este desconocimiento no impide la visión del conjunto. Además, el objeto de investigación está definido con relación a las incognitas que la sociedad plantea al observador. En este caso, O. De Serres y todos los autores que se inspiraron en su obra, tratan de responder a la demanda de informaciones de los terratenientes, que buscan valorizar tierras relativamente pequeñas (con respecto a las tierras de la nobleza rentista); el "modelo" sobre el cual razona De Serres es su dominio de 300 hectareas donde él asocia los grandes cultivos, el jardín, la crianza, el riego, etc.

Durante el siglo XIX, el fraccionamiento del objeto científico en disciplina, ocasionó poco a poco la pérdida de la visión global del objeto definido por O. De Serres, "el mesnage des champs". Cada disciplina solo va a ocuparse de uno de los compartimentos de los sistemas de producción agrícola: se estudia el suelo, la planta, el clima, el animal, etc. La tendencia al fraccionamiento de la realidad compleja se acentúa en el siglo XX, cada uno perfeccionando su ciencia sin preocuparse de saber como articular su disciplina con la disciplina vecina (lo cual no excluye la adopción de un procedimiento sistémico sobre el objeto científico considerado).

En Francia, esta evolución no ha ocasionado mayores problemas hasta una época reciente. Después de la segunda guerra mundial, la demanda social de investigación en el campo evolucionó bajo el efecto de cambios socio-económicos profundos que no podemos exponer en el marco de este artículo. Los objetivos productivistas de un estrato nuevo de agricultores que tienen frecuentemente explotaciones pequeñas y medianas han permitido a la investigación unidisciplinaria contínuar sus trabajos con resultados tanto en el plano científico como en el plano del desarrollo agrícola. Las cosas cambiaron durante los años 1970 y la demanda social actual de los campesinos franceses fué más bien de disponer de referencias y de consejos sobre el conjunto de su explotación (ver los resúmenes de los "Estados Generales para el Desarrollo en 1982" y la demanda en los gremios sindicales o de desarrollo de "Consejos de gestión adoptados", una especie de "mesnage des champs" perfeccionado con las referencias científicas que le faltan a O. De Serres).

2.2 El sistema de producción de la Micro-Economía en Francia.

En el siglo XVIII, el teatro de la agricultura era considerado como una obra de economía rural. La economía agrícola contemporáneaha negado y renegado esta economía rural (4). Los micro-economistas se refieren ahora a la definición clásica de CHOMBARD DE LAUWE (1963):

> *"La explotación agrícola es una unidad económica en la cual el agricultor practica un sistema de producción con la perspectiva de aumentar su ganancia. El sistema de producción es la combinación de las producciones y de los factores de producción (tierra, trabajo, capital de explotación) en la explotación agrícola".*

Los resultados de los sistemas de producción de una explotación, se evalúan por el registro contable y el cálculo económico. Si la definición está de acuerdo con la exposición del concepto sistema, tal cual lo hemos presentado, se hace tres observaciones:

1 El sistema tiene una finalidad presupuesta: aumentar las ganancias del agricultor.

2 La definición se basa sobre una estructura única, la explotación, en la cual funciona el sistema dirigido por un único autor, el agricultor. Existen muchas regiones en el mundo donde esta "simplicidad" no existe.

3 El juicio sobre el sistema reposa sobre el análisis de los flujos de entrada y de salida expresados en dinero.

Así definido, el sistema de producción de los micro-economistas es una construcción de compartimentos considerados como cajas negras generadoras de flujos monetarios para una unidad de producción simple: la empresa agrícola dirigida por un administrador de empresa. Se da importancia a la forma y no al contenido.

2.3 La difícil transposición del sistema de producción micro-económico en el tercer mundo.

En las sociedades no europeas, como Afríca, los micro-economistas han confrontado el problema de la estructura de explotación.
Sin poder adoptar ni adaptar la definición de CHOMBARD De LAUWE, ellos no utilizan ni el término explotación ni el término sistema de producción.
Ellos han definido la "Unidad de Producción Agrícola" al interior de la cual y de manera priviligiada, se efectúa la puesta en marcha de los factores de producción y a partir de la cual se operan procesos de utilización y de circulación de los productos obtenidos (SEDES, 1981).

La descripción de la unidad de producción pasa por el conocimiento del modo de explotación (tenencia de la tierra), el inventario de los factores de producción (tierras y su utilización, fuerza de trabajo y su repartición en el tiempo y en el espacio, inversiones agrícolas, bienes semovientes, aperos de labranza, etc.), la calificación del "sistema de explotación" (cultivo manual, enganchado o motorizado), la cuantificación de las producciones y de las productividades, la cuenta de explotación.

El procedimiento, si no emplea todos los términos de la micro-economía europea, es fundamentalmente formal.
El término sistema es un artificio descriptivo. Es el resultado final la cuenta de explotación con sus normas y sus razones, que justifican el fracionamiento del objeto de investigación complejo en sub conjuntos suceptibles de contabilidad.
El consejo de gestión que se desprende de este análisis micro-económico, persigue la corección de los indicadores juzgados desfavorables a la escala del que decide en la unidad de producción.

2.4. El sistema de producción socializado de los economistas y antropólogos.

En otra rama de la actual economía rural, los economistas rurales africanistas, quienes se interesan por la economía de grupos sociales es decir, que tienen como objetivode su disciplina la comprensión de los comportamientos económicos generales, tienen una concepción totalmente diferente de "sistema de producción".
Así, hablando de la economía de la plantación en Costa de Márfil, Ph. COUTY (1979) la define como:

> *Una "asociación de especulaciones agrícolas y de grupos sociales en un marco espacial complejo".*

El "sistema" aparece como un conjunto de relaciones (de flujo, de mecanismos concernientes al acceso a la tierra, las relaciones de trabajo, la partición del producto) entre autoctónos y extranjeros, para la valorización del territorio.

Sin embargo, unos años más tarde, el mismo autor, asociado con un geografo (A. LERICOLLAIS) revisa esta definición para adoptar otra más próxima de la explotación agrícola e inspirada por la definición de agrónomos y agro-economistas del INRA (M. SEBILLOTTE):

> *"conjunto estructurado de producciones de animales y vegetales, involucrado por un agricultor o grupo de agricultores en su explotación agrícola, para realizar sus objetivos."*

Esta evolución del pensamiento económico se basa en diferentes trabajos (MINVIELLE, 1978; WEIGEL, 1979) que estiman que el estallido de las estructuras sociales de ciertas regiones africanas, permite actualmente hablar de "explotación familiar" al interior de la concesión, esta última siendo una unidad de residencia que reúne varios hogares autónomos (pero diferentes de los europeos).

La explotación está entonces definida por:

- una disponibilidad de tierras a cultivarse, cualquiera que sea el modo de apropiación;
- una disponibilidad de fuerza de trabajo familiar;
- un consumo comunitario de la producción agrícola obtenida por la combinación de los dos primeros elementos;
- una unicidad presupuestaria incluyendo el funcionamiento general de la explotación y la mantención de la familia (sin excluír ciertos ingresos o consumos individuales);
- la adquisición eventual de material agrícola y la adhesión a una cooperativa o a una agrupación de productores.

WEIGEL, citado por COUTY y LERICOLLAIS (1982), explica como distinguir el "modo de producción" y el "sistema de producción". El modo de producción es el "conjunto de relaciones de producción y de reproducción organicamente asociadas, a un nivel dado del desarrollo de las fuerzas de productivas". Si se excluye las relaciones de producción en su investigación sobre las explotaciones, se trabaja sobre sistemas de producción entendidos como:

> *" un modo de combinación entre tierra, fuerzas y medios de trabajo, dependientes de la organización social y económica y de las limitantes ecológicas evolutivas" (5).*

Pero el trabjo en las explotaciones, juzgado indispensable, no debe hacer olvidar que el economista rural aspira a una lectura más general y más englobante de lo real. Es por eso que MALASSIS propone guardar como definición de sistema de producción:

> *"la combinación de las producciones, de los factores de producción y de las relaciones de producción, en relación con las condiciones ecológicas y con la organización socio-económica".*

Así, de la misma forma, el sistema de producción analizado primero a nivel de la unidad de lectura que es la explotación, puede ser característico de un grupo (como un grupo étnico). COUTY Y LERICOLLAIS anotan además, que es a eso que llega WEIGEL hablando del "sistema de producción Soninké en el valle de Senegal".

Este enfoque tiene dos observaciones:

1 Cuál puede ser la validez conceptual de tal expresión?. Constituye un nuevo sistema de orden superior, la yuxtaposición de múltiples sistemas, si no se ha probado que las explotaciones, soportes de los sistemas de producción, tienen interelaciones?. Se debería hablar de un modelo (en sentido imitativo) de producción que los Soninké reproducen aquí y allá, porque tienen las mismas circunstancias (6) físicas, culturales y técnicas sociales y económicas ?.

2 Cuál es exactamente el dominio de validez de la extensión de resultados de encuesta?. Se justifica en todos los casos el criterio étnico, frecuentemente citado en Africa? Se habrá verificado en el campo, en otros lugares, que el modelo imaginado da buena cuenta de lo que pasa en la realidad?.

2.5. El sistema de producción espacial de los géografos.

Durante mucho tiempo, los géografos no han empleado el término "sistema" para describir el espacio.

En 1964, CHOLLEY, al hablar de la selección de cultivos y de su combinación, no facilitó la clarificación del uso de las expresiones, además que él estima que "sistema agrario" es equivalente a "sistema de cultivo" y aquello que él describe se parece más bien a algo de "sistema de producción":

> *"Ese sistema agrario evoca, en primer lugar una concepción sicológica más o menos colectiva que resulta de los aportes de toda una serie de generaciones e incluyendo tendencias étnicas, tradiciones, experiencias individuales, intercambio con otros grupos humanos, etc.,*

que regulan la selección de cultivos y su combinación, es decir; la manera de repartir las tierras. El sistema agrario, responde luego a una organización de trabajo (herramientas, mano de obra) que nosostros denominamos tren de cultivo"
(CHOLLEY A., 1946. -Problèmes de structures agraires et d'économie rurale. Citado por SAUTER G. en un artículo difundido en 1985 en el DSA/CIRAD).

El sistema no es allí, un medio para simplificar lo real para comprenderlo mejor, sino para poner bajo ese vocable todo lo que es invisible e irracional en la elección de los agricultores.

Recientemente, luego de un balance de veinte años de los trabajos monográficos sobre los territorios de pueblos africanos, los géografos proceden a "análisis sistémicos" que consisten en estudiar de manera detallada y a gran escala el espacio de vida de una comunidad o de un grupo de comunidades rurales. Se puso énfasis sobre la manera como la sociedad rural capta las diferencias ecológicas al interior de ese espacio y, saca provecho de su propio "sistema de producción".

Se busca obtener una imágen coherente y cuantificada de un sistema de explotación del medio, ajustado a las limitantes de espacio y tiempo (G. SAUTTER).

Los economistas rurales buscan comprender los grupos sociales y los géografos tratan de encontrar una malla de interpretación del pequeño espacio que observan. En cada caso, la noción de sistema de producción corresponde a la escala donde se coloca el científico y engloba un cierto número de explotaciones cuyo denominador común sería el sistema de producción.

La metodología de esta geografía globalizante se aproxima a aquella de los agrónomos "sistemicas" que expondremos más adelante, aunque difieren las unidades de observación.

Luego de una fase preliminar de algunos meses donde se establecerá una cartografía ecológica, una cartografía paralela de las "unidades de vecindad" (grupos sociales con un asentamiento espacial), una cartografía de las densidades de población y un estudio general y cualitativo del sistema agrario, se procede a una fase de un año de observaciones de los subespacios ecológicos diferenciados y de las explotaciones agrícolas.

En el "sondeo espacio-ecológico", un observador permanente está encargado de anotar todo lo que pasa en el subespacio: aportes de trabajo y de abonos, estacionamiento del ganado, desplazamientos de los trabajadores, transporte de cosechas, reincorporación al suelo de la materia vegetal en diversas formas, formas de cosecha, etc. La unidad espacial de observación debe ser suficientemente amplia, para englobar parcelas bien o mal cuidadas en diferentes épocas del ciclo de explotación (cuando este se extiende varios años). Al fin de este trabajo, se obtiene una verdadera fotografía de la explotación de los sub-espacios ecológicos.

El "sondeo sobre las unidades de explotación"(familias más o menos extensas) se basa en una tipología de explotación, fundada sobre el conocimiento adquirido previamente de los elementos de diferenciación al seno de la sociedad local. El observador está encargado de recopilar los siguientes datos:

- *parte de las actividades de trabajo y otros factores de producción destinados a los diversos sub-espacios ecológicos o tipos de campos;*
- *parte de la producción alimenticia o comercial que proviene de los mismos sub-espacios;*
- *evaluación de esa producción en el calendario de cultivo;*
- *transferencias operadas entre esos sub-espacios ecológicos a través de los intermediarios de la explotación;*
- *almacenamiento de informaciones disponibles sobre cada unidad ecológica (recogidas por los agricultores).*

El análisis de todos esos datos se hace en forma de presupuestos de tiempos, de cantidades físicas ponderadas, de calorías y de dinero, con la idea de que ninguno de esos presupuestos aislado tiene un valor propio. El hecho de que la observación solo se hace durante un año, no permite tomar en cuenta directamente las variaciones interanuales, pero hay tres defensas: se reconstruye la historia de las parcelas, se escoge parcelas de estudio en diversos estados del ciclo de explotación y finalmente, se contínua el trabajo de investigación en los años siguientes mediante la toma de fotografías aéreas usando pequeñas naves de aeroclubes.

El producto final de este dispositivo de comprensión del "sistema de producción" o "sistema de explotación" es el juicio de la coherencia y de la eficacia del sistema agrario con respecto a su medio soporte, es decir:

- *verificar si una fracción del espacio no absorve una parte desproporcionada de factores de producción con respecto a lo que retiran las explotaciones y las comunidades;*
- *verificar si ciertos grupos de explotaciones no disponen de un privilegio ecológico, reservándose el acceso a los sub-espacios que dan más, con una inversión menor;*
- *analizar cuál es la distancia entre lo posible del doble sistema económico y social (conjunto de sub-espacios, conjunto de explotaciones) y la realización agraria efectiva, es decir, medir los márgenes de progreso.*

(Según el artículo de G. SAUTTER difundido en el DSA/CIRAD en 1985).

Esta declaración de intención, notable en el intento de comprender un sistema complejo, parece pretender ser exhaustiva desbordando ampliamente el campo disciplinario. Si la geografía se define como una ciencia de síntesis, es arriesgado afirmar que ella puede abarcar todo . Enormes dificultades metodológicas esperan al observador tanto en la localización de las diversas unidades en el campo, la adopción de las unidades de medida, los dispositivos de seguimiento, la posibilidad material de seguir las parcelas dispersas, así como en efectuar encuestas que pueden repetirse y cansar a los explotantes en observación, el esfuerzo enorme del tratamiento de muchos datos y su interpretación con un mínimo de rigor, el análisis del márgen de error, etc. Ya que los "otros" no trabajan con los mismos conceptos, ni con los mismos objetivos, se busca querer hacer todo individualmente. Es además, una de las paradojas de estos enfoques, ya que una de sus justificaciones es la de facilitar investigaciones pluridisciplinarias alrededor de un objeto común: el sistema. Dicho esto, G. SAUTTER se refiere explicitamente a la ecología para justificar sus usos.

2.6. El sistema de producción en el ecosistema de los ecólogos.

Nos referimos aquí solo a un trabajo realizado en Francia por el investigador alemán K. ELLSASSER (1985) del "Institut Für Landespflege" (Instituto de Ciencias Forestales de la Universidad de Friburg en Brisgau). "Landespflege" no tiene equivalente en francés ni en castellano pero se trata de un conjunto de "actividades científicas y aplicadas que tienen como meta una mejor valorización del espacio y de sus recursos " (según la expresión de M. JOLLIVET)(5).

El espacio artificializado bajo la acción del hombre es un sistema de una complejidad considerable, formado de cuatro sub-sistemas con interacciones:

- un sistema biológico;
- un sistema de las prácticas;
- un sistema de producción;
- un sistema socio-económico

K. ELLSASSER explica que, al contrario de los modelos ecológicos tradicionales que solo estudian los flujos de energía y de materia, él adjunta los flujos de información y los flujos de dinero entre los cuatro sistemas. El sistema de producción, ubicado al centro del modelo, está en realidad constituído de las estructuras de explotación (edificaciones, material, rebaño y fuerza de trabajo disponible). El sistema de las prácticas agrupa todas las actividades del hombre que tienen impacto sobre el ecosistema, para darle valor y sacar beneficio.

El agricultor realiza intercambios con el sistema socio-económico, que en cambio, influencia en su lógica de producción.

El autor ha trabajado con un zootécnico en una pequeña región de Cévennes, en el valle de Taleyrac. La operación ha durado varios años. El grupo de trabajo estuvo asesorado por tres instituciones de investigación: el CNRS/PIREN (encargado de estudios interdisciplinarios entre las ciencias sociales y las ciencias biológicas, en pequeñas zonas de la región montañosa de Causses y de Cévennes en el sur de Francia), el INRA/SAD (Systèmes Agraires et Développement) y el Instituto alemán. Es entonces un estudio de larga duración y fuertemente enmarcado, lo que podría ser uno de los imperativos de una investigación rigurosa sobre sistemas.

En este enfoque, el sistema de producción, aunque ubicado al centro del modelo, aparece solamente como una caja de transferencia, ya que el interés del autor es la valorización del espacio a través de las prácticas de los campesinos tanto en el espacio como en el tiempo. El autor aisla las prácticas en sus conceptos sistémicos, ya que son ellas las que modifican los estados de su objeto de estudio. El hecho de razonar directamente sobre modelos de explicación y de simulación de los diversos estados del espacio, impone la creación de un sistema intermedio entre el ecosistema y el sistema de producción. Sin embargo, esta expresión "sistema de las prácticas" parece un abuso conceptual, en la medida en que las prácticas no funcionan sin soporte y sin meta. Dicho de otra forma, las prácticas serían más bien la expresión del funcionamiento de los sistemas de producción en un espacio dado. Pero no anticipemos sobre la exposición de conceptos convergentes de la agronomía y de la agro-economía francesa, que estan expuestos más adelante.

2.7. Un concepto de sintésis dado por un precursor olvidado: el "sistema" en la antropología agrícola de De SCHLIPPE.

Se debe a L. FRESCO (1984) el recuerdo de los conceptos emitidos por él agrónomo belga P. De SCHLIPPE, en 1956, cuando este trabajaba en Africa Central, sus pasos fueron los de un precursor ya que él consideraba que el trabajo de los agronómos en estación de investigación debería estar precedida por un análisis detallado de las tradiciones agrícolas locales y de sus raciocinios. El definía a la agricultura como una actividad humana y un proceso natural. Estudiarla necesita conocimientos tanto de agronomía como de ciencias sociales, es decir, la antropología agrícola.

El no emplea el término "sistema de producción" en sus dos conceptos claves, pero su sentido se muestra conceptualmente próximo. Para DE SCHLIPPE la agricultura puede estar comprendida en el "sistema de agricultura" y los "tipos de campos".

> *El sistema de agricultura es el "modelo acostumbrado de comportamiento seguido por cada miembro del grupo (etnográfico) en el dominio de la tecnología agrícola". Este se analiza estudiando principalmente:*
>
> - *la repartición espacial de los campos: conjunto de tipos de campo (ver más adelante);*
> - *el uso del suelo en el tiempo (pseudo-rotaciones);*
> - *el calendario de trabajo;*
> - *el calendario alimenticio y de otras necesidades.*
>
> *El sistema de agricultura es un concepto con doble sentido: por una parte, se trata de un conjunto que posée una estructura que constituye un todo orgánico. Pero, es igualmente un conjunto organizado de elementos intelectuales, ya que los elementos de ese sistema funcionan con la influencia cultural del grupo etnográfico. El comportamiento agrícola está dirigido según normas sociales y un cierto conocimiento del medio, el cual es muy detallado en todos sus aspectos (variedades, fechas del calendario agrícola, utilización de los productos, etc.).*

En sentido estructural, el sistema de agricultura está compuesto de:

- *un mosaico ecológico;*
- *un conjunto de cultivos y de variedades diferentes para usos diferentes;*
- *un conjunto de herramientas y métodos técnicos ligados a ...*
- *un proceso de cultivo y de trabajo doméstico.*

De Schlippe cuestiona la idea tradicional de la investigación sistémica que consiste en descubrir por el sistema, el funcionamiento de una estructura. El autor invierte el razonamiento. Todos los elementos toman un sentido cuando se descubre la estructura del sistema de agricultura, conjunto de elementos reales o intelectuales. Le da la imágen de un lenguaje: a las palabras de una frase en un lenguaje, corresponden los elementos de una estructura de un sistema. La estructura está definida por los tipos de campos observados.

Los tipos de campos tienen igualmente un significado agronómico y sociológico. Cada miembro del grupo dispone de varios tipos de campos diferentes por el lugar en el mosaico ecológico, por las asociaciones de cultivos que allí se practican y por las prácticas agrícolas en sí. De Schlippe explica que la estructura no es fija, que ella evoluciona en el espacio y en el tiempo en función de los acontecimientos, de la historia del grupo, etc. Así, la introducción de un cultivo colonial debe ser analizado como un elemento suplementario de la estructura compleja, lo cual no representa sino un nuevo tipo de campo entre los otros y es eso que los agrónomos de estación deberían comprender. Treinta años han pasado y la situación no ha cambiado mucho.

2.8. El concepto restrictivo de sistema de producción en la agronomía andina.

J. MAYMARD demostró en una nota manuscrita (ORSTOM, 1982), como los agrónomos colombianos concebían los sistemas de producción, en un sentido totalmente diferente del nuestro (de los nuestros), ya que se trata de "tipo de campo" visto desde un punto de vista estrictamente agronómico.

> *Un sistema de producción está formado por un "conjunto productivo" y un cierto "arreglo". El conjunto productivo está definido por las condiciones no modificables del medio, a saber, la altitud que determina la temperatura y, la pendiente que fija las condiciones del drenaje y las posibilidades de empleo de máquinas. El arreglo expresa la forma en que se encuentran las especies vegetales sobre una determinada superficie de terreno. Se clasifica esos arreglos en cultivo puro, cultivo asociado, cultivo intercalado, etc, esto para darse cuenta de los grados de competición entre las plantas cultivadas. Un sistema de producción podría ser entonces aquel del cultivo puro del maíz que se encuentra en un conjunto productivo caracterizado por una altura comprendida entre 1800 y 2000 metros y por una pendiente media del 60%.*

MAYMARD indica que se puede definir así, un gran número de sistemas de producción y cita el caso de una pequeña región natural donde se le ha denominado setenta y cuatro. El autor enfrenta entonces, el concepto analítico y disyuntivo de la agronomía americana, con el concepto sintético e integrador de la agronomía francesa (ver más adelante).

El dá una explicación seductora de la diferencia de conceptos insistiendo sobre el medio cultural de los agrónomos. En Europa, se les forma para tener una visión a largo plazo de las actividades y de las decisiones; es la idea del aprovechamiento duradero y de la conservación de los medios de producción (aquí se puede añadir la transmisión del patrimonio). En américa, las preocupaciones son a corto plazo y los objetivos de producción, son considerados aisladamente. Además, este autor añade que el problema de rotación de los cultivos es evocado rara vez, que no se le da importancia y que las observaciones y experimentaciones sobre este tema no existen en Colombia.

En mi conocimiento, la situación en Ecuador es idéntica ya que el INIAP solo trabaja en los tipos de campos, con un procedimiento tipo "cropping systems research". Esto nos lleva directamente a considerar la definción de sistemas de producción y los criterios que se derivan, no por las disciplinas científicas directamente, sino por los organismos que hacen la investigación sobre los sistemas para actuar directamente sobre el desarrollo rural .

3. LAS INVESTIGACIONES "SISTEMICAS" INSPIRADAS POR EL DESARROLLO EN MEDIO TROPICAL: UNA DISCIPLINA MULTIPLE ORIENTADA ALREDEDOR DE DIVERSOS CONCEPTOS.

3.1. Orígenes de los enfoques sistémicos.

En los organismos de investigación ligados a las estructuras de desarrollo como el actual CIRAD en Francia, se tiene la costumbre de situar el orígen de las investigaciones sistémicas al final de los años 1960, cuando ciertos agrónomos salieron de su estación agronómica para intentar comprender porqué sus trabajos no ocasionaban aparentemente ningún cambio en los alrededores inmediatos de la estación. Un poco más tarde, en los años 1970, los procedimientos anglosajones de los Centros Internacionales de Investigación Agrícola constataron igualmente un cierto fracaso de la transferencia de los resultados de investigación hacia el desarrollo de los agricultores campesinos.

Sin embargo, no por eso hay que olvidar las intervenciones más antiguas que fueron concebidas según un enfoque sistémico evidente: hablo de las grandes operaciones de encuadramiento del campesinado antes de 1960.

> *L. FRESCO, (1984) recuerda en su comparación entre el enfoque "Farming systems research" y el enfoque "recherche-developpement", que en los años 1950, el Instituto Nacional para el Estudio Agronómico del Congo Belga procedió a investigaciones "sistemicas" conjuntamente con la forma autoritaria de reorganización de la agricultura. La administración colonial trató de imponer "corredores de cultivo homogeneo" en cada uno de los cual los campesinos recibían una parcela. En este caso, se imponía un sistema de producción, es decir imitar un modelo que la investigación había contribuido para ponerle a punto.*
>
> *Este modelo de intervención no ha sido solamente el patrimonio de visiones coloniales. En Egipto, por ejemplo, es a nombre del "socialismo árabe" que la administración de NASSER ha impuesto durante la reforma agraria el bloque de cultivo obligatorio (RUF Th., 1984). Se encuentra esta forma particular de ingerencia del Estado en muchos grandes proyectos de riego como la Agencia del Niger (Office du Niger) al MALI, antes o después de la independencia.*

En todos esos ejemplos, la administración pública cualesquiera que sean las motivaciones ideológicas y económicas que regulan su acción, cree poder substituir a los campesinos para tomar las decisiones de gestión del sistema de producción que le interesa y, para mayor seguridad, prefiere imponer su modelo. En la realidad, no siempre tiene éxito y debe enfrentar diversas formas de resistencia. A veces, la admimistración pública termima por claudicar y restituye a los campesinos su margen de maniobra, entonces reencuentra los problemas de intervención más clasica a traves de las estructuras de vulgarización.

3.2. Los primeros análisis de situación.

Clásicamente, un dispositivo de investigaciones se situa en lo alto del dispositivo de desarrollo. Los agrónomos estudian en estaciones experimentales los factores del medio natural y proponen a los servicios de vulgarización "paquetes tecnológicos" supuestamente adaptados. Muchos autores han señalado los problemas de este procedimiento en el que se tiene tabiques entre investigación y vulgarización: la puesta a punto del paquete técnico sin tomar en cuenta los factores o condiciones socioeconómicas de las explotaciones, la mala transmisión de los resultados para nuevas interrogantes a la investigación.

Del lado francofono, esta constatación ha llevado a los investigadores a implentar procedimientos detallados de colección de datos sobre los procesos de producción en medio real, a razonar en terminos de "sistemas de producción" principalmente en la perspectiva de dar un consejo de gestión a los agricultores que participan en la investigación (7). Pero los investigadores han querido hacer explicitas sus relaciones con instituciones de desarrollo, talvés porque las estaciones experimentales estaban cercanas de las bases de las sociedades de desarrollo, o porque los investigadores frecuentemente se juntaban con los ingenieros o agentes de esas organizaciones, o también porque ellos pasaban de una organización a otra.

Esta es talvés una de las razones que explica que el término que consagra la evolución de la investigación de agrónomia francesa en el tercer mundo sea "investigación-desarrollo" y no "investigación sobre sistemas de producción" como donde los anglosajones.

Es muy cierto que las instituciones anglosajones de investigación (universidades y centros internacionales) estan bastante más alejadas de las organizaciones de desarrollo sobre el campo, que las instituciones francesas en los correspondientes paises de influencia. Además, el punto de partida de las "farming systems research" fué, según FRESCO, mucho más intelectualizado: era el temor de ver marginalizarse a un gran número de pequeños campesinos.

3.3. Los conceptos anglosajones de la investigación "farming systems research" y sus metodologias generales.

Para luchar contra la marginalización y porque las investigaciones tecnológicas clásicas no tomaban en cuenta las "circunstancias" de los pequeños agricultores, la idea de partida fué promover investigaciones participativas con aquellos que tenian limitados recursos para poner a punto nuevas tecnológicas. Se trabaja entonces directamente a nivel de sistemas de producción (farming systems) definidos asi (las definiciones siguientes sobre conceptos y métodos han sido sacadas de FRESCO, 1984):

> *"a farming system is not simply a collection of crops and animals to which one can apply input or that, and expect immediate results. Rather it is a complicated interwoven mesh of soils, plants, animals, implements, workers, others inputs and environmental influences with the strands held and manipulated by a person called the farmer who, given his preferences and aspirations, attemps to produce output from the inputs and technology available to him". (CGIAR, 1978.- a review of farming systems research at the international agricultural centers. - Rome).*

> *"Farming systems research is aimed at enhacing the efficacy of farming systems through the better focussing of agricultural research so as to facilitate the generation and testing of improved technology" (SHANER e.a., 1981.- Farming systems research and development guidelines for developping countries. - Westview Press, Boulder, Colorado).*

La metodología debe seguir un riguroso esquema:

1. formar un equipo pluridisciplinario adscrito a un CIRA;
2. identificar los objetivos de investigación;
3. analizar las estructuras técnicas y económicas de los sistemas de producción para a continuación trabajar por categoria de sistema;
4. identificar los potenciales de innovaciones;
5. testar en estación y en explotación;
6. colaborar con los programas nacionales de investigación;
7. repetir los experimentos (con los centros de investigación de los paises asociados);
8. transmitir las innovaciones exitosas a los servicios de vulgarización;
9. recuperar los resultados de la vulgarización a nivel de los programas nacionales y del CIRA;
10. elCIRA tiene la responsabilidad de la red y garantiza la formación de los investigadores.

Como lo dejamos entender anterioramente, el dispositivo está centrado en un vasto organismo de investigación que pone a trabajar toda una serie de equipos nacionales. Los servicios de vulgarización permanecen a un lado del proceso de investigación, no intervienen sino para confirmar la validez de los modelos puestos a disposición en las explotaciones asociadas.

Además del hecho que vemos alli un ejemplo de dominación científica, que podría acompañar las estrategias geo-políticas, constatamos que el objeto científico es todo un conjunto de sistemas (diversas explotaciones agricolas), pero esos sistemas son considerados como independientes los unos de los otros.

Claro está que existen variantes de ese "sistema de investigación", comenzando por aquellos que estiman suficiente el estudio de los "sistemas de cultivos" (cropping systems research) como el IRRI, sin preocuparse mucho del sistema de producción.
"Cropping system" significa:

> *"The crop production activity of a farm, with its components: physical and biological factors as well as technology, labour and management". (ZANDSTRA e.a., 1981.- A methodology for on-farm cropping systems research.- IRRI, Los Baños).*

La investigación consiste a aumentar la producción en el conjunto de parcelas de la explotacíon escogida . El método consiste en:

1. Selección de zonas específicas (representativas de regiones homogéneas y prioritarias para el gobierno);
2. Descripción de las zonas escogidas según los tipos de campos (definidos con la repartición de los cultivos en el espacio y en el tiempo, y según el desenvolvimiento de los cultivos); se añadira los tipos de explotaciones pero en el sentido de precisar la descripción de los tipos de campo;
3. Establecimiento de modelos de cultivo alternativos tomando en cuenta su viabilidad técnica y económica;
4. test de modelos en los terrenos de campesino puestos en cultivo por el equipo de investigación;
5. programa de tests de pre-producción y de producción piloto por loscampesinos en la perspectiva de transmitir ala vulgarización los modelos que funcionan;
6. formulación del programa de producción que consiste en capacitar el personal de vulgarización por el equipo de investigación, y asegurar la coordinación institucional para la difusión de las semillas, los fertilizantes, etc y la organi zación de la comercialización.

El CYMMIT colabora con un procedimiemto análogo con los institutos nacionales de investigación de MEXICO, PANAMA, ECUADOR, etc.

Los matices de conceptos entre el enfoque "farming systems research" y "cropping systems research" deben probablemente ser puestos en relación con los iniciadores de esas operaciones. Si ellos son economistas, optarán principalmente por la primera, y si son agrónomos, por la segunda. Sin embargo, lo que les diferencia es evidentemente el proceso de selección de los asociados, ya sea luego del análisis previo de los sistemas de producción, o luego del análisis de los tipos de campos.

A continuación el objetivo es idéntico, esto es mejorar la investigación agrónomica en estación dándole una problemática sacada del campo y también someter a test los resultados de las nuevas investigaciones con el grupo de campesinos que participan en el proyecto (según DILLON Y ADERSON, 1983, citado por TOURTE, 1984).

Luego de la evaluación de los resultados obtenidos según esos modelos de investigación , se vió que todos los campesinos no aceptaban el (los) modelo (s) -en los dos casos, el modelo no es instrumento sino modelo a imitarse- y que los rendimientos eran inferiores a los potenciales.

Los agrónomos y los economistas han introducido la noción de "yield-gap", lo cual es literalmente "la brecha en el rendimiento": se trata de comprender las presiones físicas, biológicas y socio-económicas que explican el distanciamiento entre lo potencial y lo real y se trata también de determinar un rendimiento economicamente viable (FRESCO) (8).La socio-economía, interviene más a menudo para hacer una evaluación después de la introducción de los nuevos modelos. Como último recurso, los sociólogos están encargados de "explicar las reticencias o de demostrar el efecto maligno de ciertas organizaciones" (DILLON, et al.).

Como lo habíamos señalado con MAYMARD en los enfoques disciplinarios (capítulo 2.8), los objetivos de esas investigaciones anglosajonas son a corto plazo, ya que no se busca explicar las diferencias ni las productividades agrícolas débiles (TOURTE, 1984): hay que encontrar directamente las vías y los medios de intensificar la producción de un tipo de campo o de un conjunto de tipos de campo presentes en los tipos de explotación agrícolas considerados.

En la práctica, eso provoca muchas clasificaciones según los criterios que se obtienen generalmente de la presunción sobre las diferencias significativas (como el famoso sistema de los naturalistas del siglo XVIII). Estas son muy duras de establecer, difíciles de restituír y no siempre evidentes de poderse emplear a nivel de los "dominios de validez" y de la vulgarización. En esas condiciones, se procede a hacer extensiones de los resultados del estudio de un sistema de producción (de una explotación), afirmando su representatividad en tanto que el sistema dominante de producción regional como lo hemos subrayado a propósito de los economistas rurales (capítulo 2.4.). Parece que ese procedimiento es un abuso conceptual: El GRET (1986) insiste afirmando que el "agregamiento de sistemas de producción no constituye un sistema de orden superior, sino cuando las interacciones son tomadas en cuenta, lo que no es el caso general".

3.4 Crítica anglosajona de los enfoques "Farming and crooping systems"

Es en reacción contra los "estudios rurales considerados como uno de las más ineficientes industrias del mundo" (expresión de BEEBE, 1985) que un enfoque nuevo ha sido desarrollado (sobre todo en los centros de investigación con medios financieros limitados): the Rapid Rural Appraisal (evaluación rural rápida).

> *Se trata de un diagnóstico realizado en una pequeña región por un grupo de unos diez especialistas repartidos en partes iguales entre la tecnología y la socio-economía. El trabajo en el terreno dura solamente algunos días, al cabo de los cuales el equipo pretente poder formular una problemática detallada y orientada de las investigaciones. Se evitará así las falsas rutas descubiertas más tarde en el enfoque farming systems (9).*

Los promotores de estos diagnósticos rápidos, utilizan un argumento nuevo en los enfoques anglosajones: contrariamente a la investigación "farming systems" que tiene tendencia a tomar un sistema de producción medio, la evaluación rápida debe insistir en la diversidad de sistemas de producción y precisar sus mayores problemas poniendo al día para cada grupo identificado, los comportamientos racionales y concluídos con las siguientes prioridades:

- obligaciones sociales y culturales de la comunidad;
- aprovisionamiento cotidiano de víveres preferidos;
- ingresos para satisfacer otras necesidades primordiales;
- ingresos suplementarios.

(COLLINSON, 1982 citado por BEEBE,1985 y por el GRET, 1986)

Interesante, por su enfoque más abierto sobre la diversidad de explotaciones y de objetivos variables de los campesinos, la evaluación rural rápida, encuentra sus límites en el proceso de colección de información bastante empírica (la encuesta con cuestionario es totalmente condenada). Se confía en la intuición de una serie de "especialistas eminentes". Es legítimo pensar que lo que se hace es aumentar las impresiones que serán complementarias, pero hay el riesgo de cometer errores sobre los sistemas en donde la complejidad y las interacciones raramente aparecen después de la primera ojeada.

Eso no impide que esta evaluación pueda ayudar efectivamente a un investigador a emprender una operación sistémica, partiendo de las múltiples hipótesis planteadas por el equipo de evaluadores. Esto evitaría ciertas desventuras obtenidas en la investigación en el tercer mundo.

Los criterios anglosajones sobre el enfoque farming-systems se juntan con aquellos de la investigación-desarrollo en Francia. Estos últimos insisten no solamente en el análisis de la diversidad del mundo rural, sino que estiman generalmente que hay que tener en cuenta las relaciones sociales existentes que influyen en particular, en las prácticas comunes de los agricultores, como por ejemplo, el derecho de pastar libremente dentro de los terrenos del pueblo.

Se puede también referir a los casos citados anteriormente, cuando el estado interviene directamente en la toma de decisiones de los campesinos, sea imponiéndoles la alternabilidad de los cultivos, sea controlándoles los "sistemas de riego", o sea también imponiéndoles las dos cosas (perímetros egipcios, algerianos, marroquies, malies, etc.)
Sin ir hasta una hipercentralización de las decisiones, todos los perímetros regados del mundo funcionan en base de reglas comunes de división del recurso más o menos equitativas.

No se podría comprender los sistemas de producción de las explotaciones sin comprender sus relaciones, sus medios, sus intercambios, sus conflictos, etc.
Tenemos que ocuparnos de un sistema de orden superior con compartimentos ligados por funciones de producción, de intercambios, de regularización, de información y de control.
El solo problema conceptual alrededor de ese super-sistema llamado en Francia "sistema agrario", es el de saber si está verdaderamente organizado en función de una meta.

Esto parece claro en ciertos casos: la organización del dominio colectivo sobre la crecida del Nilo, respondía hasta el siglo XIX, a una meta común para todos los miembros de la sociedad: la producción alimenticia dividida entre el Estado y las comunidades campesinas y la mantención del dispositivo complejo de derivación de las altas aguas, cuestión de vida o muerte.

Es menos evidente para el caso de sociedades muy fragmentadas donde cada individuo o grupo de individuos creen en su completa autonomía y funcionan según sus objetivos.
Sin embargo, es probable que la fijación de los objetivos dependa de las condiciones culturales y técnicas de la sociedad (ver De SCHLIPPE), y que, si los objetivos de estos grupos son contradictorios, se produzcan ajustes permanentes. Se puede entonces analizar no la meta de un sistema agrario, sino el conjunto de metas de sus componentes y su resultante.

Tales reflexiones no son compartidas por todos los partidarios de la investigación-desarrollo como lo vamos a ver.

3.5. Una forma particular de la investigación sobre sistemas de producción: la investigación sobre el "consejo de gestión" de los explotantes.

Aquí nos referimos a un enfoque desarrollado en el seno del IRCT (Instituto de Investigaciones sobre el algodón y los textiles) y expuesto principalmente por FAURE y otros (1984) en un artículo del 4o. Congreso de la Asociación Europea de Economistas Agrícolas, titulado "sistemas de producción en las zonas algodoneras de Africa, proposición para un procedimiento para el consejo de gestión".
La justificación de esta investigación es la siguiente:

> *"tarde o temprano, los campesinos están o estarán en plena transformación por el paso del autoconsumo hacia una economía de mercado; del cultivo ambulante hacia un cultivo fijo, del cultivo manual a un cultivo mecanizado".*

El recurrir al concepto de "sistema de producción" (y al consejo de gestión), tiene como meta ayudar a los campesinos a "pasar una etapa".
En realidad, las categorías previstas por el proyecto son aquellas que tienen un campo de algodón, y se busca preparar a los campesinos involucrados a una transformación ya descrita.
El procedimiento necesita que los investigadores se pongan a la escucha de los campesinos para darles consejos y no consignas como se tenía la costumbre en la Sociedad de Desarrollo.

Sin embargo, los investigadores dicen tomar en cuenta los objetivos del Estado y de la Sociedad de Desarrolo, para estar en armonía con todos los asociados.
Esta visión está representada por un esquema muy simple y muy corriente en los organismos franceses de "investigación-desarrollo".

INVESTIGACION

DESARROLLO **CAMPESINOS**

Como en los enfoques anglosajones, la metodología desarrollada en el IRCT es codificada:

1 Zonificación y tipología de regiones con utilización de métodos "objetivos" por clasificación automática;

2 Estudios y encuestas previas para definir pequeñas regiones y escoger pueblos representativos;

3 Tipología de las Unidades de Producción Agrícola (según el tamaño,el nivel de equipamiento, los tipos de producción a menudo ligados a la etnia);

4 Estudios de casos de UPA con el fin de conocer los parámetros a colectarse en los UPA a aconsejar.

Recurrir a la computadora se cree "más objetivo", lo que nos parece peligroso ya que una manipulación de cifras da cuenta de la realidad solo en función de los datos que se guarda y de su calidad.
Nosotros tomamos de G. SAUTER su grito de alarma: no hay que contentarse de procedimientos de automatización de la adquisición de conocimientos o de la acción en el medio rural; esta actitud hizo estragos en los años 1960 en Africa con las grandes encuestas estadísticas.
El peligro de tales dispositivos, que acecha a los investigadores, sería pura ysimplemente la pereza intelectual o la satisfacción narcisista de buscar doblar el mundo según la forma de su espíritu.
SAUTTER termina diciendo que eliminar el factor individual de apreciación, es dar valor nulo o en todo caso no pertinente, aaquello quese acostumbra llamar el talento o el juicio (artículo de G. SAUTTER difundido en el DSA/CIRAD en 1985).

3.6. El "sistema de producción" del enfoque Investigación-desarrollo.

La definición que sirve de referencia a la mayoría de trabajos franceses y que tiene que ver con este enfoque, es atribuído a R. TOURTE (1978):

> *"Combinación de producciones y de factores de producción que el agricultor razona en función de sus objetivos y de sus medios; se caracteriza (y es al mismo tiempo ampliamente impuesta) por un patrón de cultivos, un aparato de producción y una disponibilidad de mano de obra que constituye de hecho la estructura de la explotación". (10)*

Pero la ambición de la investigación-desarrollo no es solamente comprender como razona el agricultor una vez conocidos sus objetivos.
También se interesa por los sistemas de orden infefior, como los sistemas de cultivo y los sistemas de crianza, y por los sistemas de orden superior como los sistemas agrarios.
El famoso esquema triangular entre la investigación, el desarrollo y los campesinos, constituye en sí un objeto de investigación:

> *"administrar mejor las explotaciones, arreglar los espacios, profesionalizar la agricultura, son los tres mayores objetivos del desarrollo rural y a los cuales contribuye la investigación de los sistemas de producción y de los sistemas agrarios (LEFORT, 1984).*

La metodología correspondiente ya no es lineal (muchas variantes son admitidas en la sucesión de las operaciones), lo cual no quiere decir que ella no sea normalizada en función de formas de investigación y de intervención (análisis, constitución de referencias, difusión) y de escalas de estudio (la parcela o el rebaño, la explotación agrícola, o las pequeñas zonas rurales):

	parcela, rebaño	explotación agrícola	pequeñas zonas rurales
análisis de los sistemas agrarios	problemas de los sistemas técnicos	tipologías dinámicas	unidades dinámicas
constitución de referenciales técnicos	referenciales técnicos nuevos	funcionamiento dinámico de las explotaciones ayudas para la decisión	referencias nuevas para el arreglo del espacio
apropiación, difusión, test, consejos	vulgarización de las técnicas	consejo de gestión técnico - económicas	consejos de arreglo

La investigación-desarrollo está construída alrededor de la idea de que los sistemas considerados son como modelos de cambio gracias a nuevos referenciales. En el fondo, el procedimiento no difiere mucho del enfoque "farming systems". Allí encontramos igualmente el diagnóstico, la elaboración de referenciales, la experimentación, la vulgarización, la generalización. Al contrario, ella va más allá, mostrando objetivos de transformación del medio estudiado (la región pequeña). Consecuentemente, es más difícil de dominar.

3.7. Críticas francesas al procedimiento francés de investigación-desarrollo en el tercer mundo.

La práctica de la investigación-desarrollo hace aparecer grandes debilidades en los dispositivos existentes. Trataremos de sintetizar sus caracteres a partir de una nota de trabajo escrito en 1985 con P. GRANIER luego de varias misiones de apoyo o de evaluación. No se trata de todos los proyectos de investigación-desarrollo, sino de algunos riesgos de desviación de las intenciones iniciales:

1. El carácter marginal.

Se aplica a las regiones geográficas elegidas, al medio socio-político y administrativo y finalmente al conjunto de investigaciones nacionales de los países involucrados. La zona de estudio es a menudo muy localizada, por ejemplo un pueblo o a veces algunos campesinos de un pueblo. Finalmente, el estudio es rara vez confiado a un equipo de investigadores, sino a un solo investigador eventualmente asistido por otro.

2. El carácter ideológico del enfoque implantado por jóvenes investigadores poco experimentados.

Esto se manifiesta por la negativa a tener en cuenta trabajos antiguos (falta de cultura científica), por la idea de no emplear sino los recursos locales mientras que puede haber innovaciones exteriores que podrían ser perfectamente adaptadas. De hecho, desde la elección de la zona, solo se trabaja sobre el sistema agrario local, sin incorporar ese trabajo a unconjunto regional más vasto.

3. El deslizamiento del investigador angustiado frente a su objeto de estudio.

Aparece primero en el activismo, que consiste en tomar responsabilidades locales que no debe asumir, eso le lleva a actuar en dominios fuera de su competencia, cortando además el

medio estudiado de los servicios normales, lo cual aisla más la zona estudiada luego del inicio del proyecto de investigación.

El deslizamiento continúa en la realización de experimentos cuyos resultados son fracasos repetidos, aceptados como tales ya que informan sobre el medio, pero perjudiciales para la operación de la investigación, ya que los campesinos no siempre tienen los medios de interpretarlos.

Estas desviaciones se amplían por las condiciones de vida y de trabajo a menudo bastante difíciles. En la carrera del investigador en el campo, siendo corta, este tiene la preocupación de llegar a cualquier precio a resultados, lo cual le lleva a "negociaciones".
El busca complicidades. Por fin, los campesinos pueden buscar una cierta ventaja de su experiencia y tratar de satisfacer a su asociado.
Entonces, los resultados obtenidos son poco reproductibles. Por ende, el investigador se desanima y termina por comprender que su carrera científica está comprometida por esta experiencia.

Finalmente, hay una especie de retroceso sobre el conjunto del proyecto y del análisis inicial en término de sistema agrario ya que se llega en la mayoría de casos a hacer pequeñas innovaciones en algunas parcelas.
Además, no es lógico fijar toda la intervención sobre la aceptación de una innovación encontrada a nivel de una parcela,para toda una población que ha integrado en sus estrategias la migración, el comercio o la expatriación o aún la pluriactividad.

(Según GARNIER P. y RUF Th., 1985.- nota de trabajo titulada : "a propósito de la investigación - desarrollo". MONTPELLIER, 5p. dactilografiadas).

Así, no es fácil razonar en "sistemas" y en "intervenciones sobre los sistemas". Los pasos sistemicos o investigación-desarrollo fallan en gran parte en sus objetivos :

- sea porque han subestimado la complejidad de los sistemas que estudiaban;
- sea porque han sobreestimado la capacidad de los investigadores para tomar en cuenta todos los factores;
- sea porque al querer estudiar todo, su objeto de investigación se redujo espacialmente y se hizo imposible sacar enseñanzas de una nueva experiencia muy localizada;
- o sea aún porque los dispositivos de estudio bastante bien pensados en el escritorio, no han resistido a las presiones del campo.

No es nada evidente auscultar a un campesinado, si este ve mal vuestra presencia y es igual cuando la ve bien (demasiado bien).

En descargo de todos los investigadores involucrados en esas operaciones, hay que reconocer que nosotros estamos bastante lejos de saber "modelizar" los sistemas que definimos (refiriéndonos a modelos-instrumentos). La informática (que acompaña "sistematicamente" las investigaciones "sistémicas") es más bien utilizada para tratamientos estadísticos, para bancos de datos regionales o para la cartografía automática.

La realización de modelos que provengan de la ecología o de la economía, o que sean matemáticos o de simulación, conduce solamente a resultados parciales e insatisfactorios. Los modelos analógicos, como por ejemplo los juegos de función, no han sido lo bastante desarrollados (sobre todo en el aspecto de interacciones entre explotaciones de un sistema agrario).
Es posible que el desarrollo de la microinformática haya ocultado ese campo de análisis, al menos para la agricultura.
Por el contrario, el trabajo sobre modelos de conocimiento o explicativos de los funcionamientos de la explotación agrícola ha constituído una de las bases de renovación de la agronomía en Francia, así como uno de los medios de encuentro con otras disciplinas de las ciencias económicas y sociales.

4. EL ESFUERZO DE CONCEPTUALIZACION SOBRE LOS SISTEMAS DE PRODUCCION EN LA INVESTIGACION AGRONOMICA FRANCESA.

El "pionero" que ha llevado una parte de los agrónomos a redefinir su disciplina es indudablemente M. SEBILLOTTE, profesor de Agronomía del Instituto Nacional Agronómico de Paris - Grignon, quien es además responsable de una unidad de investigación del INRA en el Departamento de Sistemas Agrarios y Desarrollo. Las publicaciones que le dan autoridad (1974, 1978, 1979, 1985, 1986 y CAPILLON, SEBILLOTTE, 1980) son sobre el papel del agrónomo, sus conceptos y sus métodos.

SEBILLOTTE comienza recordando tres aspectos principales que se plantean a un agrónomo:

1 Resolver un problema sin poner en juego el sistema de producción adoptado por el agricultor ("sistema de producción" está definido en el capítulo 2.4.);

2 Contribuír al estudio de las posibles transformaciones de un sistema de producción (por ejemplo, modificando uno de los subsistemas);

3 Tener un papel prospectivo sobre la agricultura de una región y las posibles vías de desarrollo.

> *"El agrónomo debe admitir que la explotación agrícola es un conjunto complejo y que las elecciones o decisiones deben ser abordadas no de manera simplificada, sino teniendo en cuenta el sistema de producción actual, su funcionamiento, los objetivos del agricultor, su experiencia pasada que le da el retroceso necesario (que el agrónomo generalmente no lo tiene) para adoptar o rechazar una innovación, una transformación, etc." (SEBILLOTTE, 1979).*

Para la nueva "escuela de la Agronomía", la agricultura no es la prolongación de la agronomía científica tradicional, sino una actividad autónoma que tiene sus propias reglas y con fines radicalmente diferentes.

Es por esto que el agronómo encargado de estudiar las explotaciones agrícolas, debe interesarse en los mecanismos de toma de decisión en la explotación.

Para abordar la explotación agrícola, el agrónomo dispone de las siguientes puntos claves:

1 El agricultor administra su instrumento de producción según tres grandes objetivos cuya importancia varía a lo largo de la vida del explotante:

- asegurar al menos su subsistencia y la de su familia;
- en lo posible, mantener e incluso mejorar su instrumento de producción para poder conservar su actividad (y eventualmente transmitirla);
- mantener y mejorar su estatus social.

2 La elección de su sistema de producción (en el marco de su medio ambiente) está en relación con esos objetivos y también con diversas presiones impuestas principalmente por:

- la historia de la explotación;
- los objetivos de organización de la vida familiar (por ejemplo sobre el tiempo de trabajo).

Este enfoque es seguramente aquel que persigue la comprensión más completa de la gestión de una explotación. Es verdaderamente una toma de conciencia de "sistema complejo" (ver capítulo 1).
Además, los métodos de trabajo han seguido el mismo camino, es decir se han vuelto complejos, ya que ponen en juego diversas técnicas de observación, de seguimiento, de medidas y de encuestas.

El instrumento de producción puede describirse como constituído de :

- la tierra (superficies, características físicas, tipos de tenencia);
- la fuerza de trabajo disponible, familiar o no familiar;
- el ganadero;
- las edificaciones;
- el material;
- los diversos stocks;
- los medios financieros, propios o no.

La definición del concepto de "sistema de producción" puede ser el siguiente:

> *"el agricultor combina los elementos constitutivos de su explotación en un sistema de producción que incluye los sistemas de cultivo y frecuentemente los sistemas de crianza, de acuerdo a las posibilidades (según el medio) y según los elementos del instrumento de producción, las posibilidades de producción vegetal y animal que permite el ecosistema y de los objetivos que él se ha planteado" (modificado de SEBILLOTTE).*

Esta definición tiene el mérito de ser más dinámica que las precedentes, en su forma, ya que el sistema no es inmutable sino que está en movimiento permanente.
Si el campo de las posibilidades evoluciona y si los objetivos familiares cambian, la combinación ya no será la misma. Se acerca a la idea de De SCHLIPPE sobre las adaptaciones del sistema de agricultura y de los tipos de campos en función de los acontecimientos socio-culturales internos de la concesión familiar y en función de los acontecimientos externos.

Para analizar esas adaptaciones, se trata de comprender las tomas de decisión que han llevado a la actual situación, en función de tres mallas de análisis:

- cuáles son las funciones globales que la familia asigna a la explotación ?;

- cuáles son las estrategias a término medio ?. Es la descripción de los componentes del sistema de producción;

- cuáles son las tácticas ?. Es el empleo diario del sistema de producción con sus adaptaciones en función de los acontecimientos más o menos aleatorios.

Estas definiciones abren las puertas a otras disciplinas. Así el campo de las posibilidades, no se percibe solamente como una técnica sino que depende también de las relaciones con aquellos que utilizan los mismos recursos: el acceso a la tierra, el acceso al riego cuando existe una red, el acceso a la fuerza de trabajo disponible fuera de la explotación, el acceso a las herramientas, el acceso al crédito, etc.

En el marco de su racionalidad personal, las elecciones de los agricultoresson en principio coherentes.
A partir de su visión del medio socio-económico y de lo que él se cree capaz de realizar, el agricultor traduce la manera de como alcanzar sus objetivos. Una parte del papel del agrónomo es la de juzgar el comportamiento de las explotaciones con relación a la coherencia del agricultor.

El agrónomo, deberá describir el sistema complejo minuciosamente y dar cuenta de los procesos de producción, elaborando un modelo explicativo y de conocimiento el que sirve para trazar las hipótesis que se verifican midiendo los diferentes flujos de materias, de trabajo, de información y de dinero, entre los subsistemas.

El diagnóstico tendrá que ver por un lado con ciertos aspectos sectoriales del funcionamiento del sistema de producción como, por ejemplo la adecuación entre la oferta y la demanda forrajera (relación entre los sistemas de cultivo y los sistemas de crianza), y por otro lado con el conjunto del sistema de producción, es decir, con su reproductividad.

Para alcanzar estos, se dispondrá de tres balances complementarios:

- un balance de fertilidad (mineral, orgánico, hídrico, parasitario);
- un balance de los tiempos de trabajo;
- un balance financiero (cuenta de explotación y cuenta de tesorería).

Ya que este enfoque es completo y complejo, tiene obviamente sus limitaciones que serán difíciles de minimizar. Primero porque pone en marcha un proceso de observación y de encuesta muy pesado, que supone el mantener con él o los campesinos, relaciones durables a lo largo de la fase de estudio.

Luego porque hay siempre dificultades para revelar los objetivos de las familias, sobre todo si cada miembro no está listo para exponerlos en caso de conflicto familiar o en caso de objetivos no claros. Además, se encuentra siempre enormes dificultades para representar en forma gráfica, el funcionamiento de sistemas complejos.

Finalmente, la medida de los flujos, las unidades pertinentes, la variación relativa del valor real de una unidad de medida, provocan problemas no despreciables. Pero como lo hemos indicado antes, este procedimiento tiene el gran mérito de abrir nuevas perspectivas de investigación, donde cada disciplina puede situar su trabjo propio y alcanzar un diagnóstico completo a condición de que su objeto de estudio sea en un momento dado, una explotación agrícola.

La comprensión de la coherencia entre el comportamiento de una explotación y los objetivos del explotante y de su familia, pasa por la puesta al día de las relaciones entre la familia y la explotación y por el análisis de la historia de la explotación.

La investigación histórica ayudará mucho a la fórmulación de los objetivos familiares, pero su interés va mucho más allá que eso. En primer lugar, este enfoque suscita el interés del agricultor quien es más acostumbrado a encuestas sobre sus terrenos, sus rendimientos y su ingreso. Allí, el encuentra la ocasión de explicar las elecciones antiguas, de describir las dificultades que ha encontrado, de señalar los orígenes y de precisar las fechas claves en la historia donde la explotación y la familia están a menudo ligadas. Entonces, se debe ocupar de reconstituir, sobre el período que se acuerda el agricultor, la evolución de los diferentes elementos y subsistemas de explotación: familia, tierra, sistema de riego eventual, construcciones, materiales, sistemas de cultivo, sistemas de crianza.

El análisis histórico aporta tres elementos determinantes para comprender las actuales situaciones:

- la formulación de los objetivos, más realista;
- la importancia de las presiones heredadas del pasado, reciente o no;
- datos más objetivos sobre la explotación actual ya que han sido dados durante la exposición de una dinámica.

A partir de los éxitos obtenidos con esta forma de encuesta, pareció natural proceder a comparaciones de la historia entre explotaciones o, según el término consagrado a comparaciones de "trayectorias de explotación". Como resultado se tiene una tipología de las trayectorias de explotación cuya importancia es considerable ya que ofrece tres grandes utilizaciones:

1. Es una base mucho más interesante para estudiar sistemas de producción muy diversos (antes que una tipología basada sobre estadísticas de estructuras);
2. En el plano científico, se puede tomar el hecho de que ciertas explotaciones se han diferenciado a partir de una situación aparentemente similar y entonces trabajan sobre los procedimientos de diferenciación social, económica y técnica;
3. En el plano de las organizaciones de desarrollo, es una base muy interesante de reflexiones sobre las acciones a seguir, según las trayectorias descubiertas. No hay que olvidar que el acto técnico, por muy importante que sea, no es jamás un acto en sí y, que hay que pensar como parte de un todo al cual él debe fecuentemente adaptarse "(SEBILLOTTE, 1985).

CONCLUSION

LA COMPRENSION DE LOS "SISTEMAS DE PRODUCCION", APERTURA A UNA NUEVA DISCIPLINA O BASE DE ENFOQUES PLURIDISCIPLINARIOS ?.

De la lectura de los párrafos anteriores, se puede perfectamente dar cuenta del extraordinario campo abarcado por los "nuevos agrónomos" franceses: va desde el análisis a nivel de la parcela y de la evolución de una población vegetal bajo el efecto del medio con las intervenciones del agricultor en el medio, hasta el análisis a nivel regional de las evoluciones de los sistemas de producción.

Esta evolución del papel del agrónomo, ha influenciado mucho a los economistas rurales, en particular a aquellos salidos de las escuelas de agronomía y que se autodenominan "agro-economistas". Partiendo del concepto de sistemas agrarios e investigaciones sobre los grupos sociales rurales, los economistas rurales se han juntado a los agrónomos sobre los análisis históricos (y recíprocamente), luego han encontrado un terreno de entendimiento sobre los conceptos que acabamos de exponer (han influenciado ellos la evolución del pensamiento agronómico ?, debemos creer así ya que las nuevas estructuras de investigación incluyen siempre la expresión "sistemas agrarios").

Un buen ejemplo de síntesis de esos enfoques está dado por M. DUFUMIER (1985) quien estima indispensable estudiar los sistemas de producción con una doble perspectiva:

1. desde el punto de vista de su coherencia interna, siendo conocidos los medios de producción disponibles y los objetivos perseguidos por los agricultores;

2. desde el punto de vista de su racionalidad económica, siendo conocidas las condiciones sociales de producción en las cuales ellas se desarrollan. Se renombra 4 grandes tipos de racionalidades:

- la busca de la autosubsistencia;
- la busca del mayor margen bruto por hectarea;
- la busca de la mejor remuneración del trabajo familiar (acarreando muy a menudo estrategias de cultivos extensivos;
- la busca de la más grande tasa de provecho.

Una aplicación de este enfoque sistemico fue tratada en Thailandia por TREBUIL (y otros, 1983).

En conjunto, el campo de investigación se volvió muy vasto. Se puede preguntar si no se ha pretendido ser exaustivo. Esta crítica viene principalmente de ciertos geografos que no aprecian esta fase de expansión de la agronomía asociada a la agro-economía (fue la misma critica que hemos hecho para la geografia expuesto por SAUTTER, ver a 2.5.).

El gran mérito de los conceptos de sistemas de cultivos, sistemas de producción y sistemas agrarios, es el hecho de que son compatibles y corresponden bien a los diferentes niveles de observación; entonces, teoricamente pueden dar lugar a investigaciones simultáneas de investigadores de diferentes disciplinas.

Otro mérito es que esos conceptos conciernen a muchas organizaciones reales complejas, es decir a "conjuntos de elementos en interacción dinámica, agrupados en función de metas (para retomar el plural de la fórmula de De ROSNAY), y además los conceptos se prestan a modelización.

Uno de los peligros de este enfoque fundamentalmente pluridisplinario, sería el que sea llevado a cabo siempre por los agrónomos solos (sean nuevos o sean agro-economistas) o por los geografos solos, quienes esperan comprender la realidad de conjuntos complejos, las unidades de paisaje y sus distribuciones.

Sería una lástima que cada disciplina vea con malos ojos y bajo pretexto de alargamiento de los campos disciplinarios, las tentativas de los otros para forjar conceptos aceptables para todos, es decir, observables y analizables por todos, cualquiera que sea el nivel de observación.

NOTAS Y SIGLAS

(1) Se podría escoger ejemplos tanto de los trabajos marcados por la ideología marxista, cuanto de aquellos inspirados en una visión liberal del mundo. Ver BOIRAL et al., 1985.- Paysans, experts et chercheurs en Afrique Noir. CIFACE KARTHALA, Paris: "la realidad de los hechos de desarrollo parece más complejo de que las teorías liberales o marxistas tratan de describir".

(2) Encontrado por ejemplo en J. ARRIGHI DE CASANOVA, 1979.- Les aménagements fonciers en Afrique noire. SATEC, Paris, 146p., p.6.

(3) El subtítulo de las primeras ediciones indica: "donde está representado todo lo que se requiere y necesita para diseñar, gobernar, enriquecer y embellecer la casa rústica". La obra de O. De SERRES fué regularmente publicada hasta el siglo XIX. Los agrónomos actuales que han adoptado un procedimiento sistémico, le consideran como el primer agrónomo. A mediados del siglo XVII, el "agrónomo" es el título de un "diccionario manual del cultivador, que contiene todos los conocimientos necesarios para gobernar los bienes del campo y darles un valor útil, para sostener sus derechos, conservar su salud y hacer graciosa la vida campestre".

(4) Términos de M. JOLLIVET en el prefacio de la tesis de K. ELLSASSER, 1985.

(5) Es curioso constatar que la palabra"limitantes" es frecuentemente empleada para calificar a aquello que no pertenece a su campo disciplinario, mientras que la palabra "factores" corresponde a aquello que se piensa tomar la realidad compleja. Así, los economistas hablan de factores socio-económicos y de limitantes ecológicos, mientras que los agrónomos hablan de factores físicos o biológicos y limitantes socio-económicos. Se puede decir la misma cosa de las palabras "organización" y "condiciones".

(6) Circunstancias y dominios de validez son expresiones del enfoque "farming systems".

(7) Las "unidades experimentales del Sine Salum" en Senegal son el ejemplo más citado de este nuevo enfoque de la agronomía tropical francesa.

(8) Este aspecto ha sido tratado en Francia por BOIFFIN y SEBILLOTE (1982).- fertilité, potencialités, aptitudes culturales, significations actuelles pour l'agronomie en BTL No. 370 - 372, Paris, pp .... Por otro lado, diversos agro-economistas franceses han tratado de explicar la diferencia entre el rendimiento en la estación y el rendimiento real recurriendo a la microeconomía clásica y a los análisis agro-económicos. Citaremos nuestra propia contribución para la comprensión de la toma de decisiones de los pequeños sembradores de café en Costa de Marfil y en Togo. RUF F. y RUF Th., (1987).- Le café et les risques de l'intensification, cas de la Côte d'Ivoire et du Togo. Comunicación para el tomo colectivo del ORSTOM sobre "le risque en agriculture" 35 p., que aparecerá en 1988.

(9) La evolución de estas operaciones claves, existe igualmente en Francia (ver LEFORT, 1985). En la evaluación de los proyectos de desarrollo, el ministerio de la cooperación francés, desde 1982 ha llamado a investigadores de varias disciplinas que tienen un juicio claro y detallado sobre el proyecto, pero sobre la base de trabajos largos (15 días de preparación, un mes de campo, uno a dos meses de tratamiento de las informaciones y redacción de los informes). Finalmente, la GTZ.en Alemania a puesto a punto "conclaves" de especialistas para reorientar los proyectos existentes pero faltos de objetivos (ver los CRD No. 5).

(10) Esta definición es una adaptación de la de CHOMBARD De LAUWE (1963).

CIRA = Centro Internacional de Investigación agricola.
CIRAD = Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (France).
CNRS = Centre National de la Recherche Scientifique (France).
DSA = Département Systèmes Agraires du CIRAD.
INAPG = Institut National Agronomique de Paris-Grignon (France).
INIAP = Instituto Nacional de Investigación AgroPecuaria (Ecuador).
ORSTOM = Institut Français de Recherche Scientifique pour le Developpement en Coopération.

BIBLIOGRAFIA

ARRIGUI De CASANOVA J., 1979. - Les aménagements fonciers en milieu tropical.- SATEC, CNEARC, Montpellier (France),146p.

BEEBE J., 1985. - Rapid rural appraisal, the critical first step in a farming systems approach to research.- USAID (Philippines), 36p.

BENOIT CATTIN M., RUF Fr, 1984. - Diagnostics de systèmes de production en Afrique de l'Ouest.- in: Cahiers Rech.Dévelop., nº3-4, Montpellier (France), pp51-56.

BOURGEOIS A., 1983. - Une application de la notion de système l'exploitation agricole.- in: Agriscope 1983, vol.1,nº1 Angers (France). publié en 1985 in: La gazette des systèmes. DSA/CIRAD nº4 pp35.48 Montpellier (France)

CAPILLON A., SEBILLOTTE M., 1980. - Etude des systèmes de production des exploitations agricoles.- Com. Carribean Semin. on farming systems research methodology, Point à Pitre.INRA (Guadeloupe, France). in: actes, pp 85-111.

CGIAR, 1978. - A review of farming systems research at the internacional Agricultural Centres. Rome (Italie). cité par FRESCO (1984).

CHATELIN Y., RICHARD J.F., LENEUF N., 1982. - Modèles verbaux et transdisciplinarité dans l'étude des sols et des paysages (tropiques humides). 1. Essai critique en fonction de l'analyse de système.- in: Cahiers ORSTOM, ser. Pédol., vol. XIX, nº1, 1982, Paris (France), pp 51-63.

COLLINSON M.P., 1982. - Farming systems research in Eastern Africa: the experience of CIMMYT and some national research services 1976-1981.- Michigan St. Univ., Internacional Devevelopment paper nº3, Dept Agric.Econom., East Lansing, Michigan (USA). Cité par BEEBE (1985) et le GRET (1985).

COUTY Ph., 1979 - Des éléments aux systèmes, réflexions sur les procédés de généralisation dans les enquètes de niveau de vie en Afrique.- AMIRA nº28, Paris (France), 43p.

COUTY Ph., LERICOLLAIS A., 1982. - Vers une méthode pratique d'analyse régionale, le cas de la vallée du Sénégal (1957-1980).- AMIRA, note de travail nº36, Paris (France), 115p.

DILLON, ANDERSON, 1983 ---> voir TOURTE (1984).

DUFUMIER M., 1985. - Systèmes de production et développement agricole dans le "Tiers-Monde". - in: Cahiers Rech. Develop., nº6, Montpellier (France) pp31-38.

ELLSASSER K., 1985. - Analyse intégrée d'un espace montagnard nord-méditerranéen, l'exemple de la vallée de Taleyrac en Cévennes.- Thèse Inst. fu ~r Landespflege der Univ. Freiburg (RFA), 296p

FAURE G., JALLAS E., RAYMOND G., 1984. - Systèmes de production en zone cotonnière d'Afrique, proposition d'une démarche pour le conseil de gestion.- Com. congrès Assoc. Europ. Econom. agric., Kiel (RFA) 3-7/09/87, 20p dactyl.

FRESCO L., 1984. - Comparing anglophone and francophone approaches to farming systems research and extension.- Com. Annual conf. on FSR, Kansas State Univ., Manhattan, Kansas (USA), 35p.

GRANIER P., RUF Th., 1985. - A propos de la recherche-développement.- DSA/CIRAD, Montpellier (France), 5p dactyl.

GRET, 1985. - Recherche-développement et farming system research concepts, approches et méthodes.- GRET, Paris (France), 28p.

IFARC, 1982. - Introduction à la recherche-développement.- fasc.1 Les Cahiers de la Formation Professionnelle à la Recherche en milieu rural des régions chaudes, IFARC-GERDAT (actuellement CIRAD), Montpellier (France), 27p.

LAVILLE E., 1985. - extraits de M. Foucault sur l'histoire naturelle au XVIIIe Siècle (en réaction contre une démarche "système" au CIRAD).- Lettre du 8.11.1985 adressée au DSA/CIRAD, Montpellier (France).

LEFORT J., 1983. - Les recherches-développement intégrées en milieu rural.- in: Cahiers Rech.Dévelop., n°2, Montpellier (France), pp 14-21.

LEFORT J., 1984. - Recherche-développement et vulgarisation.- DSA/CIRAD, Montpellier (France), 12p dactyl.

LEGAY J.M., 1986. - Méthodes et modèles dans l'étude des systèmes complexes.- Com. Coll. "Diversification des modèles de développement rural: questions et méthodes, Paris 17-18/04/1986.(France) 10p.

MAYMARD J., 1982. - Systèmes de cultures et systèmes de production.- Note manuscrite sur les concepts colombiens et européens, ORSTOM, Bogota (Colombie), 28p.

MINVIELLE J.P., 1978. - Méthodologie d'une étude sur les systèmes de production paysans dans la moyenne vallée du Sénégal.- in: Cahiers ORSTOM, sér. Sc. Hum., vol.XV, n°3, Paris (France), pp.221-244. Cité par COUTY, LERICOLLAIS (1982).

MAZOYER M., 1985. - Rapport de synthèse provisoire du comité "systèmes agraires". Minist. Rech. Technologie, Paris (France), 16p dactyl.

MORLON P., MONTOYA B., CHANNER S., 1986. - L'élevage dans les systèmes de production ruraux des Hautes Andes péruviennes: étude comparative de cinq familles de l'Altiplano.- in: Cahiers Rech.Develop., n°9-10, Montpellier (France), pp 133-144.

PAPY F., 1984. - Le fonctionnement des exploitations agricoles irriguées de la plaine des Doukkala (Maroc).- in: Cahiers Rech.Dévelop., n°3-4, Montpellier (France), pp 57-66.

ROSNAY (De) J., 1975. - Le Macroscope. Vers une vision globale.- Ed. Seuil, Paris (France). Extraits publiés dans "La gazette des systèmes" n°3, mars 1983, DSA/CIRAD, Montpellier (France), pp13-24.

RUF Th., 1984. - La coéxistence de systèmes de production différents dans une région du delta du Nil: intéret de l'approche historique pour le diagnostic régional et l'action de développement.- in: Cahiers Rech.Dévelop., n°3-4, Montpellier (France), pp.30-41.

RUF Fr., RUF Th., 1987. - Le café et les risques de l'intensification, cas de la Côte d'Ivoire et du Togo.- Com. pour ouvrage ORSTOM sur le risque en agriculture à paraitre en 1988. 35p dactyl.

SAUTTER G., 1985. - Note sur la notion de "système agraire" en géographie (titre exact non apparent) diffusée au DSA/CIRAD en 1985, (France), 11p dactyl.

SAUTTER G., 1985. - Note pour une proposition d'analyse systémique en géographie (titre exaxt non apparent) diffusée au DSA/CIRAD en 1985, (France), 7p dactyl.

SHANNER W.W., PHILIPP P.F., SCHMEL W.R., 1981. - Farming systems research and development guidelines for developping countries.- Westview Press, Boulder, Colorado (USA). Cité par FRESCO (1984).

SCHLIPPE (De) P., 1956. - De l'anthropologie agricole.- in: problèmes d'Afrique Centrale n°33, 3e trim. 1956. Cité par FRESCO (1984) et le GRET (1985).

SEBILLOTTE M., 1974. - Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome.- in: Cahiers ORSTOM, ser.Biol., n°24, Paris (France) pp.3-25.

SEBILLOTTE M., 1978. - Itinéraires techniques et évolution de la pensée agronomique.- Acad. agric. France, Proc.Verb.scéance du 14/06/1978, Paris (France), pp 906-914.

SEBILLOTTE M., 1979. - Agronomie. Documents pour l'enseignement de la première année de la chaire d'agronomie. - INAPG, fev.1979. Paris (France) 5 fasc. multig.

SEBILLOTTE M., 1979. - Analyse du fonctionnement des exploitations agricoles. Trajectoires et typologies.- in: Eléments pour une problématique de recherche sur les systèmes agraires et le Développement, assemblée constitutive du département SAD-INRA, Toulouse.

SEBILLOTTE M., 1985. - Agronomie et Agriculture. Document pour l'enseignement de la première année de la chaire d'agronomie. - INAPG, sept.1985. Paris (France) 1 fasc. multig.

SEBILLOTTE M., 1986. - Fertilité et système de production en région de grande culture, essai de problématique générale.- Com. pour colloque INRA, INAPG, Paris (France),46p.dactyl.

SEDES, 1981. - ....? cité par mémento Ing.agro.

SERRES (De) O., 1600. - Le théatre d'agriculture et le mesnage des champs.- Paris (France), rééditions diverses jusqu'en 1804.

TOURTE R., 1978. - Pour une étude régionalisée des systèmes techniques de production agricole, rapport de mission en Côte d'Ivoire.- IRAT, Montpellier (France), 70p.

TOURTE R., 1984. - Quelques notes marginales, de traduction, à la lecture de "concept and practice of farming systems research" de J. DILLON et J.K. Anderson, New England Univ. (australie).- DSA/CIRAQ, Montpellier (France) 11p. dactyl.

TREBUIL G., DUFUMIER M., 1983. - Repères méthodologiques pour la recherche-développement en Agriculture; application à l'initiative d'une opération au sud de la Thaïlande.- in: Cahiers Rech.Dévelop., n°2, pp 35-43.

WEIGEL J.Y., 1979. - Mode de migration et système de production soninké.- Thèse doct.3e cycle Sc.Econom. Univ. Paris I, Paris (France), 176p multig. Cité par COUTY, LERICOLLAIS (1982).

ZANDSTRA H.G., PRICE E.C., LITSINGER J.A, MORRIS R.A., 1981. - A methodology for on-farm cropping systems research. IRRI, Los Baños (Philippines). Cité par FRESCO (1984) et le GRET (1985).

Conf :
Seminario "Dia mundial de la Meteorología"
Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INAMHI, Quito, 03/1988.

HOMOGENEIZACION DE LOS DATOS PLUVIOMETRICOS

por Patrick Le Goulven *

marzo de 1988

Nota Bene
Este texto se apoya principalmente en las teorías desarrolladas por Yves Brunet-Moret (4) y Gérard Hiez (6). Estos 2 hidrólogos de ORSTOM se interesaron particularmente en el compartamiento regional de las precipitaciones anuales con el objetivo de elaborar vectores representativos de cada región.

* hidrólogo ORSTOM, Misión ORSTOM, CP 17-11-06596, Quito,Ecuador.

INTRODUCCION

El inventario de los recursos hídricos así como su manejo racional son preocupaciones actuales de un sinnúmero de países para intensificar la explotación de los recursos agrícolas mediante riego, abastecer a aglomeraciones urbanas e industriales cada vez más concentradas y satisfacer el consumo energético.

Sin embargo, tales objetivos son estrechamente dependientes de un buen conocimiento de los elementos del clima, entre los cuales la pluviometría juega un papel preponderante.

Las precipitaciones atmosféricas constituyen un fenómeno esencialmente variable en el tiempo y en el espacio, sobre todo en un país de relieve muy irregular como lo es el Ecuador.

Su conocimiento, ante todo cuantitativo, se obtiene con mediciones permanentes a través de una red de observaciones puntuales. Lastimosamente, toda recolección de datos adolece de errores de toda naturaleza provenientes tanto del sistema de obtención como del carácter individual de la medición.

Esa constatación demuestra la necesidad de una severa crítica de los datos reunidos, los mismos que pueden ser eliminados cuando se alejan demasiado de la realidad, corregidos prudentemente cuando la naturaleza sistemática de los errores detectados lo permite o simplemente señalados cuando su valor anormal puede ser considerado como localmente posible.

El conjunto de esas operaciones constituye la homogeneización de los datos.

Consideraremos solamente los valores pluviométricos. En la conclusión se presentan algunas recomendaciones para el tratamiento de los otros parámetros climáticos.

1. DEFINICION DEL PROBLEMA

1.1. Homogeneidad de una serie cronológica de precipitaciones anuales

Una serie cronológica de valores observados es de carácter aleatorio sencillo si todos los valores son independientes y si provienen de una misma población estadística por sorteo al azar. El carácter aleatorio puede ser alterado por:

- *un efecto de persistencia*: un valor no es independiente del o de los anteriores (proceso de MARKOV u otro), pero la serie es estacionaria y los parámetros de distribución de la población no varían con el tiempo;

- *un efecto de tendencia*: los valores observados provienen de poblaciones diferentes cuyas probabilidades matemáticas aumentan o disminuyen con el tiempo;

- *efectos cíclicos o pseudo-cíclicos*: la probabilidad matemática para un valor dado depende de la cronología, pero la probabilidad de promedios de series suficientemente largas puede ser considerada como estacionaria;

- *errores sistemáticos (o no) de observación y de medición*: sólo esos errores alteran la homogeneidad de una serie cronológica de precipitaciones anuales, la cual puede además presentar efectos de persistencia, de tendencia (sur de la Costa) o pseudo-cíclicos (el Niño) que determinan su organización interna.

1.2. Las principales causas de heterogeneidad

Modificación del medio circundante al sitio de medición

- Por desplazamiento del aparato

  Es un caso frecuente y a menudo la estación conserva su nombre mientras el aparato sigue al observador en sus cambios de lugar de vivienda. Generalmente son desplazamientos pequeños (del orden del kilómetro), pero en un país de relieve muy contrastado pueden ocasionar grandes cambios en las mediciones si se modifica la exposición del aparato en relación al relieve o si se cambia considerablemente de altitud.

- Por modificación del medio circundante en sí

  Tal modificación puede ser brusca (construcción muy cerca) o progresiva (crecimiento de árboles a proximidad del aparato).

- Por cambio de la altura del aparato

  Entre un aparato ubicado a 1,20 m del suelo y otro ubicado a nivel del suelo, los valores encontrados pueden variar en más del 50 %. Tal diferencia se debe a las turbulencias que se forman alrededor del aparato en los sitios muy expuestos al viento [1], [2], [3].

Errores debidos al aparato

- Modificación de la superficie receptora por construcción, cambio o deformación

  Si bien los aparatos « estándar » tienen una superficie receptora bien definida y constante, ese no es siempre el caso de los totalizadores, de fabricación artesanal.

- Defectos de calibración

  En el caso de los pluviógrafos, tales defectos pueden deberse a una falla de construcción o a una calibración mal realizada.

Errores de medición o de grabación

- A nivel de la probeta (o de la regleta)

  Pueden provenir de una precisión diferente de una probeta a la otra, de lecturas mal realizadas cuando la probeta no es vertical, de confusión de cifras, etc. El caso más típico es la confusión de probeta. En los países que utilizan el sistema métrico, los pluviómetros más utilizados tienen una superficie de 200, 314 ó 400 cm^2. Es entonces muy frecuente que las mediciones efectuadas en un aparato no se hagan con la probeta correspondiente.

  Este último error es fácilmente detectable cuando se conocen las diferentes superficies utilizadas pero a veces da lugar a confusiones al haber un cambio de sitio en las regiones montañosas en donde existes fuerte gradientes altitudinales de las precipitaciones.

  Otro caso difícil de detectar se presenta cuando el observador, por seguridad, tiene dos probetas (diferentes evidentemente) y utiliza tanto la una como la otra.

- A nivel de la grabación

  - falta de tinta,
  - error de fechas,
  - escritura errónea de la altura medida,
  - error de copia, etc.

Errores de transmisión

Pérdida de correo o defectos en los sistemas de transmisión (eléctricos, electrónicos, radio, satélite, etc).

Errores de archivo y publicación

Pueden producirse al archivarse los datos en bruto (errores de fecha, de copia, de digitación, etc.) o al publicarse los archivos en cuyo caso se pueden presentar todo tipo de errores de escritura (omisión de datos, confusión de estaciones, etc.).

1.3. Consecuencias

Como ya lo hemos señalado, todas las fallas mencionadas anteriormente alteran la homogeneidad de las series cronológicas de precipitaciones anuales pero de manera diferente según la naturaleza del problema.

Una modificación del medio circundante se detecta con un buen número de años homogéneos antes y después del cambio. Mientras más marcado es el cambio, menos años se necesitan. La experiencia demuestra que en este caso se pueden corregir los totales anuales y mensuales para homogeneizar la serie, pero en ningún caso se pueden modificar los datos diarios.

La confusión de probetas es un caso muy frecuente y necesita pocos años para ser detectada (cuando no hay utilización concomitante de varias probetas o regletas). Se puede restablecer sin problema la homogeneidad de las series de totales anuales, mensuales y también diarias cuando se conoce la fecha de la confusión.

En casos de desplazamientos frecuentes del aparato (u otras causas que producen el mismo efecto), las heterogeneidades no son discernibles y no hay posibilidad de efectuar corrección alguna.

1.4. Necesidad de efectuar « pruebas » de homogeneidad

Las diversas causas de heterogeneidad y sus consecuencias demuestran la necesidad de controlar de manera rigurosa los datos pluviométricos, control que se podría hacer en la mayoría de casos consultando el historial de la estación.

La experiencia muestra que un cambio de sitio coincide generalmente con un cambio de observador y que la confusión de probetas (o regletas) se produce después de alguna interrupción de las mediciones, lo que signiica decir que un buen historial que registre los cambios de sitio, de observadores o de aparatos, los cambios del medio circundante y una* verificación de las dimensiones de los pluviómetros y probetas (o regletas), permitiría resolver gran número de problemas.

Lastimosamente, por lo general, tales historiales no existen o son difícilmente accesibles. Parte del historial puede a veces reconstruirse en base a los documentos en bruto enviados por los observadores, pero ello es insuficiente como para analizar una serie cronológica completa.

De allí la necesidad de efectuar pruebas de homogeneidad a partir de los simples datos anuales y, posteriormente, en caso de haber un problema bastante complicado, una verificación en el campo.

1.5. Las diferentes pruebas de homogeneidad

Varias pruebas estadísticas existen en la literatura (test de los signos, de MANN-WHITNEY, de FISCHER-YATES, etc.) que podrían ser considerados para verificar la homogeneidad de una serie pluviométrica. Se trata generalmente de pruebas sobre el carácter aleatorio de una serie de

variables independientes, lo cual implica la hipótesis de la inexistencia de una organización cronológica de la muestra observada y por lo tanto la inexistencia de pseudo-ciclos. Esto está en contradicción con la realidad (sucesión de períodos secos y húmedos, Niño, etc.)

Por su concepción, tales pueden utilizarse una vez determinada la época de la ruptura que separa a las series homogéneas y comparando una serie de valores provenientes de la muestra con el resto.

Haciendo variar la serie de valores, se podría detectar la fecha más probable de ruptura a condición de que sea única, pero en casos complejos en donde existen varias rupturas y de sentido contrario, esas pruebas nada pueden detectar pues no han sido elaboradas para ese efecto.

Su eficacia es inferior o igual a la del test de STUDENT de comparación de medias provenientes de muestras que corresponden a problemas comunes.

Para resumir, es fácil demostrar que esas pruebas no pueden distinguir los errores sistemáticos ni la existencia real de una organización interna de la pluviometría correspondiente a efectos pseudo-cíclicos o de persistencia.

Desgraciadamente, la mayoría de series pluviométricas anuales contienen por lo menos uno de esos dos efectos, lo que disminuye aún más el interés de aplicar a la pluviometría las pruebas clásicas de homogeneidad.

2. LAS PRUEBAS DE SIMPLES Y DOBLES MASAS

2.1. Hipótesis de base

Se admite que las estaciones pluviométricas ubicadas en una misma zona climática tienen totales pluviométricos anuales pseudo-proporcionales, independientemente de las fluctuaciones climáticas de la zona. Esto significa que para un año **i**, las precipitaciones anuales x_i y y_i en dos estaciones **X** y **Y** de la misma zona pueden escribirse [4]:

$$(1) \qquad x_i = \frac{\bar{x}}{\bar{y}} y_i + e_i$$

en donde $\bar{x}$ et $\bar{y}$ corresponden a los promedios interanuales de las dos estaciones en un período suficientemente amplio. La varianza de e_i (término aleatorio independiente tanto de x_i como de y_i) es más reducida si el coeficiente de correlación lineal entre las dos estaciones es mayor;* su esperanza matemática es igual a cero.

2.2. Gráfico de simples masas

Según la hipótesis anterior ,es razonable concebir que la información climática anual de la zona considerada sea representada por un vector **V** cuyos valores anuales sean la superposición de dos variables asincronas:

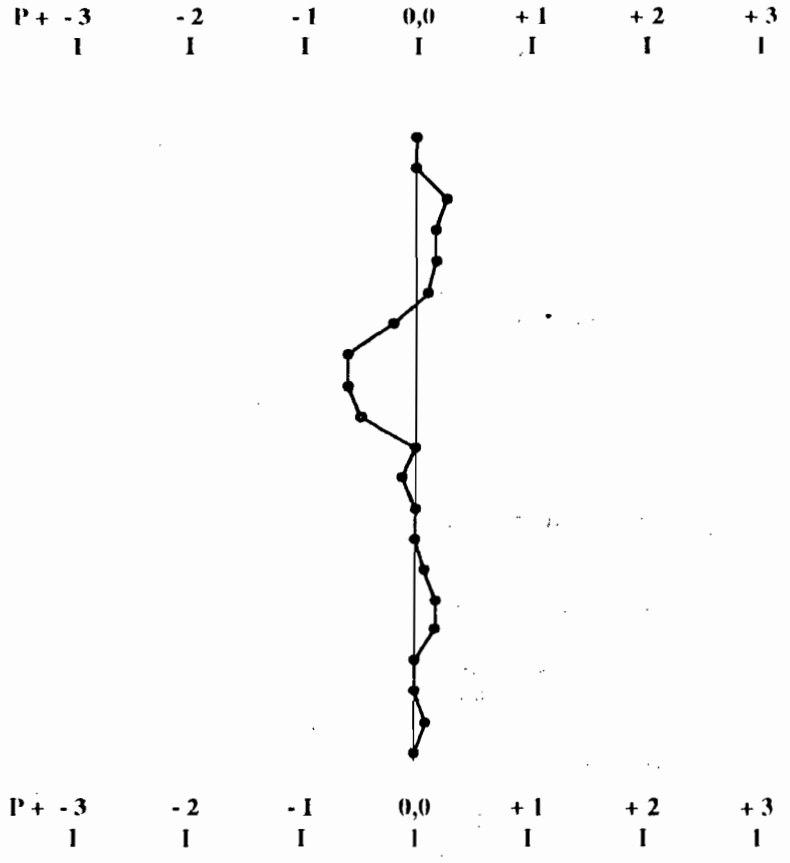
- una representa la fluctuación eventual de la media a lo largo del tiempo (período largo);
- la otra corresponde a la variación anual alrededor de la media (período corto; el año).

Los componentes w_i de dicho vector representarán para mayor comodidad los valores de la diferencia entre los totales anuales y la media expresada en términos de desviación estándar

$$w_i = \left(v_i - \frac{v}{ETV} \right)$$

ESTACION X P311MI **CAHUASQUI** **PROVINCIA DE IMBABURA** **PERIODO 1963-1985** **COEFICIENTE DE CORRECCION 1.000**

	AÑOS	TA (mm)
1	1984	874,7
2	1983	755,6
3	1982	1.051,9
4	1981	730,4
5	1980	774,5
6	1979	677,5
7	1978	509,4
8	1977	510,0
9	1976	760,0
10	1975	878,5
11	1974	1.260,1
12	1973	667,2
13	1972	923,9
14	1971	850,8
15	1970	879,1
16	1969	876,9
17	1968	777,2
18	1967	658,1
19	1966	727,9
20	1965	933,7
21	1964	658,8
N	AN	T A



PROMEDIO DE LOS 21 AÑOS = **797,0**
DESVIACION ESTANDAR = **171,9**
COEFICIENTE DE VARIACION = **0,216**

PRUEBA DE SIMPLES MASAS

ESTACION X P302MI	MIRA	PROVINCIA DE CARCHI	PERIODO 1964-1984	COEFICIENTE DE CORRECCION 1.000

	AÑOS	TA (mm)
1	1983	632,2
2	1981	524,5
3	1980	629,3
4	1979	429,7
5	1978	436,1
6	1977	440,9
7	1976	602,4
8	1975	754,4
9	1974	876,8
10	1973	534,1
11	1972	597,3
12	1971	851,0
13	1970	697,3
14	1969	703,4
15	1968	530,2
16	1967	543,2
17	1966	583,6
18	1965	645,5

P + -3 -2 -1 0,0 +1 +2 +3

N	AN	T A

P + -3 -2 -1 0,0 +1 +2 +3

PROMEDIO DE LOS 18 AÑOS = **611,7**
DESVIACION ESTANDAR = **129,4**
COEFICIENTE DE VARIACION = **0,212**

PRUEBAS DE SIMPLES MASAS

En ese caso, los totales anuales de una estación **X** que pertenece a dicha zona climática podrán expresarse de la siguiente manera:

$$(2) \qquad x_i = \bar{x} + \sigma_x \left(r_x \cdot w_i + a_i \sqrt{1 - r_x^2} \right)$$

en donde r_x representa el coeficiente de correlación lineal entre la estación y el vector, y a_i las fluctuaciones propias de la estación.

Si se efectúa el cúmulo de los datos hasta el año **n** tenemos:

$$(3) \qquad \sum_1^n x_i = n\bar{x} + \sigma_x \left(r_x \sum w_i + \sum a_i \sqrt{1 - r_x^2} \right)$$

y dividiendo por la media,

$$(4) \qquad X_n = \frac{1}{\bar{x}} \sum x_i = n + C_x \left(r_x \sum w_i + \sum a_i \sqrt{1 - r_x^2} \right)$$

en donde C_x representa el coeficiente de variación de la variable **x.**

X_n es proporcional a **n**, más un término aleatorio que obedece a un proceso de MARKOV.

El gráfico que traduce la relación $X_n = f(n)$ es un gráfico de simples masas relativas.

En la práctica utiliza en coordenadas:

- el número **i** del año en la serie (creciente o decreciente y omitiendo los años faltantes);
- la suma $\sum x_i$ de las precipitaciones anuales.

El trazado oscilará (efecto SLUTZKY) entre dos rectas paralelas que van a determinar un corredor sensiblemente paralelo a la primera bisectriz. ??

Si la media es afectada por una deformación sistemática debida a los errores señalados en 1.2., el segundo término de la ecuación anterior tendrá un valor bien diferente a cero durante ese período y el trazado de los puntos se ubicará en un corredor de pendiente diferente a la primera bisectriz.

Ese cambio de pendiente es fácilmente detectable.

El gráfico de simples masas tiene entonces la ventaja de encontrar todos los períodos en los cuales la media ha sido afectada de manera significativa lo que no podían hacer las pruebas clásicas.

Desafortunadamente, en la práctica, no permite distinguir con certeza eventuales desviaciones sistemáticas de un cambio de la tendencia climática a veces bien marcada (como en el caso de las estaciones Cahuasquí, Mira y FF-CC-Carchi cuyas pruebas de dobles masas veremos más adelante).

Se lo utiliza sólo un el primer análisis para detectar los errores graves, reservando el diagnóstico final para las pruebas de dobles masas.

2.3. Gráfico de dobles masas

Consideramos dos estaciones que pertenecen a una misma zona climática representada por el vector **V** descrito anteriormente.

Las precipitaciones anuales de cada estación pueden escribirse de la siguiente manera:

$$(5) \qquad x_i = \bar{x} + \sigma_x\left(w_i \cdot r_x + a_i\sqrt{1-r_x^2}\right)$$

$$(6) \qquad y_i = \bar{y} + \sigma_y\left(w_i \cdot r_y + b_i\sqrt{1-r_y^2}\right)$$

Si se supone que se relacionan con la tendencia climática por los coeficientes de correlación r_x y r_y y tienen fluctuaciones propias independientes a_i y b_i, acumulando las variables hasta el año **n** y dividiendo por la media, tenemos:

$$(7) \qquad X_n = n + C_x\left(r_x \sum w_i + \sum a_i\sqrt{1-r_x^2}\right)$$

$$(8) \qquad Y_n = n + C_y\left(r_y \sum w_i + \sum b_i\sqrt{1-r_y^2}\right)$$

en donde **C** representa los respectivos coeficientes de variación.

Eliminando **n** entre las dos ecuaciones y agrupando los diferentes términos, obtenemos:

$$(9) \qquad Y = X_n + \sum w_i\left(r_y \cdot C_y - r_x \cdot C_x\right) + \left(C_y \sum b_i\sqrt{1-r_y^2} - C_x \sum a_i\sqrt{1-r_x^2}\right)$$

La ecuación traduce una relación lineal alterada por 2 términos, el segundo de los cuales constituye una variable aleatoria que obedece a un proceso de MARKOV [6].

En la práctica, los puntos de coordenadas (X_n, Y_n) estarán al interior de un corredor definido por dos rectas paralelas de pendiente positiva e igual a 1. Si las variables son independientes, el ancho del corredor dependerá únicamente de los coeficientes de correlación de cada estación. En caso contrario, dependerá también del valor de los coeficientes de correlación y será más estrecho si los coeficientes son más fuertes.

TODA VARIACION DE UNA DE LAS MEDIAS POR MODIFICACION DE LAS CONDICIONES DE OBSERVACION SE TRADUCIRA EN UNA MODIFICACION SIMULTANEA DE LA PENDIENTE DEL CORREDOR.

La variación de pendiente corresponderá a la variación de la media afectada.

Si las dos estaciones pertenecen estrictamente a la misma zona climática, los coeficientes de variación así como los coeficientes de correlación tendrán un valor similar, lo que implica que el segundo término será cercano a cero. Esta constatación demuestra la ventaja del método de las dobles masas: en una misma zona climática, la relación existente entre los acumulados de dos variables pluviométricas es independiente de eventuales fluctuaciones climáticas y es modificada únicamente por fluctuaciones aleatorias si los datos son homogéneos.

Esto significa que los cambios de pendiente corresponden únicamente a los errores sistemáticos descritos en 1.2., como se puede comprobar en los gráficos de FF-CC-Carchi/Mira y Mira/Cahuasquí.

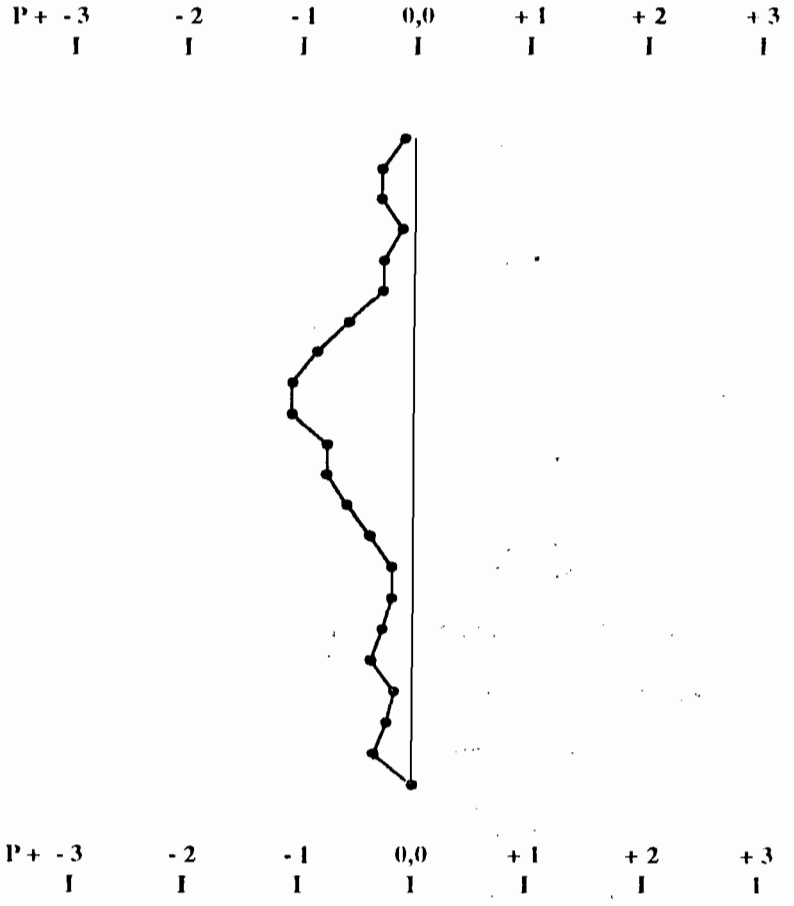
2.4. Consideraciones sobre los gráficos de simples y dobles masas

La primera operación consiste en determinar de manera empírica grupos de estaciones que pertenecen a la misma zona climática teniendo en cuenta la distancia entre ellas, los efectos de relieve, el tipo de régimen intra-anual, etc.

Posteriormente, se compara cada una de las estaciones con todas las demás del grupo, lo que significa que para un grupo de **m** estaciones, el número de dobles masas alcanza **m (m - 1)/2**.

ESTACION X P301MI FF-CC-CARCHI PROVINCIA DE CARCHI PERIODO 1956-1985 COEFICIENTE DE CORRECCION 1.000

	AÑOS	TA (mm)
1	1985	495,8
2	1984	425,7
3	1983	556,1
4	1982	663,6
5	1981	449,2
6	1980	533,8
7	1979	394,0
8	1978	352,2
9	1977	486,4
10	1976	516,2
11	1974	747,5
12	1973	542,4
13	1972	671,2
14	1971	636,2
15	1970	662,2
16	1969	575,1
17	1968	492,5
18	1967	460,4
19	1966	657,8
20	1965	516,5
21	1962	517,0
22	1956	783,5



PROMEDIO DE LOS 21 AÑOS = **551,6**
DESVIACION ESTANDAR = **112,2**
COEFICIENTE DE VARIACION = **0,203**

PRUEBAS DE SIMPLES MASAS

ESTACION X P301MI	FF-CC-CARCHI	PROVINCIA DE CARCHI	PERIODO 1964-1984	COEFICIENTE DE CORRECCION 1.000
ESTACION X P302MI	MIRA	PROVINCIA DE CARCHI	PERIODO 1964-1984	COEFICIENTE DE CORRECCION 1.000

	AÑOS	P + - 3 I	- 2 I	- 1 I	0,0 I	+ 1 I	+ 2 I	+ 3 I
1	1983							
2	1981							
3	1980							
4	1979							
5	1978							
6	1977							
7	1976							
8	1974							
9	1973							
10	1972							
11	1971							
12	1970							
13	1969							
14	1968							
15	1967							
16	1966							
17	1965							
N	AN	P + - 3 I	- 2 I	- 1 I	0,0 I	+ 1 I	+ 2 I	+ 3 I

XM = 544,1 XM/YM = 902
YM = 603,3 YM/XM = 1.109
COEFICIENTE DE CORRELACION = 0,800

PRUEBA DE DOBLES MASAS

ESTACION X P302MI	**MIRA**	**PROVINCIA DE CARCHI**	**PERIODO 1964-1984**	**COEFICIENTE DE CORRECCION 1.000**
ESTACION X P311MI	**CAHUASQUI**	**PROVINCIA DE IMBABURA**	**PERIODO 1964-1984**	**COEFICIENTE DE CORRECCION 1.000**

	AÑOS	**P + - 3** I	**- 2** I	**- 1** I	**0,0** I	**+ 1** I	**+ 2** I	**+ 3** I
1	1983							
2	1981							
3	1980							
4	1979							
5	1978							
6	1977							
7	1976							
8	1975							
9	1974							
10	1973							
11	1972							
12	1971							
13	1970							
14	1969							
15	1968							
16	1967							
17	1966							
18	1965							
N	**AN**	**P + - 3** I	**- 2** I	**- 1** I	**0,0** I	**+ 1** I	**+ 2** I	**+ 3** I

XM = **611,7** XM/YM = **778**
YM = **786,2** YM/XM = **1.285**
COEFICIENTE DE CORRELACION = **0,833**

PRUEBA DE DOBLES MASAS

Por lo tanto, el tratamiento de la pluviometría de una región o de un país exige la manipulación de una cantidad considerable de información, solamente posible mediante automatización de las operaciones de tratamiento.

El programa MASA utilizado actualmente en el INERHI constituye un buen ejemplo de trazado automático de los gráficos de simples y dobles masas.

Su utilización facilita grandemente las comparaciones entre estaciones suprimiendo la mayor parte de las operaciones manuales y aportando una valiosa ayuda en el trabajo de interpretación visual.

La mejor manera de utilizar el método de dobles masas es buscar, en la zona climática delimitada, algunas estaciones de período largo en las cuales el hidrólogo esté seguro de la homogeneidad de los datos (estaciones de base); compararlas con estaciones vecinas y corregir cada vez que aparezcan rupturas de pendientes. En cada corrección es necesaria una prueba con todas las estaciones de base a fin de comprobar las correcciones efectuadas.

Se pueden así constituir otras estaciones de base y avanzar lentamente verificando cada vez los resultados con las estaciones más seguras.

Ciertamente, operando de esta manera y además minuciosamente se llegan a detectar de exactamente los cambios de pendiente que llevan al diagnóstico, comprobados generalmente con historiales o verificación de campo. La metodología es aplicada en muchos países y varias generaciones de hidrólogos han comprobado su efectividad.

Sin embargo, la realidad es más compleja. No siempre es posible encontrar estaciones seguras de antemano, y en esos casos, la diversidad de anomalías de una u otra estación, hace difícil encontrar criterios de decisión realmente objetivos.

Además, es frecuente que al disponer de estaciones de base, estas tengan períodos incompletos, justamente durante los años interesantes de comparar.

Se percibe entonces, el interés de elaborar una variable de referencia sin años incompletos a partir de un conjunto de datos de precipitaciones que corresponden a estaciones ubicadas en una misma zona climática y ello sin intervención manual.

3. ELABORACION DE UN VECTOR DE REFERENCIA

3.1. Principales particularidades

La comparación de las estaciones que pertenecen a una misma zona climática con un vector de referencia representante de la tendencia climática de dicha zona permite reducir el volumen de análisis. En una zona que contiene **m** estaciones, sólo se realizarán **m** dobles masas — y no **m (m - 1) / 2** como anteriormente) disminuyendo así de considerablemente el volumen de análisis.

Si **z** representa este vector de referencia, tendremos:

$$(10) \qquad Z_i = \bar{Z} + \sigma_z \, w_i$$

Acumulando las variables hasta el año **n**, y dividiendo por la media Σ,

$$(11) \qquad Z_n = \frac{1}{\bar{z}} \sum z_i = n + C_z \sum w_i$$

Comparando este vector con una estación **X** y eliminando **n** entre las dos ecuaciones como se hizo anteriormente para las ecuaciones (7) y (8), obtenemos:

$$(12) \qquad X_n = Z_n + \sum w_i (r_x \cdot C_x - C_z) + C_x \sqrt{1 - r_x^2} \sum a_i$$

Como se dijo antes, el segundo término del segundo miembro de la ecuación tiende hacia cero y el tercer término tendrá como varianza:

$$(13) \qquad V_1 = C_x^2 - 2C_x \cdot C_z \cdot r_x + C_z^2$$

En la comparación estación por estación, la varianza del tercer término de la ecuación (9) podría escribirse así:

$$(14) \qquad V_2 = C_x^2 - 2C_x \cdot C_y \cdot r_x \cdot r_y + C_y^2$$

Con coeficientes de variación similares, se puede verificar que $V_1 < V_2$, lo que significa que el ancho del corredor será más reducido y que consecuentemente las dobles masas entre estación y vector serán más precisas que las dobles masas entre estaciones.

3.2. Condiciones de elaboración

Como lo hemos manifestado anteriormente, la práctica de dobles masas requiere la hipótesis de pseudo-proporcionalidad en un espacio dado y el vector de referencia tendrá que adaptarse a ella, pero se deberá también tener en cuenta algunas consideraciones complementarias:

- su elaboración no debe exigir hipótesis previas sobre la distribución de los totales pluviométricos anuales;
- el total pluviométrico de una estación para un año dado no puede a priori servir de valor de referencia;
- se supone que en el conjunto de la información global de las estaciones, existe un valor estimativo de la tendencia climática regional, más representativa que la información parcial de cada una de ellas; esto no excluye la existencia de anomalías puramente locales (Niño por ejemplo) pero ellas no deben considerarse para la elaboración del vector;
- la elaboración del vector debe ser concebida de tal manera que toda la información disponible sea utilizada sin que la información errónea tenga una influencia sensible en el resultado; sin embargo, en la práctica, cuando los datos son realmente desastrosos, será necesario eliminar los errores mayores, pero no se eliminarán, a priori, estaciones de período muy corto (3 a 5 años) cuyos datos pueden ayudar a la construcción de un componente anual del vector.

3.3. Análisis de la matriz de datos

Se puede considerar el conjunto de los datos pluviométricos como una matriz **A** en la que las columnas representan las esta ciones y las líneas, los años.

$$A = [X_{ij}] = \begin{vmatrix} i = 1, \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots, n \\ \\ j = 1 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots, m \end{vmatrix}$$

Los **m** datos obtenidos durante un año **i** representan las coordenadas de un vector (lluvia) anual en el espacio de las estaciones.

Si la pseudo-proporcionalidad fuese estricta, el conjunto de los **n** vectores constituiría un conjunto de vectores colineales. La matriz **A** podría representarse entonces como una matriz **B** producto de un vector línea **L** y un vector columna **C**.

(16) $\mathbf{B} = \mathbf{L} \times \mathbf{C}$

En la práctica, los datos reales no obedecen a este modelo teórico y existen fluctuaciones aleatorias en cada estación (1) que deben tenerse en cuenta. Así, tenemos:

(17) $\mathbf{A} = \mathbf{B} + \mathbf{E}$

en donde **B** representa la información teórica deseada.

3.4. Elaboración de un vector por la media aritmética

Una de las posibilidades es calcular para cada año un elemento del vector utilizando la media aritmética de todos los elementos de ese año.

En caso de homogeneidad previa de todos los datos y de distribuciones normales, la media aritmética corresponde efectivamente a un parámetro de tendencia central.

Lastimosamente, los casos de distribuciones no normales son frecuentes y pueden deberse al escaso número de datos, a distribuciones asimétricas o a distribuciones pluri modales (en los casos de series cronológicas heterogéneas).

La existencia de valores muy elevados vienen también a alterar el cálculo de la media aritmética (contaminación de la media por los valores extremos), como lo veremos en algunos ejemplos más adelante.

Las mismas consideraciones se pueden aplicar a la desviación estándar, la cual en caso de distribuciones no normales puede dar una visión de la dispersión de los datos pero no de su concentración alrededor de valores centrales.

Es posible lograr resultados valiosos por estimación de los valores promedio, pero los cálculos se hacen problemáticos cuando las series tienen muchos datos faltantes.

Todo lo anterior conduce a eliminar la distancia « euclidiana » como criterio de minimización de **E = A - B**, y llevó a dos investigadores, G. HIEZ [6] y Y. BRUNET-MORET [4] a calcular los elementos de un vector regional a partir de direcciones diferentes aunque los resultados sean relativamente similares.

3.5. El vector HIEZ [6]

3.5.1. *Algoritmo de construcción*

Consiste en una buena estimación de valor central en el valor modal más probable, pero no existe un método usual para su cálculo preciso.

En caso de numerosos datos, se podría agruparlos por clases y tomar como valor modal el el punto mediano de la clase correspondiente a la frecuencia observada más elevada.

En caso contrario, es difícil encontrar los valores modales del valor línea (L) y del vector columna (C) sin conocer las funciones de densidad de cada uno, lo que no se sabe a priori.

Existen también otras fórmulas que vamos a revisar rápidamente:

- una fórmula empírica

(18) $\hat{M} = 3\bar{\bar{M}} - 2M$

en donde $\hat{M}$ es el valor modal, $\bar{\bar{M}}$ la mediana y **M** la media aritmética; esta fórmula es válida para distribuciones unimodales y simétricas;

- considerando los momentos de segundo y tercer orden tenemos:

(19) $\hat{M} + x_0 = M + \bar{\bar{M}}$

en donde x_0 es el valor que anula al momento de tercer orden; esta fórmula tiene en cuenta la disimetría de la distribución pero necesita conocer la mediana cuya estimación carece generalmente de precisión;

- la descomposición de una función de distribución cualquiera $f(\mu)$ en series limitadas permite llegar a otra fórmula:

(20) $\hat{M} = \bar{x} + \sigma \cdot \mu_0$

en donde μ_0 es el valor para el cual $f(\mu)$ es máximo; esta fórmula no es tampoco conveniente para las distribuciones plurimodales; es sensible a los valores extremos porque hace intervenir un parámetro de dispersión.

Finalmente el autor utiliza un método original de tratamiento líneas-columnas que permite, por iteraciones sucesivas y utilizando una de las fórmulas anteriores, evadir las restricciones mencionadas. La rapidez de convergencia del algoritmo de cálculo depende evidentemente de la calidad de los datos.

La presencia de valores faltantes no influye en el tratamiento a condición de tener por lo menos tres valores por línea y columna, pero la estimación del vector es mayor* si los datos son numerosos.

3.5.2. *Conclusiones sobre este vector*

La sensibilidad y confiabilidad del algoritmo ha sido comprobada mediante varias pruebas; la totalidad de la pluviometría del Brasil ha sido comprobada con ese método.

Una vez elaborado el vector, se lo compara con las estaciones por dobles masas pero no se comparan los datos con su valor promedio sino con su valor más probable.

La aplicación de tal metodología requiere respetar algunas reglas:

- utilización del año hidrológico (y no calendario);
- un número de estaciones necesariamente superior a 3, sabiendo que el mínimo aconsejable es 7;
- una zonificación previa de las estaciones, la cual se podrá precisar después de un primer tratamiento.

Se revela evidente que dicho vector es un instrumento poderoso. Su aplicación en todo el Brasil lo comprueba, pero falta analizarlo más precisamente en un medio montañoso como el Ecuador.

3.6. El vector de los índices anuales de precipitación [4]

3.6.1. *Construcción del vector*

El autor considera que una zona climática puede representarse por un vector

$$Z = (z_1, \dots z_i, \dots z_n)$$

de modo que su media **Z** sea igual a 1.

La ecuación (17) puede escribirse de la siguiente forma:

$$x_{ip} / \bar{x}_p = z_i + e_{ip} \qquad (21)$$

para la precipitación del año **i** de la estación **p**, sabiendo que la media de E_p es igual a cero como lo hemos dicho anteriormente.

La matriz **A (n, m)** se compone de las precipitaciones de **m** estaciones en **n** años y será en la mayoría de casos incompleta.

El algoritmo de cálculo consiste en minimizar la ecuación:

$$\sum_{i=1}^{m} \sum_{j}^{n} \left(x_{ij} / \bar{x}_j - z_i \right)^2 \qquad (22)$$

para determinar cada $\bar{x}_j$ y cada z_i.

Derivando según z_i, si existen **p** estaciones observadas el año **i**, obtenemos **n** ecuaciones

$$z_i = \frac{1}{p} \sum_{1}^{p} x_{ij} / \bar{x}_j \qquad (23)$$

Reemplazando en la fórmula (22) los valores de z_i (23) y derivando según $1/\bar{x}_j$, obtenemos un sistema de **m** ecuaciones de **m** variables desconocidas en $1/\bar{x}_j$.

La resolución del sistema permite encontrar $\bar{x}_j$, y mediante la ecuación (23), los diferentes componentes z_i.

El método rápidamente descrito permite considerar los valores observados con el mismo peso.

Se supone que para cada año y en cada estación los valores erróneos son la minoría.

Una primera iteración con los elementos originales de **A** calculan una primera serie de valores. Si un ele mento $x_{ij} / \bar{x}_j \cdot z_i$ no está en un intervalo, es reemplazado por $\bar{x}_j \cdot z_i$.

Una serie de iteraciones sucesivas permite eliminar esos problemas rápidamente. Los límites del intervalo dependen de la varianza de **E**.

3.6.2. *Utilización del método*

Después de haber verificado el historial de las estaciones, suprimido los valores aberrantes (errores de teclado, etc.) y completado los valores que se pueden completar, se efectúa un

primer paso en simples masas para confirmar los grupos representativos de una misma zona climática.

Una vez efectuada esa preparación, se puede hacer un primer paso del programa que sirve para eliminar los valores claramente erróneos.

En función de los coeficientes de correlación se pueden también eliminar algunas estaciones para restringir la zona y obtener así mejores correlaciones.

Los siguientes pasos sirven para detectar los errores menos marcados (cambio de ubicación o modificación del medio circundante, etc.) y llegar así en dos o tres pasos a la construcción de un vector representativo de la región considerada.

4. COMPARACION DE LOS DOS VECTORES

El vector regional HIEZ tiene la ventaja de fundarse desde el inicio en una estimación precisa del valor modal, por loque es independiente de los errores sistemáticos siempre y cuando estos sean una minoría. Se puede entonces en un solo paso detectar las anomalías y calcular los coeficientes de pendiente correspondientes a una confusión de probeta, un cambio de sitio, etc.

Ha sido n todo el territorio brasileño, lo cual representa un buen número de pruebas que han llevado a la elaboración de normas de utilización.

Lastimosamente, su algoritmo de cálculo es algo difícil y largo y hasta el momento, sólo funciona en computadores grandes.

Recientemente, está siendo adaptado para micro-computación y será interesante ver cómo funciona en el medio montañoso.

El vector de índice anual de precipitación busca el valor más probable para un algoritmo más sencillo, no totalmente insensible a la existencia de errores sistemáticos, de manera que se requieren 2 ó 3 pasos antes de llegar a una estimación correcta.

En el período de elaboración, las estaciones en donde aparecen rupturas de pendiente evidentes, se consideran como estaciones secundarias.

El análisis de la relación entre dos pendientes se efectúa en el paso final, una vez elaborado el vector.

Ha funcionado ya en el Africa y el Caribe, y ha sido ensayado en el sur oriente del Ecuador. Se está probando en la cuenca del Mira y luego será aplicado en la Costa en el marco de la elaboración del Plan Nacional de Riego con el INERHI.

Está disponible en compatibles IBM pero los listados de resultados son tan complicados que será necesario representarlos en gráficos para tener un criterio visual ayudado por criterios numéricos.

Para compararlos con un vector elaborado a partir de la media aritmética, tomaremos el siguiente ejemplo:

Doce estaciones observadas durante veinte años: 1966-1985. Cada año en cada estación los valores varían entre 999,5 y 1.001,5 mm, es decir que todos son muy cercanos a 1.000.

Multiplicamos los datos de tres estaciones por 5 en un período de 10 años (1966-1975).

Un vector elaborado mediante la media aritmética tendría las siguientes características:

1966 - 1975 $x_i = 2.000$
1976 - 1985 $x_i = 1.000$

es decir una relación del orden de 2.

Con el vector de índices anuales de precipitación, la relación es de 1,25 lo que índica claramente la poca sensibilidad a las confusiones de probetas o a los desplazamientos.

En esas mismas 12 estaciones, se introduce un año con una precipitación de 13.000 mm. La media aritmética nos indica 2.000 mm, el vector índice 1.015, lo que demuestra la casi insensibilidad a valores extremos como errores de teclado, etc.

En los dos casos anteriores (un tanto extremos), la comparación de las estaciones mediante un vector elaborado a partir de la media aritmética, no hubiera permitido un diagnóstico, porque el vector en sí está muy alterado.

El vector HIEZ es aún más insensible a errores de ese tipo como lo demuestran ejemplos que se presentaron en el Brasil.

Para finalizar, cabe recordar que en el numeral 3.1 se señala que dobles masas entre estación y vector son más precisas que dobles masas entre estaciones. Esa característica puede verificarse en el siguiente ejemplo.

Se calcularon los coeficientes de correlación entre 12 estaciones del norte del Ecuador, comparadas una con otra. Se anotó para cada estación:

- el coeficiente correlación máximo CCMAX;
- el coeficiente de correlación mínimo CCMIN;
- los coeficientes de correlación promedio CCMOY;
- el coeficiente de correlación con el vector índice CCVEC, elaborado a partir de las 12 estaciones sin hacer ninguna corrección y sabiendo que ellas pertenecen a regímenes pluviométricos diferentes.

Estación	CCMAX	CCMIN	CCMOY	CCVEC
M054	0,64	0,17	0,41	0,66
M083	0,90	0,18	0,67	0,90
M084	0,91	0,41	0,68	0,86
M101	0,84	0,20	0,44	0,50
M102	0,86	0,20	0,60	0,86
M103	0,83	0,14	0,46	0,65
M303	0,91	0,39	0,66	0,88
M305	0,85	0,17	0,55	0,85
M306	0,90	0,37	0,72	0,93
M307	0,76	0,25	0,46	0,72
M324	0,80	0,30	0,57	0,83
M487	0,62	0,14	0,39	0,60

Se puede observar que las correlaciones con el vector son siempre superiores a las correlaciones promedio entre estaciones, casi siempre iguales o superiores a las correlaciones máximas.

Esa característica será de gran ayuda para completar los valores faltantes.

5. CONCLUSION

Como lo hemos visto al comienzo, sólo el método de dobles masas acoplado a las simples masas permite detectar y corregir los datos pluviométricos erróneos.

Desafortunadamente, dicho método exige un trabajo amplio y minucioso así como la manipulación de una gran cantidad de información.

El concepto de vector pluviométrico es por eso un gran avance metodológico. Su elaboración no puede contentarse de promedios aritméticos que son alterados por valores extremos.

Los dos vectores presentados representan valores probables por algoritmos diferentes, o sea que son casi insensibles a las alteraciones. Puede parecer un poco exagerado el cuidado con el cual se elaboran, pero no sirven únicamente para homogeneizar los datos sino también para representar lo más exactamente posible todas las características de una zona climática, lo que significa que son de gran ayuda para la regionalización climática.

BIBLIOGRAFIA

[1] RODDA, J.C., 1967. The rainfall measurement problem, in *AISH*, publ. nº 78, p. 215-281.

[2] BRUNEL, J.P., 1986. Comparaison instrumentale des précipitations en climat méditerranéen semi- aride, in *Hydrologie Continentale*, Vol.1, nº 2, p. 87-93.

[3] CHEVALLIER, P., 1986. Note sur les écarts de mesure observés entre les pluviomètres standards et les pluviomètres au sol, in *Hydrologie Continentale*, Vol. 1, nº 2, p. 111-119.

[4] BRUNET-MORET, Y., 1979. Homogénéisation des précipitations, in *Cahiers Hydrologiques*, ORSTOM,Vol. XVI, nº 3 y 4, p. 147-170.

[5] BRUNET-MORET, Y., 1971. Études de l'homogénéité de séries chronologiques annuelles par la méthode des doubles masses, in *Cahiers Hydrologiques*, ORSTOM, Vol. III, nº 4, p. 3-31.

[6] HIEZ, G., 1977. L'homogénéité des séries pluviométriques, in *Cahiers ORSTOM* , Vol. XIV, nº 2, p. 129-163.

[7] SEARCY, J.K., HADIRSON, C.H., 1983. *Curva de dobles masas*, HIMAT y COLCIENCIAS, Bogotá, 36 p.

Com :
V Congreso Nacional de Hidráulica
Asociación Ecuatoriana de Hidráulica,
AEHID/CICP, Quito, 23-26/11/1988.

HOMOGENEIZACION Y REGIONALIZACION PLUVIOMETRICA POR EL METODO DEL VECTOR REGIONAL

por Patrick Le Goulven*, Miguel A. Alemán, Iván Osorno****

RESUMEN

Después de haber definido el concepto de homogeneidad de las series de precipitaciones anuales y demostrado la ineficacia de las pruebas estadísticas clásicas para resolver este problema, los autores demuestran la eficiencia de las pruebas de dobles masas y sobre todo del vector regional.

Utilizan además este último método para emprender una regionalización pluviométrica teniendo en cuenta la variación interanual de las precipitaciones (regionalización cronológica) y su repartición a lo largo del año (regionalización de régimen).

Las demostraciones y conclusiones se ilustran en base a trabajos ya realizados en la cuenca hidrográfica del río Mira.

* Ingeniero hidrólogo del Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM)
** Ingenieros hidráulicos del Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos (INERHI)

INTRODUCCION

El inventario de los recursos hídricos así como su manejo racional son preocupaciones actuales del Ecuador.

Sin embargo, tales objetivos dependen estrechamente de un buen conocimiento de los elementos del clima entre los cuales la pluviometría juega un papel importante. Su conocimiento cuantitativo se obtiene por mediciones permanentes a través de una red de observaciones puntuales.

Lastimosamente, todo registro de datos adolece de errores de toda naturaleza, lo que demuestra la necesidad de una crítica severa de los datos obtenidos por medio de la red, los mismos que pueden ser eliminados cuando se alejan demasiado de la realidad, corregidos cuando la naturaleza de los errores lo permite, o simplemente señalados cuando el valor anormal puede ser considerado como localmente posible.

Además, el cálculo de las necesidades de agua y de los recursos disponibles requiere una información completa y consistente aunque no existan estaciones cercanas.

A fin de alcanzar este objetivo,es indispensable dividir el espacio estudiado en zonas homogéneas, en las que el régimen pluviométrico así como la variación interanual de la precipitación sean similares y bien conocidos, para después diseñar modelos hidro-pluviométricos que permitan manejar con criterio científico el recurso agua.

El Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos (INERHI), en colaboración con el Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM), emprendió esa tarea en la Sierra y en la Costa, para elaborar posteriormente su Plan Nacional de Riego. Ante la magnitud del trabajo, se asociaron al programa la Escuela Politécnica Nacional (EPN) y el Instituto Nacional de Metereología e Hidrología (INAMHI).

Las cuatro instituciones trabajan en regiones diferentes en base a una metodología común que se presenta en este artículo.

A - HOMOGENEIZACION

1. DEFINICION DEL PROBLEMA

Una serie cronológica de valores observados es de carácter aleatorio sencillo si todos sus valores son independientes y provienen de una misma población estadística por sorteo al azar. El carácter aleatorio puede ser alterado por :

- **un efecto de persistencia**
  Los valores son dependientes de los anteriores pero la serie es estacionaria y sus parámetros de distribución no varían en el tiempo.

- **un efecto de tendencia**
  La esperanza matemática de los valores observados varía en el tiempo.

- **efectos cíclicos o pseudo-cíclicos**
  La esperanza matemática de un valor observado es función de la cronología, pero el valor promedio de series suficientemente largas (medias móviles) es estacionario y sus parámetros no varían en el tiempo.

- **errores de observación y de medición**
  Afectan uno o varios términos consecutivos de la serie y pueden superponerse a los 3 efectos anteriores.

Una serie cronológica de precipitaciones anuales puede contener todos los tipos de efectos al mismo tiempo. Los tres primeros caracterizan a la pluviometría del sitio de medición y conforman así la organización interna de la serie.

Sólo los errores de observación y de medición (o errores sistemáticos) inciden en la homogeneidad de la serie.

El verdadero problema de la homogeneización consiste entonces en detectar e identificar dichos errores.

Tal es el objetivo de esta primera parte.

2. LAS FUENTES DE HETEROGENEIDAD Y LAS CONSECUENCIAS DE ELLA

Múltiples son los problemas que se presentan en una red de observación pluviométrica. Recordaremos solamente los más frecuentes:

- Modificación del medio circundante o del sitio de medición

  - Por desplazamiento del aparato
    Es un caso frecuente y generalmente la estación conserva el mismo nombre.

  - Por modificación del medio circundante
    Puede ser brusca (construcción cercana) o progresiva (crecimiento de árboles a proximidad).

  - Por cambio de la altura del aparato
    Modifica significativamente la cantidad de agua recibida por el pluviómetro sobre todo cuando el sitio está expuesto al viento.

- **Errores debidos al aparato**

  - modificación de la superficie receptora por construcción o deformación del aparato de medición;

  - defecto de calibración (en los pluviógrafos).

- **Errores de medición**

  Los errores a nivel de la probeta o de la regleta son frecuentes. La confusión de probeta es el caso típico. Antiguamente, el Sur del Ecuador estaba equipado con pluviómetros de 100 cm^2 con la correspondiente probeta de cristal. Una vez rota, el observador podía recibir una nueva de plástico, pero calibrada para un pluviómetro de 200 cm^2. Las mediciones posteriores al cambio subestimaban entonces en un 50 % la altura real de lluvia.

  El siguiente cuadro presenta el valor de los errores cometidos en el caso de una confusión entre probetas y pluviómetros de superficies usuales.

probeta

pluviómetro	100 cm^2	200 cm^2	314 cm^2	400 cm^2
100 cm^2	1	0,5	0,318	0,25
200 cm^2	2,0	1	0,637	0,50
314 cm^2	3,14	1,57	1	0,79
400 cm^2	4,0	2,0	1,27	1

Cuadro nº 1

- **Errores de transmisión**

  Problemas de correo, de radio, de satélite, etc.

- **Errores de archivo y publicación**

  Al tipear la información en bruto, se generan errores de todo tipo (omisión de datos, errores de fecha, de copia, de digitación, etc.).

Según su naturaleza, los errores sistemáticos tienen consecuencias diferentes tanto en su detección como en la corrección de los valores erróneos.

Una confusión de probeta necesita generalmente pocos años para detectarse cuando no hay utilización concomitante de varias probetas o regletas. Es posible en ese caso restablecer los totales anuales, mensuales y hasta diarios cuando se conoce la fecha de la confusión.

Una modificación del medio circundante se detecta con un buen número de años homogéneos antes y después del cambio. Mientras mayor es el cambio, menos años se requieren. La experiencia demuestra que solamente los totales anuales y mensuales pueden corregirse en este caso.

Si hay desplazamientos frecuentes del aparato (u otras causas que producen el mismo efecto), las heterogeneidades no son discernibles y es imposible efectuar correcciones.

3. IMPORTANCIA DE LAS PRUEBAS DE HOMOGENEIDAD

Todo lo anterior demuestra la necesidad de controlar rigurosamente los datos pluviométricos, control que se podría hacer consultando el historial de las estaciones.

En general, un cambio de sitio coincide con un cambio de observador y una confusión de probetas se produce después de una interrupción de las mediciones. Un buen historial con anotaciones sobre cambios de observadores o de sitio, de material o del medio circundante, permitiría entonces resolver gran número de problemas.

Lastimosamente, si bien los inspectores conocen esos detalles de la vida de una estación, estas figuran rara vez por escrito en algún documento, y con la desaparición de « la gente que sabe » desaparece también la información.

Una parte del historial puede reconstruirse en base a los documentos originales enviados por los observadores, pero ello es generalmente insuficiente.

Por tal razón, surgió un interés general por elaborar pruebas de homogeneidad a partir de los simples datos.

Numerosas pruebas estadísticas existen en la literatura: test de los signos, test de correlación serial de Wald, Wolfowitz y Anderson, test de los picos y de las fases, de correlación de rango de Mann y Sperman, de Fisher-Yates,etc.

Esos tests solamente pueden comprobar el carácter aleatorio de una serie de variables independientes, lo cual implica la hipótesis de la inexistencia de una organización interna de la muestra observada.

Por construcción, comparan una parte de los valores de la muestra con la restante, por lo que requieren conocer de antemano la época separando las series homogéneas.

Para resumir, no pueden distinguir los errores sistemáticos de una organización interna real de la serie, pues no han sido concebido para tal efecto.

Desafortunadamente, la mayoría de series pluviométricas anuales tiene una organización interna, lo que disminuye aún más el interés de aplicar a la pluviometría las pruebas clásicas de homogeneidad.

4. LAS PRUEBAS DE SIMPLES MASAS

Para utilizar este método, se anota en coordenadas:

- el número **i** del año en la serie (creciente o decreciente), omitiendo los años faltantes;
- la suma $\sum x_i/x_m$ en la cual x_i representa las precipitaciones anuales y x_m la pluviometría promedio de todos los años utilizados.

En el caso de una serie cronológica de carácter aleatorio sencillo, el gráfico de simples masas oscilará alrededor de la primera bisectriz.

En la práctica, siendo el trabajo muy largo, se usan programas que utilizan una variable transformada de tipo $x_i/x_m - i$, lo que permite transformar la primera bisectriz en un eje vertical, facilitando así el trazado de los gráficos por computador.

Si la serie ha sido afectada por uno (o varios) de los efectos enumerados en el punto 1, el gráfico presentará un cambio de pendiente significativo. Dicho cambio es fácilmente detectable y permite además localizar los años afectados, lo que ni siquiera podían realizar los tests clásicos.

Lastimosamente, las pruebas de simples masas no pueden distinguir con certeza los errores sistemáticos de eventuales efectos que componen la organización interna de la serie observada.

La figura 1, elaborada automáticamente a partir del programa MASA utilizado en el proyecto, ilustra bien la afirmación anterior.

El gráfico de simples masas de la estación Mira no oscila alrededor del eje vertical y parece tener 3 períodos de pendientes diferentes.

El período 1965-1968 es casi paralelo al eje lo que significa que esta compuesto por años normales (cercanos al promedio multianual).

El período 1969- 1976 corresponde a una serie de totales anuales elevados y el último período (1977-1983) a una serie de precipitaciones « bajas » (inferiores al promedio multianual).

El caso de la estación Los Cerros (Montecristi), ubicada en la provincia del Manabí, es aún mas espectacular.

El gráfico está compuesto de 3 períodos principales (1964-1971, 1972-1976, 1977-1982) y se observa claramente el valor anormalmente elevado del año 1983 que altera completamente el gráfico y que representa evidentemente al fenómeno del Niño.

Todos esos cambios de pendiente corresponden a efectos que vienen a alterar el carácter aleatorio de las dos series, pero el problema reside en saber cuáles son esos efectos.

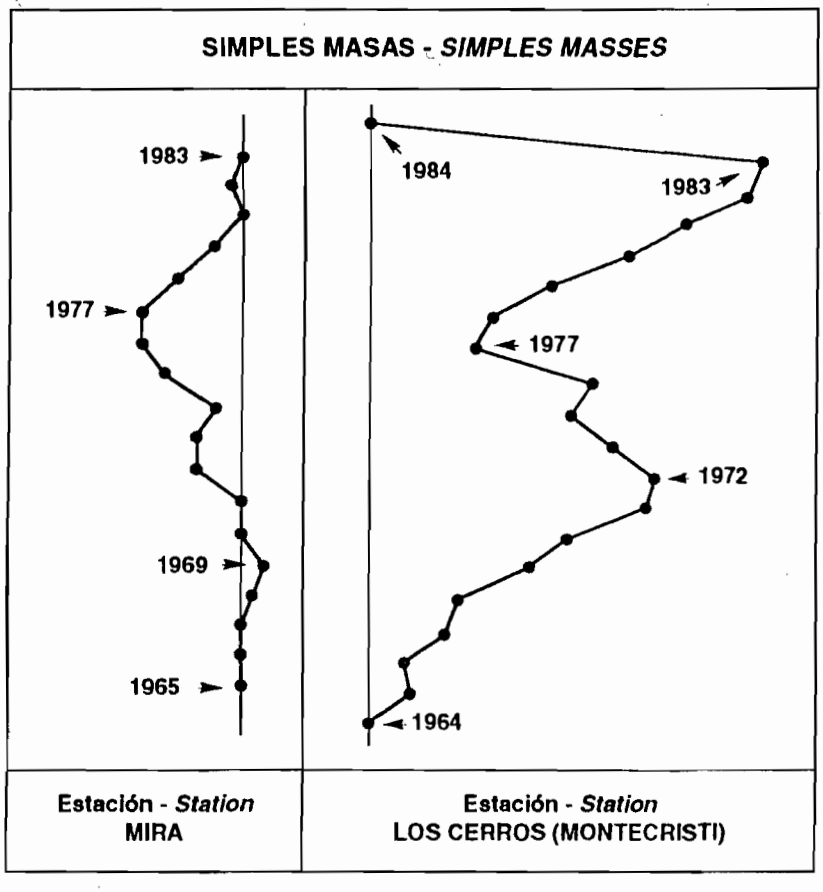


Figura 1

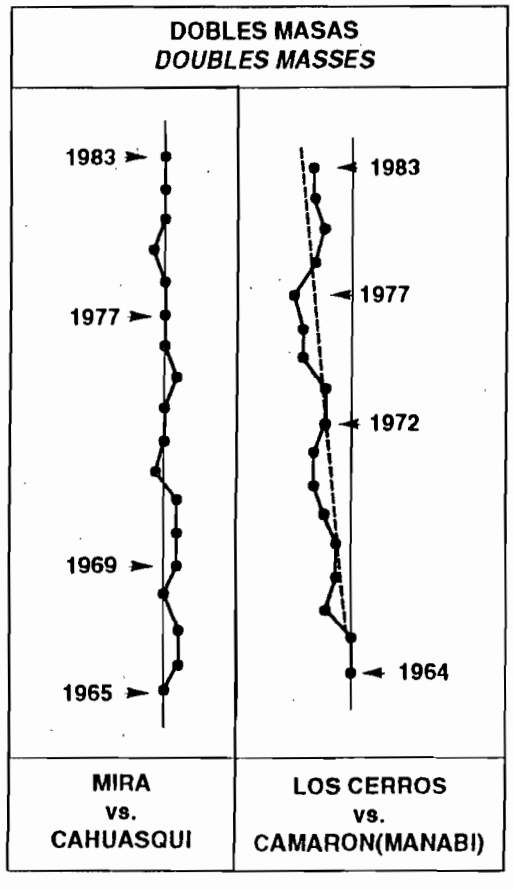


Figura 2

El solo uso de las simples masas no permite contestar objetivamente y la única observación que puede hacerse es que en las 2 estaciones existe un cambio similar de pendiente entre los años 1976 y 1977. Este cambio debe corresponder entonces a un fenómeno normal de organización interna.

Para concluir, es indispensable consultar los gráficos de dobles masas (figura n 2), realizadas con estaciones vecinas y en los cuales han desaparecido los diferentes períodos, lo que demuestra que todos los cambios de pendiente anteriores son debidos a fenómenos normales y característicos de las regiones climáticas en las cuales están ubicadas las 2 estaciones.

Si bien las pruebas de simples masas son interesantes en comparación con las pruebas estadísticas, no pueden aportar criterios realmente objetivos en cuanto a la homogeneización de los datos pluviométricos.

Además parece imposible detectar con certeza los errores sistemáticos a partir de una sola serie cronológica. Afortunadamente, en el estudio de las precipitaciones, se dispone generalmente de varias estaciones ubicadas en una misma región.

5. LAS PRUEBAS DE DOBLES MASAS

5.1 Hipótesis de base

Se admite que existen zonas climáticas en las cuales se dispone de varias estaciones cuyas series cronológicas están relacionadas por coeficientes de correlación lineal significativamente positivos.

Perteneciendo a una misma zona climática, las estaciones están sometidas a los mismos efectos de persistencia, de tendencia o de pseudo-ciclos. Sus coeficientes de variación son entonces similares y sus precipitaciones anuales pseudo-proporcionales.

Es decir que para un año **i**, los totales anuales x_i y y_i de dos estaciones de la misma zona tienen entre ellos la siguiente relación:

(1) $$x_i/x_m = y_i/y_m + e_i$$

en donde x_m y y_m corresponden a los promedios multianuales de las dos estaciones, calculados en un período suficientemente largo. La varianza de e_i (término independiente tanto de x_i como de y_i) es más reducida si el coeficiente de correlación entre las dos estaciones es mayor. Su esperanza matemática es igual a cero.

5.2 Teoría de las dobles masas

La hipótesis anterior implica entonces que una estación **X** está ligada a una tendencia climática regional única, cuyos valores anuales t_i pueden expresarse mediante una variable w_i reducida y normada de la siguiente forma:

(2) $$w_i = (t_i - t_M)/\sigma_t$$

en donde t_M corresponde al promedio de la tendencia y σ_t a su desviación estándar.

Considerando que una estación tiene factores de sitio propios (promedio x_M, desviación estándar σ_x), representativos del sitio de medición, y que sus observaciones tienen fluctuaciones aleatorias (υ_i) cuya magnitud varía según la relación existente entre la estación y su tendencia, las precipitaciones x_i de la estación **X** podrán escribirse según la fórmula:

$$(3) \qquad x_i = x_M + \sigma_x \cdot \left(r_x \cdot w_i + u_i \cdot \sqrt{1 - r_x^2} \right)$$

en donde r_x representa el coeficiente de correlación entre la estación y su tendencia.

Acumulando los datos hasta el año **n**, tenemos:

$$(4) \qquad \sum x_i = n \cdot x_M + \sigma_x \cdot \left(r_x \cdot \sum w_i + \sum u_i \cdot \sqrt{1 - r_x^2} \right)$$

Dividiendo para el promedio:

$$(5) \qquad X_n = \sum x_i / x_M = n + C_x (r_x \cdot \sum w_i + \sum u_i \cdot \sqrt{1 - r_x^2})$$

en donde C_x corresponde al coeficiente de variación de la estación **X**. El gráfico de simples masas ilustra esta relación.

Consideremos ahora otra estación, **Y**, que pertenece a la misma zona climática. Efectuando los cálculos anteriores, obtendremos la siguiente ecuación:

$$(6) \qquad Y_n = n + C_y \cdot \left(r_y \cdot \sum w_i + \sum v_i \cdot \sqrt{1 - r_y^2} \right)$$

Eliminando **n** y reagrupando los términos:

$$(7) \qquad Y_n = \begin{cases} X_n \\ + \sum w_i \cdot \left(r_y \cdot C_y - r_x \cdot C_x \right) \\ + \left(C_y \cdot \sum v_i \cdot \sqrt{1 - r_y^2} - C_x \cdot \sum u_i \cdot \sqrt{1 - r_x^2} \right) \end{cases}$$

La ecuación anterior muestra la existencia, entre los totales acumulados X_n y Y_n, de una relación lineal alterada por 2 términos complementarios, **A** y **B**.

Eso significa que el gráfico de dobles masas (o de dobles acumulados) oscilará alrededor de una recta de pendiente positiva igual a 1.

Si las estaciones son independientes, la magnitud de la oscilación del gráfico dependerá únicamente de C_x y C_y. En el caso contrario, la oscilación disminuirá cuando los coeficientes de correlación se aproximen a 1.

Toda variación de uno de los promedios se traducirá en una modificación simultánea de la pendiente del gráfico, como en el caso de las simples masas.

Según la ecuación (7), si las 2 estaciones son suficientemente cercanas como para obedecer estrictamente a una misma tendencia climática, C_x y C_y serán sensiblemente iguales así como r_x y r_y. En este caso, el término **A** de la ecuación tenderá hacía cero y la relación existente entre las dos sumas acumuladas X_n y Y_n será independiente de eventuales fluctuaciones climáticas y alterada únicamente por factores aleatorios cuando los datos son homogéneos.

EN ESTE CASO, TODA MODIFICACION DE LA PENDIENTE DEL GRAFICO CORRESPONDERA UNICAMENTE A ERRORES SISTEMATICOS.

Es la gran ventaja que tienen las dobles masas en comparación con las simples masas cuya ecuación (5) contiene siempre los valores w_i relativos a la tendencia climática de la zona considerada, los mismos que pueden contener otros efectos superpuestos como lo hemos visto en la figura 1.

La ecuación (7) permite el uso de la metodología para cualquier estación, pero en la práctica, la detección de errores poco importante es posible siempre y cuando la oscilación tenga menor amplitud, es decir cuando exista una correlación suficiente entre las estaciones. Por esa razón, su se restringe a estaciones cercanas, aunque esa noción de proximidad se defina más por el valor del coeficiente de correlación que por la distancia absoluta.

5.3. Análisis de gráficos

Las figuras 2 y 3 ilustran bien las afirmaciones anteriores.

En la primera, la estación Mira es comparada a la de Cahuasquí y la estación Cerros (Montecristi) a la de Camarón (Manabí). Los cambios de pendiente que tenían las dos estaciones en simples masas han desaparecido, lo que demuestra se debían únicamente a efectos particulares (w_i) de la tendencia climática de cada estación.

Las curvas oscilan ligeramente alrededor de una recta. En el caso de la estación Los Cerros, esa recta difiere del eje representado por la primera bisectriz debido al efecto del Niño de 1983, cuyo carácter excepcional determina que la hipótesis de pseudo-proporcionalidad no sea totalmente respetada.

La figura 3 muestra gráficos de dobles masas alterados por errores sistemáticos.

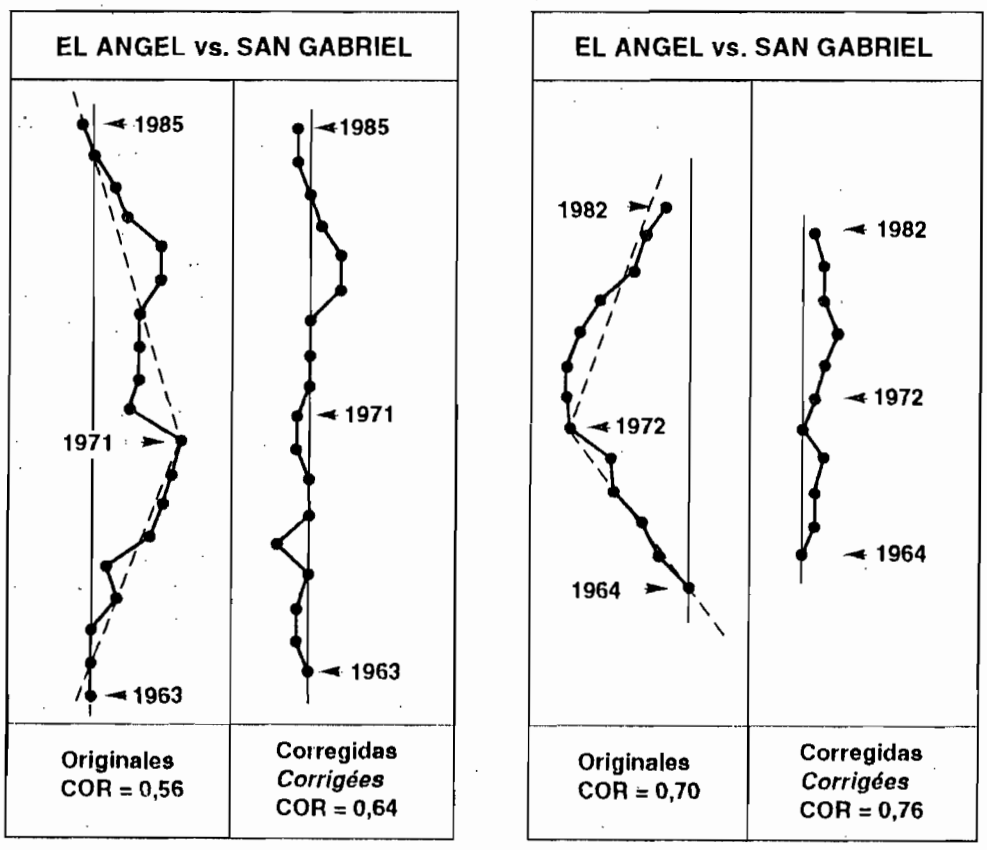


Figura 3

La curva que representa la comparación entre las estaciones El Angel y San Gabriel tiene 2 períodos diferentes (1963-1970 y 1971-1985), cuyas pendientes tienen una relación igual a 1,20.

Este valor no corresponde a ningún valor del cuadro 1, habiéndose diagnosticado entonces un cambio de sitio.

Multiplicando el primer período por el valor de 1,2 para obtener una serie cronológica homogénea y representativa del último sitio del aparato, obtenemos una curva mucho más adecuada.

Sin embargo, después de haber visto la estación y estudiado su historial en el INAMHI (a quien presentamos nuestro reconocimiento por habernos permitido la consulta), pudimos comprobar el cambio de sitio de la estación climatológica, pero en una fecha anterior.

Este error en el diagnóstico proviene del valor particularmente bajo del coeficiente de correlación (0,56) y viene a corroborar lo dicho en el párrafo anterior.

Las dobles masas entre las estaciones Zuleta y Pimampiro muestran un cambio de pendiente a partir del año 1972. La relación entre las pendientes de los dos períodos es de 1,36, lo que tampoco corresponde a ningn valor del cuadro 1. Se diagnosticó entonces un cambio de sitio.

Una visita de campo permitió corroborar la fecha del cambio, pero el observador nos indicó un cambio de probeta.

Esas dos estaciones tampoco tienen coeficientes de correlación muy significativos (0,70 y 0,76 para los valores corregidos), lo que puede explicar el error de diagnóstico.

En los dos casos anteriores, fue necesario comprobar las estaciones con relación a todas las otras circundantes para acertar el diagnóstico, lo que constituye un serio limitante de esa metodología.

5.4. Conclusiones sobre los gráficos de dobles masas

Para utilizar este método se debe, en primer lugar, determinar empíricamente grupos de estaciones que pertenezcan a la misma zona climática, teniendo en cuenta la distancia entre ellas, los efectos de relieve, el tipo de régimen intra-anual, etc.

Posteriormente, se compara cada una con todas las demás del grupo, lo que significa un número de dobles masas igual a **m (m -1) / 2** para un grupo de **m** estaciones. En esas condiciones, el tratamiento de la pluviometría de una región o de un país exige la manipulación de una cantidad considerable de información, posible únicamente mediante automatización de las operaciones de tratamiento.

El programa MASA, utilizado en el proyecto, constituye un buen ejemplo de trazado automático de gráficos. Su utilización facilita considerablemente las comparaciones entre estaciones suprimiendo la mayor parte de las operaciones manuales y aportando una valiosa ayuda en el trabajo de interpretación.

La sola figura 2 no permite tampoco detectar de donde vienen los errores que aparecen en los gráficos con datos originales. Los cambios de pendiente pueden provenir tanto de Mira como de Cahuasquí o de Los Cerros (Montecristi) como de Camarón (Manabí). Varias pruebas serán necesarias para descubrir de donde vienen los problemas.

La mejor manera de utilizar el método de dobles masas es seleccionar, en la zona climática considerada, algunas estaciones con datos de buena calidad y de largo período (estaciones de base). Comparándolas con las estaciones vecinas y corrigiendo cada vez que aparezcan cambios de pendientes, es factible constituir otras estaciones de base y avanzar así lentamente, comprobando cada vez los diagnósticos emitidos con todas las estaciones de base.

Operando minuciosamente y de esa manera, es posible llegar a diagnósticos precisos y comprobados. La metodología es usada en varios continentes en donde se ha probado su eficiencia.

Sin embargo, la realidad es más compleja. No siempre es posible encontrar de antemano estaciones de base y, en tal caso, la interferencia entre errores provenientes de estaciones diferentes dificulta en gran medida la elección de criterios de decisión realmente objetivos.

Además, es frecuente disponer de estaciones de base que tengan períodos de observación incompletos, justamente en los años interesantes de comparar.

Se percibe entonces, el interés de elaborar un vector de referencia:

- homogéneo,
- que cubra todo el período considerado,
- automáticamente,
- en base a los datos existentes.

Con un vector elaborado en condiciones óptimas, su simple comparación con una estación permitiría concluir sin tener que pasar por toda una serie de deducciones cuya práctica conduce rápidamente a confusión cuando el número de estaciones por tratar aumenta.

6. ELABORACION DE UN VECTOR DE REFERENCIA

6.1 Principal interés

Si **Z** designa al vector de referencia representativo de la tendencia climática regional descrita en el punto 5.2 y en la cual se encuentran las estaciones a verificarse, dicho vector no tendrá fluctuaciones aleatorias y su relación con la tendencia podrá escribirse mediante la siguiente ecuación:

(8) $$z_i = z_M + \sigma_z \cdot w_i$$

en donde z_i representa los valores anuales, z_M el promedio, y σ_z la desviación estándar.

Acumulando las variables z_i hasta el año **n** y dividiendo para el promedio, la ecuación anterior se escribe:

(9) $$Z_n = n + C_z \cdot \sum w_i$$

en donde C_z corresponde al coeficiente de variación de z_i.

Comparando este vector con una estación **X** que pertenezca a la misma zona climática y eliminando **n** entre las ecuaciones (5) y (9), obtenemos:

(10) $$X_n = Z_n + \sum w_i \cdot (r_x \cdot C_x - C_z) + C_x \cdot \sum u_i \cdot \sqrt{1 - r_x^2}$$

o para simplificar:

(11) $$X_n = Z_n + A + B$$

Como lo manifestamos en el punto 5.2, en una misma zona climática, el término **A** tiende hacia cero, mientras el término **B**, del cual depende la magnitud de la oscilación de las dobles masas, tiene como varianza:

(12) $$\sigma_v^2 = C_x^2 + C_z^2 - 2 \cdot C_x \cdot C_z \cdot r_x$$

relación en la cual C_x^2 y C_y^2 corresponden al cuadrado de los coeficientes de variación C_x y C_z.

En la comparación estación por estación en dobles masas, la varianza del término **B** de la ecuación (7) es:

$$\sigma_{xy}^2 = C_x^2 + C_y^2 - 2 \cdot C_x \cdot C_y \cdot r_x \cdot r_y \tag{13}$$

Con coeficientes de variación similares, σ_{xy}^2 es superior a σ_v^2, lo que significa que las dobles masas entre estaciones y vector tendrán una oscilación menor que las dobles masas entre estaciones. Además, como el vector no tiene fluctuaciones aleatorias, su coeficiente de variación será inferior al de la mayoría de estaciones y esa particularidad será aún más marcada.

Eso significa que las dobles masas entre estaciones y vector de referencia serán mas precisas que las dobles masas entre estaciones, como lo podremos verificar en ejemplos posteriores.

6.2 Condiciones de elaboración

La elaboración del vector tendrá que conformarse con la condición de pseudo-proporcionalidad de los totales anuales y deberá también tener en cuenta algunas consideraciones complementarias:

- su elaboración no debe exigir hipótesis previas sobre la distribución de los totales pluviométricos anuales;
- para un año dado, el total anual de una sola estación no puede, *a priori*, servir de valor de referencia;
- se supone que en el conjunto de la información global existe un valor estimativo de la tendencia climática regional, más representativa que la información parcial de cada una de las estaciones;
- el proceso de elaboración debe ser concebido de modo que toda la información disponible sea utilizada sin que la información errónea tenga una influencia sensible en el resultado; sin embargo, en la práctica, cuando los datos son realmente desastrosos, será necesario corregir los errores más grandes, pero no se eliminarán *a priori* estaciones de períodos cortos (5 años por ejemplo) cuyos valores pueden ayudar a la construcción de una componente anual del vector.

6.3 Análisis de la matriz de datos

El conjunto de los totales anuales conforma una matriz **A** cuyas filas son las estaciones y las columnas los años.

$$A = [x_{\theta i}] = \begin{vmatrix} \theta = \alpha, \ldots\ldots\ldots\ldots, \mu \\ i = 1, \ldots\ldots\ldots\ldots, n \end{vmatrix} \tag{14}$$

Los μ datos obtenidos durante un año **i** definen las coordenadas de un vector-lluvia en el espacio de las estaciones.

Si la pseudo-proporcionalidad fuese estricta, la ecuación (1) podría escribirse:

$$x_{\alpha i}/x_{\alpha i-1} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = x_{\mu i}/x_{\mu i-1} \tag{15}$$

El conjunto de los **n** vectores constituiría entonces un conjunto de vectores colineales y la matriz **A** podría representarse por una matriz **B** degenerada.

En la realidad, la matriz **A** se aleja de este modelo teórico porque en cada estación existen fluctuaciones aleatorias que deben tenerse en cuenta.

Así, tenemos:

(16) $$A = B + E$$

B representa la información teórica deseada.

6.4 Análisis de algunas posibilidades

Una posibilidad es calcular, para cada año, el valor del vector utilizando la media aritmética de todos los totales observados durante este año.

En caso de homogeneidad previa de todos los datos y de distribución normal, la media aritmética corresponde efectivamente a un parámetro significativo de tendencia central.

Lastimosamente, las variables se alejan frecuentemente de una distribución normal:

- por el escaso número de datos que genera distribuciones asimétricas;
- por la existencia de series heterogéneas regidas por distribuciones plurimodales;
- por la presencia de valores anormales que vienen a alterar el cálculo de la media (« contaminación de la media por los valores extremos »).

Una estimación valiosa puede obtenerse a partir de las medianas, pero los cálculos se vuelven problemáticos cuando las series tienen muchos años sin observación.

En base a las consideraciones anteriores, G. Hiez [6] emprendió la elaboración de un vector regional tomando en cuenta los valores modales. Dicho vector se utiliza en Brasil en donde está dando buenos resultados. Desafortunadamente, el algoritmo es bastante largo en tiempo de cálculo y su aplicación está reservada, por el momento, a grandes computadoras.

Explorando en una dirección diferente, otro investigador (Y. Brunet-Moret [2],[3], [4]) diseñó un « vector de los índices anuales » (o vector YBM) que estima, para cada año, la media más probable.

El proyecto Plan Nacional de Riego utiliza este último vector. A continuación presentamos su teoría y sus resultados.

Cabe señalar que los dos vectores han sido probados en varios países, dando resultaods similares, pero nunca han sido aplicados en un país de relieve tan contrastado como lo es el Ecuador.

7. PRESENTACION DEL VECTOR YBM

7.1 Hipótesis de base

Si **Z** es el vector de la zona climática estudiada, según las ecuaciones (1) y (14), para el año **i**, la precipitación anual $x_{\theta i}$ de la estación θ (de las μ existentes) está vinculada al índice z_i del vector por la relación:

(17) $$x_{\theta i}/x_{M\theta} = z_i + e_{\theta i}$$

$x_{M\theta}$ = esperanza matemática de X_θ en su universo
$e_{\theta i}$ = variable aleatoria independiente de z_i

Las variables E_θ (de α a μ) son independientes entre ellas.

Como se manifestó inicialmente, para una estación θ, la serie cronológica de $x_{\theta i}$ es de carácter aleatorio sencillo, alterado por efectos de tendencia, persistencia y pseudo-cíclicos.

Dichos efectos están representados ya en el vector; la serie cronológica de los $e_{\theta i}$ es entonces de carácter aleatorio sencillo.

Cabe recordar que en la zona climática considerada existe la hipótesis de que los totales pluviométricos anuales son pseudo-proporcionales.

Todo lo anterior (hipótesis y relación) implica que:

- la esperanza matemática de $E_\theta = 0$ en su universo;
- la esperanza matemática de $z = 1$ en su universo;
- las varianzas de E_α, ..., E_μ son iguales entre ellas y a **Var E**

Para cada año **i**, los $e_{\alpha i}$,.....,$e_{\mu i}$ no son independientes entre ellos (proximidad geográfica), pero se admite que en sus universos la suma de las covarianzas es igual a cero:

$$\sum \mathbf{covar}(E_\theta, E_\delta) = 0, \qquad \theta \neq \delta$$

Esto implica que los coeficientes de correlación entre estaciones no son iguales pero tienen un valor promedio de:

(18) $$\mathbf{CORXYM} = \mathbf{Var\ Z}/(\mathbf{Var\ Z} + \mathbf{Var\ E})$$

Con esas hipótesis, el coeficiente de correlación entre el vector y una estación cualquiera tendrá en los universos un valor igual a:

(19) $$\mathbf{CORXVM} = \sqrt{\mathbf{CORXYM}}$$

Siendo este valor superior a **CORXYM**, es comprensible que las dobles masas entre vector y estación sean en general más precisas que las dobles masas entre estaciones.

Lo anterior implica también que el valor del coeficiente de variación de cada estación en su universo sea igual a :

(20) $$C_x = \sqrt{\mathbf{Var\ Z} + \mathbf{Var\ E}}$$

7.2 Algoritmo de cálculo

El programa examina los totales anuales de las estaciones seleccionadas a partir de un año de principio (ID) y hasta un año final (IF) y escoge únicamente las estaciones que poseen por lo menos **MINIAÑO** años en el período considerado, así como los años del período en donde existen por lo menos **MINIEST** totales pluviométricos.

Las variables **ID**, **IF**, **MINIAÑO**y **MINIEST** son variables de entrada, definidas por el utilizador.

Los valores seleccionados conforman la matriz de observación **A (n, μ)** de las precipitaciones anuales de μ estaciones en **n** años.

Dicha matriz es generalmente incompleta (observaciones faltantes) y constituye la base de cálculo del vector.

En un espacio de μ dimensiones, la ecuación:

(21) $$X_\alpha/x_{M\alpha} + X_\beta/x_{M\beta} + \ \dots\ + X_\mu/x_{M\mu} - \mu_{zi} = 0$$

representa un hiperplano perpendicular a la recta:

(22) $$X_\alpha/x_{M\alpha} = X_\beta/x_{M\beta} = \ \dots\ = X_\mu/x_{M\mu}$$

El cálculo consiste en determinar los valores $x_{M\theta}$ para cada estación y los valores de z_i para cada año, para que los hiperplanos representativos de las observaciones de cada año sean paralelos entre ellos y perpendiculares a la recta (22).

Según las hipótesis anteriores aplicadas a la muestra (promedio de **z = 1**, promedio de **E = 0**, **Var** θ **= Var E**), se pueden utilizar los mínimos cuadrados para minimizar la expresión:

$$(23) \qquad \sum\sum\left(x_{\theta i}/x_{M\theta} - z_i\right)^2$$

para determinar $x_{M\theta}$, ..., $x_{M\mu}$, z_i, ... z_n.

Derivando dicha expresión según z_i, si existen μ_1 estaciones observadas en el año **i**, obtenemos **n** ecuaciones:

$$(24) \qquad z_i = 1/\mu_i \sum\left(x_{\theta i}/x_{M\theta}\right)$$

Derivando la expresión (23) según $1/x_{M\theta}$, si existen n_1 años observados en esta estación θ, obtenemos μ ecuaciones:

$$(25) \qquad \sum x_{\theta i}\left(x_{\theta i}/x_{M\theta} - z_i\right) = 0$$

En realidad, teniendo en cuenta que existen datos faltantes, se debe reemplazar z_i en la expresión (23) por su valor encontrado en la ecuación (24) antes de derivar según $1/x_{M\theta}$ para obtener un sistema de μ ecuaciones con μ incógnitas ($1/x_{M\theta}$):

$$(26) \qquad f(\alpha,\theta)\left(1/x_{M\alpha}\right) + \ldots\ldots\ldots\ldots + f(\mu,\theta)\left(1/x_{M\mu}\right) = 0$$

Este sistema lineal es homogéneo y tiene una solución banal:

$$1/x_{M\alpha} = \ldots\ldots = 1/x_{M\mu} = 0$$

Para su resolución, debe ser reducido a (μ - **1**) ecuaciones lineales de (μ - **1**) incógnitas y con el segundo miembro diferente de cero.

Fijando $1/x_{M\mu} = 1$, se calculan entonces, por los mínimos cuadrados (regresión múltiple), los (μ - **1**) valores de $1/x_{M\theta}$ que mejor satisfacen las μ relaciones entre las cantidades **f** de la ecuación (26).

Se conocen así los valores $C/x_{M\alpha}$, ..., $C/x_{M\mu}$, siendo **C** un coeficiente multiplicador desconocido, pero igual para todas las variables.

Con las ecuaciones (24) se calculan los valores de z_i. Formulando la hipótesis de que el promedio de los z_i es igual a 1, se calcula el coeficiente **C**, pudiéndose así determinar exactamente los valores $x_{M\alpha}$, ..., $x_{M\mu}$.

El cálculo anterior muestra que:

- para cada año **i**, $z_i - 1/\mu_1 \sum x_{\theta i}/x_{M\theta} = 0$ **(27)**
- para cada estación θ, $\sum\left(x_{\theta i}/x_{M\theta} - z_i\right) \neq 0$ **(28)**
- $\sum\sum\left(x_{\theta i}/x_{M\theta} - z_i\right) = 0$ **(29)**

El algoritmo anterior da el mismo peso a cada uno de los valores observados al igual que a los valores alterados que se quieren detectar y que pueden influir en los valores de $x_{M\theta}$ y z_l.

Conviene entonces formular una última hipótesis admitiendo que en cada año y en cada estación los valores erróneos son la minoría.

El cálculo se realiza según el siguiente proceso:

* Un primera iteración se efectúa con los valores reales de la matriz **A** y se calcula una primera serie de valores para los $x_{M\theta}$ y z_l.

  Para cada año y para cada estación se compara $x_{\theta l}/x_{M\theta}$ con z_l. Si $x_{\theta l}/x_{M\theta}/z_l$ no está comprendido entre un intervalo dado, $x_{\theta l}$ será reemplazado por $x_{M\theta} \cdot z_l$.

* Los nuevos valores de la matriz **A** se utilizan para una segunda iteración, la cual calcula nuevos valores de $x_{M\theta}$ y z_l que se comparan nuevamente con el intervalo y se reemplazan de ser necesario según el procedimiento anterior.

* Se procede a una serie de iteraciones hasta que todos los valores de $x_{\theta l}/x_{M\theta}/z_l$ se encuentren al interior del intervalo, lo que ocurre rápidamente.

Es lógico que los valores que delimitan el intervalo dependan de la varianza de **E** de la cual tenemos una estimación (por exceso si la homogeneidad espacial no es realizada). En la realidad, es difícil tener en cuenta esa observación cuando existen series heterogéneas.

Después de varias tentativas, tanto en el callejón interandino como en la Costa, se resolvió tomar 0,7 y 1,5 como valores que delimitan el intervalo de comparación.

Esas cantidades son similares a $2/\pi$ y a $\pi/2$, valores debidos a los errores más frecuentes entre probetas y pluviómetros (cuadro nº 1).

7.3 Test de sensibilidad

Consideramos un grupo de 12 estaciones ficticias observadas durante 20 años (1966-1985 por ejemplo) y cuyos totales anuales varían entre 999 y 1.001 mm (casi siempre iguales a 1.000 mm).

Los datos de 3 estaciones en un período de 10 años (1966-1975) son multiplicados por 5.

Un vector elaborado a partir de la media aritmética sería alterado y tendría 2 períodos cuyas pendientes diferentes tendrían una relación igual a 2.

Con el vector, la relación es de 1,25, lo que demuestra su poca sensibilidad a confusiones de aparatos o a cambios de sitio.

En esas mismas estaciones, se multiplica por 13 la precipitación de 1985 en una estación.

Para ese año, el valor de la media alcanza los 2.000 mm, mientras que el valor del vector es de 1.025 mm, lo que pone en evidencia su casi insensibilidad a valores extremos como errores de teclado, etc.

En los dos casos anteriores (un tanto extremos), la comparación de las estaciones con la media no hubiera permitido detectar los errores, al estar ella misma alterada.

8. RESULTADOS OBTENIDOS

Desde hace varios meses, el equipo de trabajo está efectuando el tratamiento de la información de más de 700 estaciones de la Sierra y de la Costa, aplicando la metodología anterior.

La cuenca del río Mira está terminada y los diagnósticos emitidos han sido comprobados con verificaciones de campo y revisión de los historiales en el INAMHI.

En la parte sur del país y en las cuencas del Guayas y del Pastaza, el tratamiento ha terminado y sólo resta verificar los diagnósticos.

La homogeneización está bien avanzada en Manabí y en la cuenca del río Esmeraldas.

Solamente queda por emprender los análisis en las estaciones ubicadas en las cuencas de Cañar y Zapotal.

El concepto de pseudo-proporcionalidad ha sido verificado en todas partes, aunque las zonas climáticas encontradas en la Sierra son más reducidas y sus limites más difíciles de trazar.

Por lo tanto, no existen tantos micro-climas como se podía esperar y las estaciones obedecen a efectos climáticos similares cuyo impacto en las precipitaciones varía según la posición de la estación en relación con el relieve (efectos de abrigo, etc.).

Más vale entonces hablar de topo-climas.

El vector detecta también los errores con buena confiabilidad como lo observamos en la figura 4 que representa las estaciones El Angel y Zuleta ya presentadas en la prueba de dobles masas (figura 3).

Los coeficientes de correlación han aumentado significativamente, lo que permite acertar el diagnóstico por visualización de un solo gráfico.

El cambio de sitio de la estación El Angel aparece ahora entre 1969 y 1970 (conforme al historial), y la relación de pendientes en el caso de Zuleta es de 1,57 confirmando así el cambio de probeta realizado por el observador en 1972.

Las verificaciones han permitido confirmar todos los diagnósticos de la cuenca del Mira para la cual se obtuvieron los siguientes resultados:

- **58 estaciones analizadas**
- **14 con cambios de sitio o inadecuación de aparatos**
- **17 con años anormales**

es decir casi un 50 % de estaciones homogéneas, lo que corresponde a los resultados obtenidos en países vecinos.

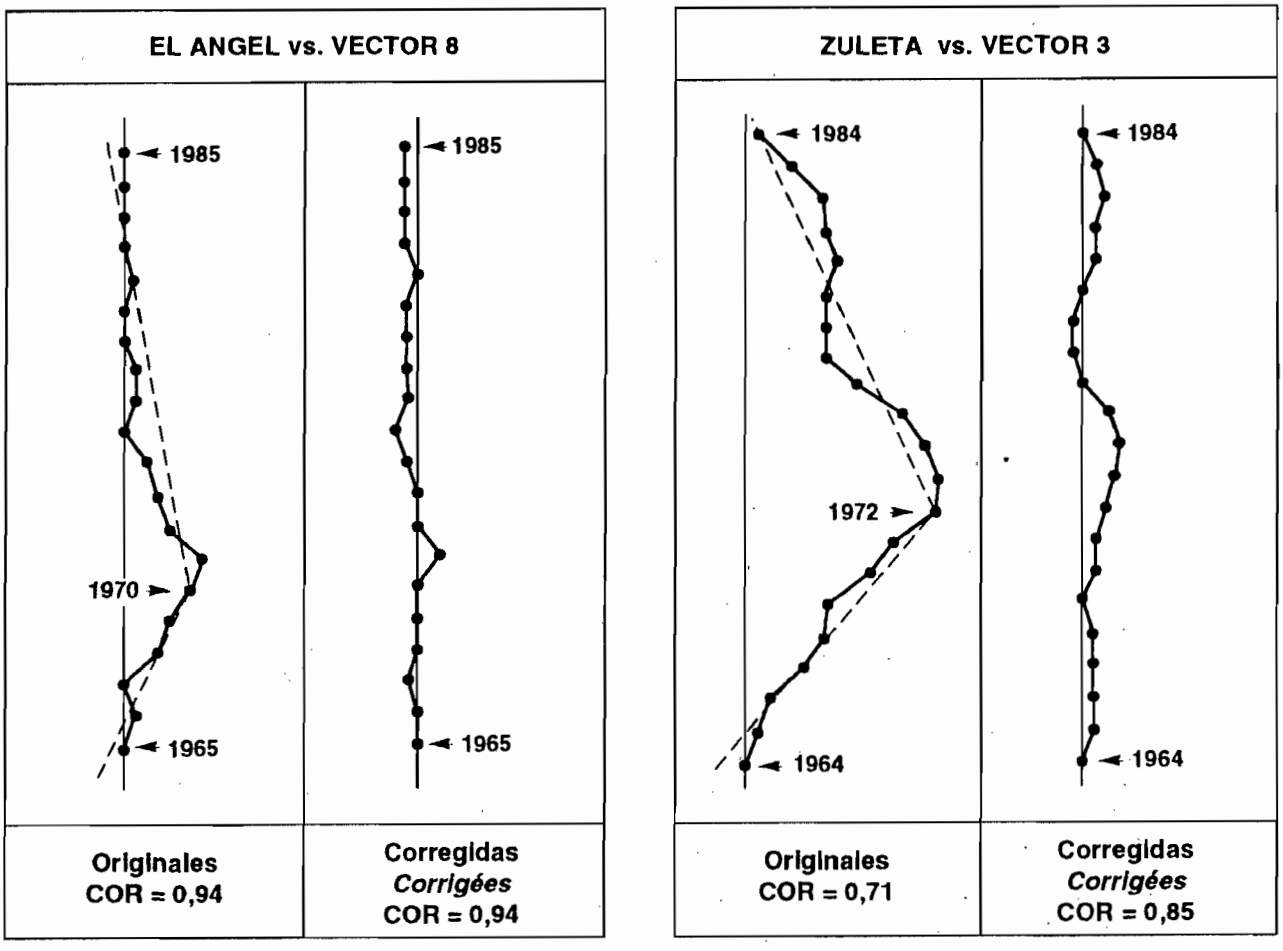

EL ANGEL vs. VECTOR 8
1985
1970
1965
1985
1965
Originales
COR = 0,94
Corregidas
Corrigées
COR = 0,94
ZULETA vs. VECTOR 3
1984
1972
1964
1984
1964
Originales
COR = 0,71
Corregidas
Corrigées
COR = 0,85

Figura 4

B - REGIONALIZACION

1. DEFINICION DEL PROBLEMA

La regionalización pluviométrica, su concepción y la precisión de su cálculo dependen en gran medida de los objetivos perseguidos.

El Plan Nacional de Riego necesita establecer, en cualquier parte del país, balances entre necesidades de agua y recursos hídricos, los cuales tendrán que calcularse mes a mes y año por año para tener en cuenta los riesgos (desde el punto de vista estadístico) que deberán asumir los perímetros regables en cuanto a disponibilidad de agua.

- En el caso del cálculo de las necesidades de agua, se requiere entonces disponer de una serie cronológica mensual y anual homogénea, observada en un período suficientemente largo y cuya precipitación anual promedio sea igual a la del perímetro considerado.

  La utilización de un vector de referencia no permitirá obtener datos exactos (ausencia de fluctuaciones aleatorias en el sitio considerado), pero permitirá estimar los parámetros estadísticos correctos.

- Por otra parte, el cálculo de la lluvia promedio de una cuenca vertiente integra las precipitaciones puntuales de cada una de sus partes y por lo tanto elimina o reduce la influencia de las fluctuaciones aleatorias debidas a cada medición. En ese caso, la estimación del recurso hídrico mediante la relación lluvia-caudal se aproximará más a la realidad si utiliza también un vector de referencia que no contenga esos efectos.

Lo anterior demuestra que los balances hídricos en un punto dado pueden establecerse de mejor manera a partir de un vector de referencia, representativo de la región del sitio considerado (o de su cuenca vertiente), desde el punto de vista tanto cronológico (regionalización cronológica) como de su repartición intra-anual (regionalización de régimen), siempre y cuando se conozca la precipitación anual promedio del punto de cálculo o de su cuenca.

Veamos como el vector YBM puede resolver esos problemas.

2. TRAZADO DE ISOYETAS

Para ser efectivas, las isoyetas deben trazarse en base a estaciones cuyos totales anuales hayan sido calculados en un período común suficientemente largo para ser representativo.

En teoría, el vector YBM se elabora según la esperanza matemática de las precipitaciones anuales de cada estación.

En la práctica, el programa de cálculo estima cada esperanza matemática en base a la organización interna de la tendencia climática regional.

No se necesita entonces rellenar los años faltantes de cada estación en un período común ni calcular la representatividad de tal período. Además, las relaciones entre lluvia y altitud son normalmente más precisas al interior de cada zona climática encontrada.

3. REGIONALIZACION CRONOLOGICA

La metodología del vector al igual que la de las dobles masas depende de la existencia de zonas climáticas homogéneas.

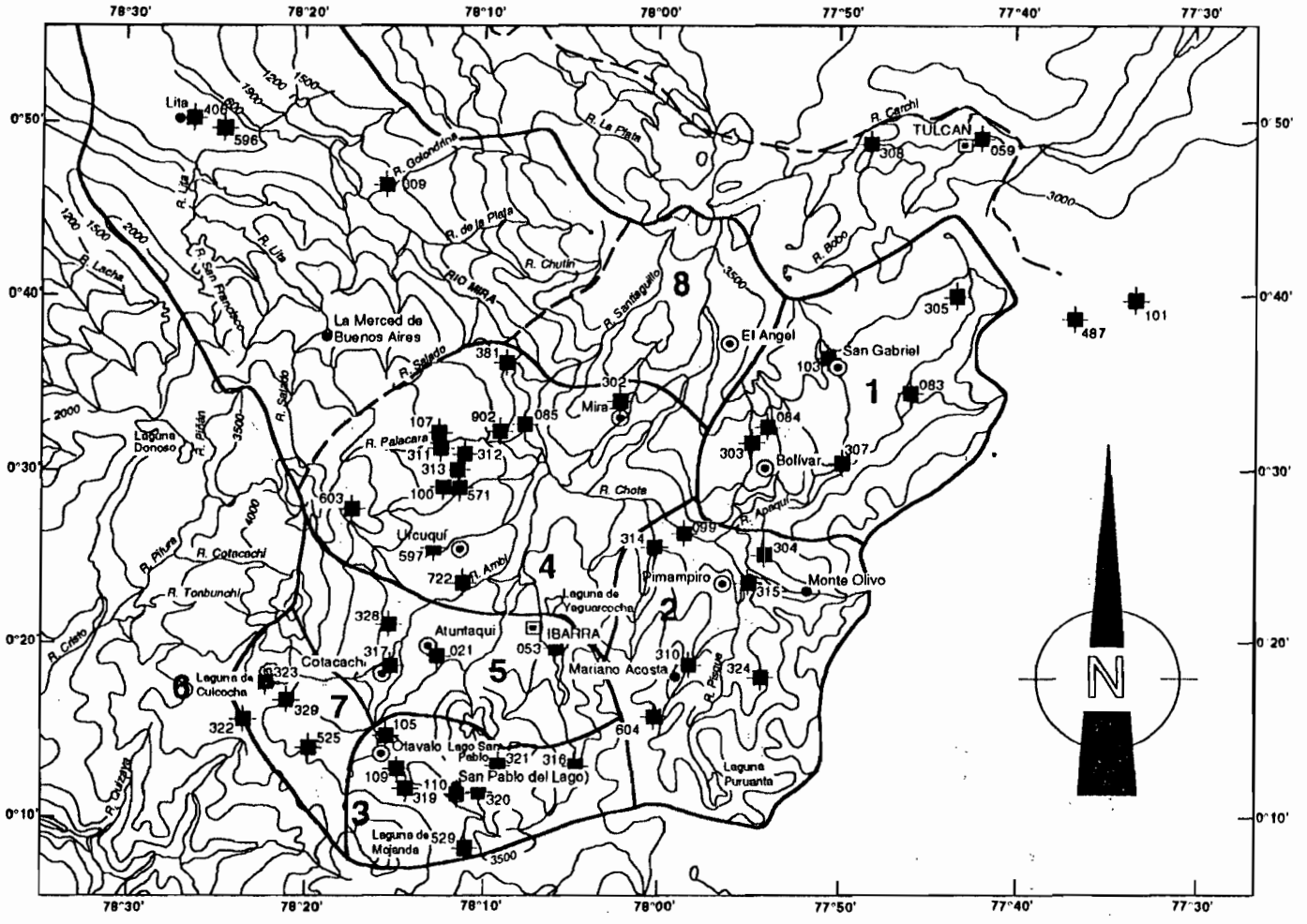


Figura 5

El primer paso consiste en agrupar el máximo de estaciones para construir un primer vector, a fin de eliminar después las que tienen un coeficiente de correlación muy bajo con el vector. La dificultad reside en saber si este valor bajo proviene de la no pertenencia a la misma zona o si se debe a la presencia de series heterogéneas. El examen de las dobles masas entre estaciones y vector permite superar la dificultad y la delimitación de cada zona se va precisando a medida que se procede a la corrección de las series alteradas.

La precisión de la zonificación depende únicamente del criterio de similitud escogido. En este trabajo, hemos delimitado las zonas de modo que el coeficiente de correlación promedio entre estaciones y el vector correspondiente se sitúe alrededor de 0,9. Los resultados respondieron a las esperanzas como lo demuestra el siguiente cuadro relativo a la cuenca del Mira (figura 5).

grupo nº	1	2	3	4	5	6	7	8
coeficiente de corrección	0,91	0,89	0,91	0,95	0,91	0,98	0,96	0,96

Cuadro nº 2

Los límites de las zonas 4 y 8 no están completamente definidos sencillamente por falta de estaciones cercanas.

Se han obtenido resultados similares en las otras regiones, y es posible también detectar las partes en las que la red pluviométrica es insuficiente.

4. REGIONALIZACION DE REGIMEN

Para agrupar estaciones según su régimen, es posible razonar, como usualmente, en promedios mensuales.

Lastimosamente, el régimen de una estación varía según el año, y existen en la Sierra estaciones de régimen promedio interandino mientras tienen algunos años de régimen pseudo-amazónico, como el caso del año 1975 en la estación Ibarra-Aeropuerto (figura 6). Así, aunque la comparación en régimen promedio es válida, no es suficiente, y es necesario, para no perder información, considerar los datos mensuales como una sola serie cronológica.

Desde ese punto de vista, las hipótesis y ecuaciones que rigen la elaboración del vector no impiden considerar una serie mensual.

El concepto de pseudo-proporcionalidad será más difícil de encontrar, las fluctuaciones aleatorias serán mayores y los ajustes a valores anuales tal vez delicados. Sin embargo, el grupo de trabajo está realizando ensayos en ese sentido, y esperamos que resultados futuros vengan a confirmar este razonamiento.

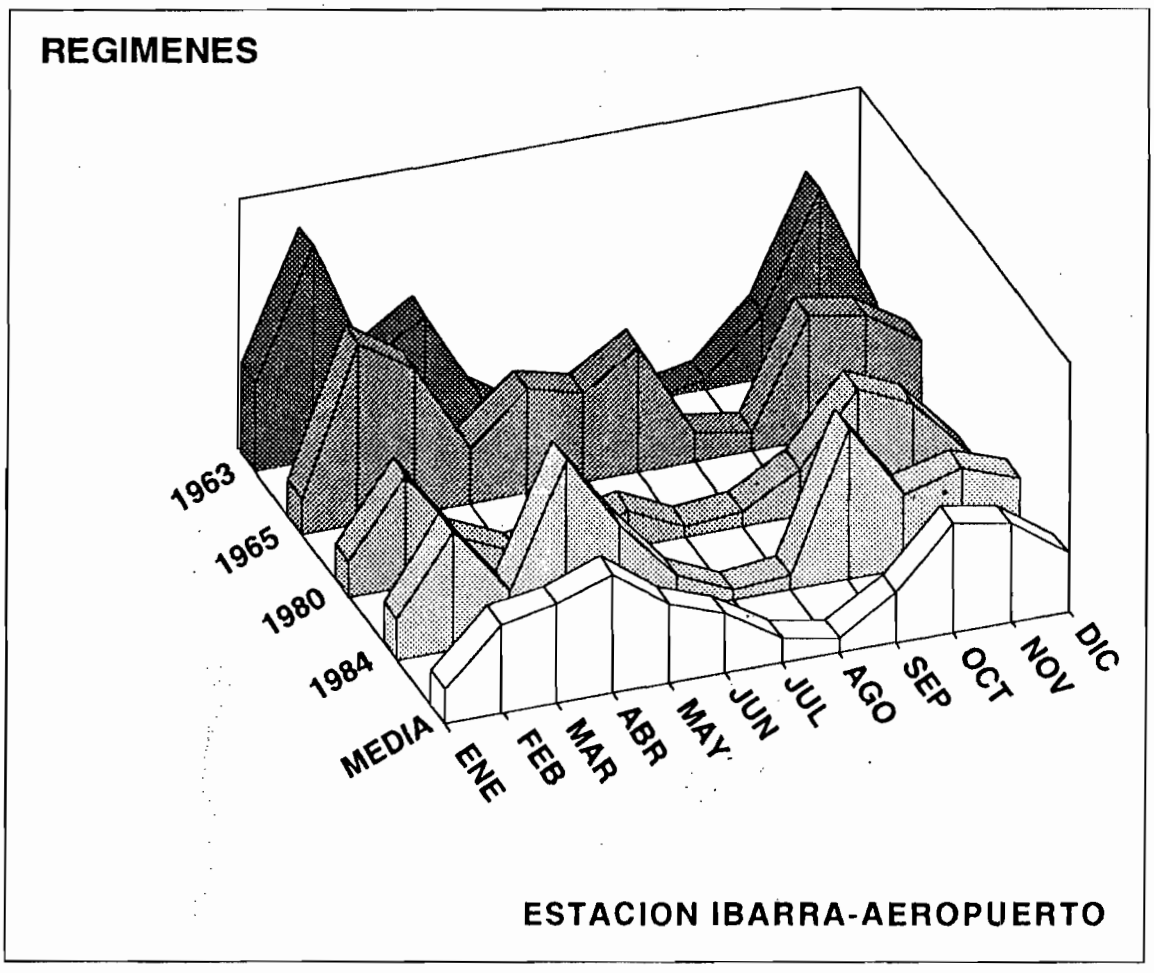


Figura 6

CONCLUSION

El método del vector regional ha demostrado su buena sensibilidad para detectar los errores sistemáticos que alteran las series cronológicas de precipita ciones anuales.

Su aplicación en computador es relativamente sencilla y rápida en comparación con el método de las dobles masas.

El vector YBM facilita también el trazado de las isoyetas y permite delimitar zonas climáticas homogéneas presentando de manera exacta sus características.

Una síntesis pluviométrica a nivel nacional puede elaborarse solamente a partir de los vectores de cada zona, reduciendo así el volumen de análisis y suprimiendo los efectos aleatorios debidos a toda medición puntual.

Los primeros resultados ratifican las hipótesis emitidas y confirman, por primera vez, la validez de la metodología en medio montañoso.

BIBLIOGRAFIA

[1] BRUNEL, J.-P., 1986. Comparaison instrumentale des précipitations en climat méditerranéen semi-aride, in *Hydrologie Continentale*, vol. 1, nº 2, p. 87-93.

[2] BRUNET-MORET, Y., 1971. Étude de l'homogénéité de séries chronologiques annuelles par la méthode des doubles masses, in *Cahiers ORSTOM*, série hydrologie, vol. III, nº 4, p. 3-31.

[3] BRUNET-MORET, Y., 1977. Test d'homogénéité, in *Cahiers ORSTOM*, serie Hydrologie, vol. XIV, nº 2, p. 119-128.

[4] BRUNET-MORET, Y., 1979: Homogénéisation des précipitations, in *Cahiers ORSTOM*, serie Hydrologie, vol. XVI, nº 3-4, p. 147-170.

[5] CHEVALLIER, P., 1986. Note sur les écarts de mesure observés entre pluviomètres estándars et au sol, in *Hydrologie Continentale*, vol. 1, nº 22, p. 111-119.

[6] HIEZ, G., 1977. L'homogénéité des données pluviométriques, in *Cahiers ORSTOM*, serie Hydrologie, vol. XIV, nº 2, p. 129-172.

[7] L'HÔTE, Y., 1985. *Contrôle de la qualité et de l'homogénéité des données pluviométriques par la méthode du vecteur des indices annuels de précipitation*, Zürich, ETH/IAHS/WMO, Workshop on the correction of precipitation measurements.

[8] RODDA, J.-C., 1967. The rainfall measurement problem, in *AISH*, publ. nº 78, p. 215-281.

[9] SEARCY, J.K., HARDISON, C.H., 1983. *Curva de dobles masas*, HIMAT et COLCIENCIAS, Bogotá.

Com :
Seminario " Agua y Campesino "
Centro Internacional de Cooperación par el Desarrollo Agrícola
CICDA, Cuenca (Ecuador), 17/06/89.

RIEGO TRADICIONAL EN LOS ANDES

ANALISIS Y DIAGNOSTICO

por P. Le Goulven *, T. Ruf **, H. Ribadeneira***

Cuenca, junio de 1989

* hydrólogo ORSTOM, Misión ORSTOM, CP 17-11-06596, Quito, Ecuador.
** agro-economista ORSTOM, Misión ORSTOM, CP 17-11-06596, Quito, Ecuador.
*** Ingeniero civil EPN, INERHI, 532 Juan Larréa y Rio Frío, Quito, Ecuador.

FICHA Nº 1

EL AGUA Y SU IMPORTANCIA

EL AGUA Y EL CAMPESINO

El agua es un elemento esencial para la vida del hombre y el desarrollo de sus actividades. A través del uso del agua se puede satisfacer una necesidad, obtener un beneficio o producir bienes. Nada que represente vida en el planeta puede concebirse sin este preciado recurso. Es así como los orígenes de nuestra civilización se sitúan en cuatro grandes cuencas hidrográficas, las de los ríos Amarillo, Nilo, Indo y Eufrates.

CARACTERISTICAS DEL AGUA

El agua que fluye posee algunas características de interés para su utilización:

- la « cantidad », es decir el volumen disponible en una unidad de tiempo, que es lo que se conoce como caudal;
- la « ubicación » en el espacio y en el tiempo;
- la « cota », entendida como ubicación en altura;
- la « calidad ».

Pero ante todo, el agua es un recurso escaso, pese a su amplia disponibilidad total, debido a que no siempre está presente en el sitio, en el momento ni durante el tiempo que se lo necesita.

USOS DEL AGUA

En función de su importancia, los usos del agua pueden clasificarse en:

- uso civil o potable
- uso en riego
- uso industrial
- uso energético
- navegación
- pesca
- uso recreativo

Los usos alteran una o más características del agua. El uso hidro-eléctrico, por ejemplo, está relacionado con la pérdida de altura y el uso industrial implica una pérdida cuantitativa y a veces cualitativa en procesos de enfriamiento.

El riego es el uso consuntivo que mayor cantidad de agua demanda porque va a formar parte de los cultivos y regresa a la atmósfera como evaporación.

DISPONIBILIDADES DEL AGUA

Del total de agua existente en la tierra en todas sus formas, estimado en 1.360 millones de km^3 y que cubre el 70 % de la superficie del planeta, únicamente el 0,01 % (139.220 km^3) es agua superficial y atmosférica, fundamental para el mantenimiento de la vida en el planeta.

Del valor señalado de agua fresca (139.220 km^3), el 89,8 % se encuentra en lagos (125.050 km^3), el 0,9 % en ríos (1.250 km^3) y el 9,3 % en la atmósfera (12.920 km^3). De esta agua dulce, no toda es fácilmente aprovechable y se calcula que sólo 14.000 km^3 pueden ser utilizados y actualmente 3.000 km^3 están bajo el control del hombre y el resto se encuentra en regiones inhóspitas o su explotación requiere de mucho capital .

Por ello, a pesar de que existe un ciclo hidrológico, los recursos de agua dulce no son inagotables y se hace imprescindible preservarlos, controlarlos y, de ser posible, acrecentarlos.

A nivel mundial, Sudamérica es el continente con mayor precipitación y su disponibilidad de agua es realmente abundante, pues la lluvia promedio es de 1.560 mm frente a una media mundial de 970 mm. Sin embargo, presenta una distribución desigual, con zonas de suma aridez como las costas de Chile y Perú con precipitación casi nula y, zonas con precipitaciones superiores a 3.000 mm anuales como la Amazonía. Esta desigualdad de debe a que casi el 85 % del agua de los ríos que corren por el continente drenan hacia el Océano Atlántico.

IMPORTANCIA DEL RIEGO

Investigaciones en el campo nutricional coinciden en demostrar la existencia, en los países subdesarrollados, de una deficiencia calórico-proteica bastante severa, que afecta especialmente a la niñez, por los efectos irreversibles que una alimentación deficiente puede tener en su conformación física y mental; no es menos cierto que la situación se volverá aún más conflictiva para una población que se duplicará a comienzos del siglo XXI. Todo lo señalado permite concluir en la clara necesidad de incrementar los volúmenes de producción para satisfacer la demanda alimentaria.

Sólo la agricultura bajo riego garantizará la consecución de las cantidades requeridas de productos agrícolas; de allí la importancia de las obras hidro-agrícolas, por las implicaciones directas que el uso adecuado del suelo y el agua tiene en el desarrollo de la economía nacional.

Entre las ventajas que presenta la agricultura bajo riego, pueden señalarse las siguientes:

- volúmenes de producción elevados y constantes;
- intensificación del uso de la tierra;
- mejoramiento de las tecnologías, aumentando la eficiencia económica de otros factores de la producción;
- crecimiento de la productividad del trabajo;
- aumento de los beneficios para los agricultores;
- desarrollo de industrias de procesamiento de productos agrícolas;
- aporte de divisas por exportación.

FICHA Nº 2

HISTORIA DEL RIEGO ANDINO

RIEGO HISPANICO EN EL ECUADOR

Existían sistemas de riego antes de la llegada de los colonizadores? Hasta ahora, no existen pruebas de que un sistema actual tradicional tenga una fecha de construcción anterior a 1590 (establecimiento de los canales de los pueblos de Urcuquí y Pimampiro, en Imbabura), pero, según varios autores, existía ya al parecer una « Justicia de Aguas » que poco a poco fue sustituida por el Derecho español en el siglo XVII.

EXTENSION DE LA REDES DE RIEGO EN EL SIGLO XVIII

Numerosos sistemas fueron construidos por decisión de los hacendados, ya sea mediante el uso por la fuerza de la mano de obra indígena o negra (en Imbabura), o a través de acuerdos con comunidades de campesinos libres. Tales obras fueron a veces de gran importancia, con varias decenas de kilómetros de cauce u obras especiales como túneles. Esos sistemas eran sumamente frágiles, y estaban expuestos a la destrucción por factores naturales (derrumbes, temblores).

EVOLUCION EN LOS SIGLOS XIX Y XX

Los cambios sociales, demográficos y económicos tienen incidencia en la tenencia de la tierra y por supuesto del agua. Por un lado, las grandes haciendas comienzan a dividirse entre los herederos que no siempre acuerdan compartir el agua, lo que se soluciona a veces con la construcción de nuevos sistemas de riego. Por otro lado, los grupos campesinos, indígenas o mestizos, piden acceso al riego, argumentando su importante participación en el mantenimiento de las acequias. Algunos individuos compran también derechos de aguas bajo varias formas: tiempos de uso de algún módulo dentro de un turno de aguas, o módulo continuo que proviene de un óvalo en el canal principal. Al respecto, la organización campesina para compartir el agua cuando el número de usuarios se vuelve importante, parece nacer en la segunda parte del siglo XIX en Tungurahua, región del Ecuador con la mayor densidad de población y que cuenta con sistemas de riego manejados por campesinos.

Durante el siglo XX, la presión demográfica, la ambición por las tierras, los graves conflictos y los cambios políticos provocan ciertas reformas: la Reforma Agraria muy conocida, pero también la nacionalización de las aguas y la creación del INERHI que va a actuar amparado por la nueva « Ley de Aguas » promulgada en 1972.

FICHA Nº 3

LA INTERVENCION DEL ESTADO

El gobierno toma poco a poco conciencia de la importancia del riego. En 1936, el Estado expide una primera Ley de Aguas con el objeto de regular la repartición del recurso y disminuir así los numerosos conflictos surgidos entre los diferentes usuarios.

En 1944, se crea la Caja Nacional de Riego cuyo objetivo principal es construir y desarrollar infraestructuras de riego, pero esa entidad no tiene en cuenta los aspectos de planificación y manejo del agua.

La Ley de creación del Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos (INERHI) en 1966 responde a una necesidad de ampliar el campo de acción y concentrar la intervención del Estado en una sola institución a la cual se confieren las siguientes atribuciones principales:

- construir y explotar regadíos, sola o en colaboración con otras instituciones;
- realizar el inventario de los recursos hídricos (conjuntamente con el INAMHI) y de las necesidades en agua de todo tipo; elaborar el Plan Nacional de Riego;
- aprobar las solicitudes de concesión del uso de agua y mantener un registro actualizado de las mismas.

Aparte del INERHI, otras instituciones intervienen también en el estudio de recursos y necesidades (INECEL, IEOS, etc.) y varias entidades regionales (CEDEGE, CREA, CRM, PREDESUR) han tomado a su cargo la construcción y explotación de regadíos, así como la definición de esquemas de planificación regional.

Sin embargo, la última atribución (administración del agua) corresponde exclusivamente al INERHI como lo estipula la Ley de Aguas de 1972, la cual confiere a todos los recursos hídricos el carácter de bienes nacionales de uso público, asignando al INERHI el manejo de los mismos.

Esta diferenciación en las atribuciones ha generado 2 grandes tipos de regadíos en el país:

- el riego estatal en el cual toda la infraestructura o gran parte de ella ha sido construida por entidades públicas que asumen su mantenimiento y se encargan de la distribución del agua,
- el riego particular en el cual los usuarios deben obtener una concesión del INERHI y tomar a su cargo la construcción y el mantenimiento de la infraestructura.

Los usuarios se encargan también de la distribución y deben conformar una *junta de aguas* cuando más de 5 personas explotan la misma concesión. El INERHI interviene solamente en caso de conflictos, sobre todo a través de sus agencias regionales.

El Estado interviene puntualmente a través de programas de rehabilitación y mejoramiento de infraestructuras, pero en una medida poco importante en el desarrollo de los perímetros.

Por condiciones similares, los usuarios del riego estatal pagan una tasa anual 100 veces superior a la pagada por los del riego particular.

Este último es el más importante en términos de beneficiarios y superficie. En la cuenca del río Mira, el 85 % de la superficie regada pertenece al riego particular, el 5 % al riego estatal y el 10 % comparte los dos sistemas. Sin embargo, el riego particular sigue siendo muy poco conocido y no existen datos sobre su funcionamiento.

La mayor parte de los sitios ideales están ya equipados y la construcción de nuevos proyectos será cada vez más costosa. Es tiempo de examinar si el mejoramiento de los regadíos existentes puede aumentar la producción agrícola de manera significativa.

En este sentido, el riego particular contiene grandes potenciales de desarrollo, está presente en todas partes y por lo tanto concierne a numerosos agricultores que tienen una fuerte tradición de riego y conocen las mejoras requeridas en sus sistemas.

Vale la pena entonces emprender su estudio global para proponer al Estado un plan de intervención a nivel regional y nacional. Es el objetivo del proyecto INERHI-ORSTOM.

FICHA Nº 4

PROYECTO INERHI-ORSTOM
OBJETIVOS Y ORGANIZACION

El correspondiente acuerdo de cooperación fue suscrito en diciembre de 1986 por un período de 30 meses, entre el INERHI y el Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM), con el fin de contribuir a la formulación del Plan Nacional de Riego.

Objetivos principales: obtener un diagnóstico sobre el funcionamiento del riego particular, detectar los regadíos cuya rehabilitación puede ser interesante, identificar las formas de intervención y jerarquizar los proyectos en función de la política nacional.

El riego particular es poco conocido. El inventario localiza los regadíos, describe y caracteriza las infraestructuras y los perímetros mediante foto-interpretación, y en base a la documentación existente, a encuestas y a verificaciones de campo.

El funcionamiento de este tipo de riego es bastante complejo. Es necesario entonces estudiarlo a todos los niveles, desde la repartición de las dotaciones (a nivel de las bocatomas) hasta la utilización del recurso (a nivel de las parcelas). Ello implica también la realización de análisis sobre hidráulica agrícola, agronomía y socio-economía, con el fin de detectar indicadores de funcionamiento inadecuado. Los estudios se desarrollan en zonas piloto representativas de las diversas situaciones encontradas.

Otros indicadores (demanda de agua, recurso disponible, sistemas de producción) se obtienen a partir de estudios temáticos específicos, tanto del medio físico como del agro-socio-económico.

Todos los resultados han sido reunidos en un banco de datos informatizado que permite tener una visión completa de la situación a 3 niveles diferentes: por sistema de riego, por zonas (ZARI) y por cuencas hidrográficas.

Se está terminando el trabajo correspondiente a la cuenca del Mira y gran parte de los resultados relativos a las cuencas del Guayllabamba y Pastaza han sido ya obtenidos. Se han iniciado ya los estudios en el Azuay.

FICHA Nº 5

LA CREACION DE UNA UNIDAD ESPACIAL DE INVENTARIO Y DE ANALISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL RIEGO

LA ZARI: ZONA DE ANALISIS Y DE RECOMENDACIONES PARA EL RIEGO

La ZARI es una unidad operacional de investigación y de planificación concebida a partir de la observación de varias obras hidro-agrícolas.

LAS ETAPAS DE CONCEPCION

La cuenca unitaria es la unidad fundamental de los hidrólogos; ella les permite estudiar las transformaciones lluvias-caudales y estimar el recurso agua.

En el caso de una modelización de una gran cuenca hidrográfica, constituye la unidad espacial elemental, la malla sobre la cual se calcularán los resultados de oferta y de demanda (ver figura nº 1).

El primer inconveniente surge en su definición: en calidad de cuenca vertiente, sus límites están definidos por las líneas de cresta observadas en las partes montañosas, pero son bastante imprecisos cuando se llega al callejón interandino o se trabaja en la Costa.

Adicionalmente, las cuencas de enlace han sido dibujadas para unir las cuencas unitarias entre sí, y constituir una red hidrológica completa de las grandes cuencas.

Evidentemente, estas unidades adicionales respetan el sentido del drenaje, guardan las mismas dimensiones que las trazadas por ORSTOM-PRONAREG y tienen en cuenta las estaciones hidrométricas existentes (ver figura nº 2).

La primera idea sería admitir una prolongación de las cuencas unitarias que eliminaría las cuencas de enlace. Sin embargo, los límites seguían siendo difíciles de establecer a causa de la gran complejidad de las redes, caracterizadas por:

- una muy fuerte densidad de canales y de múltiples cruces (imbricación de redes de riego);
- una falta de información confiable sobre la localización de las tomas, los caudales que captan, los trayectos de los canales, las subdivisiones, etc.;
- numerosas transferencias entre cuencas, que hacen difícil la comprensión de su funcionamiento.

Frente a estos problemas, fue indispensable encontrar en el campo una unidad espacial con una definición clara y sensata, y con límites relativamente simples.

La noción de ZARI intenta responder a este problema de entidad espacial y de límites claros. Su definición es la siguiente:

ZARI: unidad espacial de organización de la toma, del transporte y de la utilización del agua de riego

Se trata entonces de una zona elemental en la cual se encontrarán las tomas, los canales y los perímetros regados. En el caso de dos cuencas unitarias yuxtapuestas, el límite corresponderá casi siempre a los ríos mismos, y en consecuencia, la ZARI estará formada de dos mitades de cuencas unitarias, más una parte de la cuenca de enlace (ver figura nº 3).

En otros casos, la ZARI estará limitada por una gran línea de cresta y por un río (media cuenca unitaria simple); a veces, habrá una correspondencia entre la cuenca unitaria y la ZARI.

IMPLICACIONES PARA EL ANALISIS HIDROLOGICO

La discordancia entre cuencas unitarias y ZARI exigirá dos tramas diferentes para cada cuenca hidrográfica. Sin embargo, como cada tipo de demanda (agrícola, hidro-eléctrica, humana) está unido a la red hidrográfica mediante la toma de agua correspondiente, será relativamente fácil pasar del uno al otro.

En compensación, las demandas potenciales deberán ser asignadas a una cuenca unitaria para verificar la disponibilidad de agua y medir su impacto aguas abajo.

UN EJEMPLO DE APLICACION: LA ZARI DE URCUQUI

Situada en la provincia de Imbabura y formando parte de la cuenca hidrográfica del río Mira, la ZARI de Urcuquí fue escogida como terreno representativo.

Inicialmente, se había tomado la cuenca unitaria del río Pingunchuela, pero tal selección pecaba por el hecho de que los mayores perímetros se alimentaban en la cuenca vecina.

Al trasladar la zona de estudio y tomar como nuevos límites las gargantas del fondo de valle, se obtene un conjunto homogéneo en relación con las obras, como lo muestra el esquema presentado en la figura nº 5.

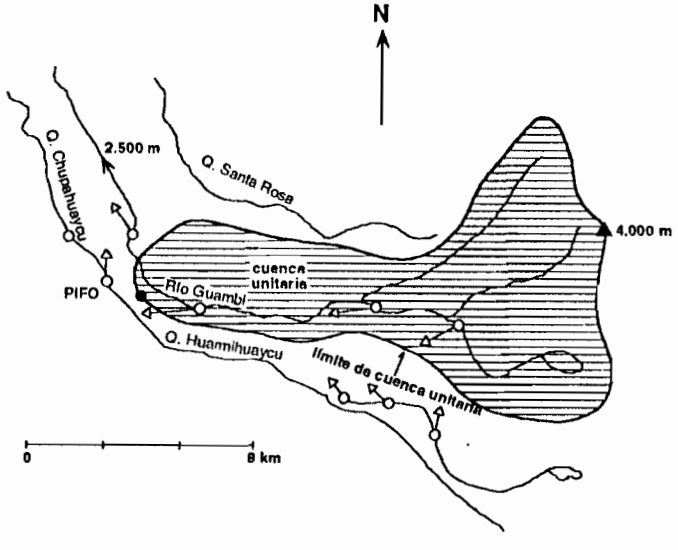


Figura 1
Ejemplo de cuenca unitaria, río Guambi (30 km al Este de Quito)

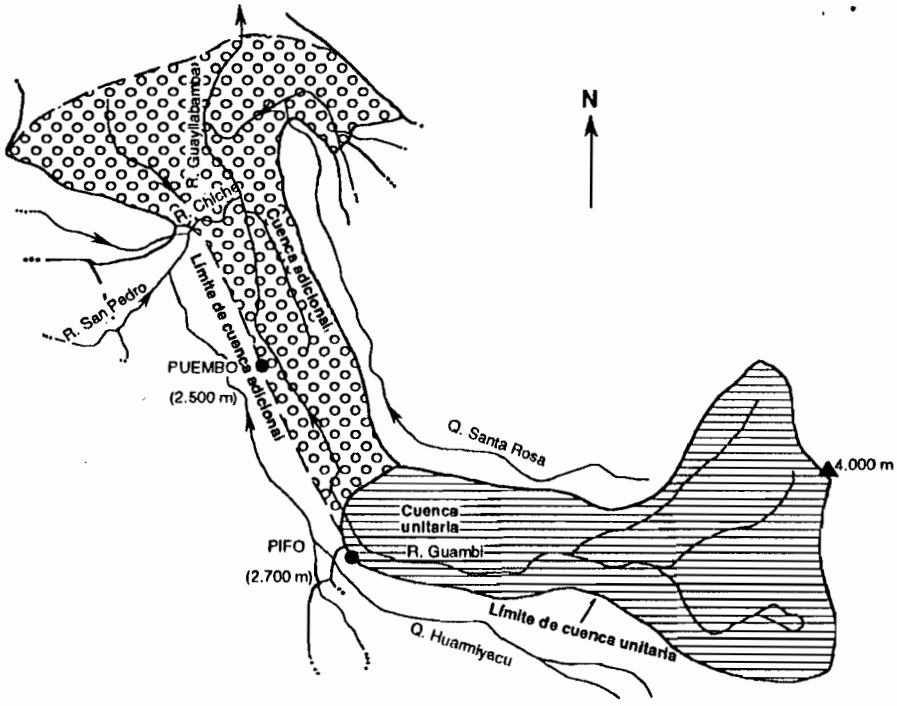


Figura 2
Ejemplo de cuenca de enlace aguas abajo de la cuenca unitaria del río Guambi

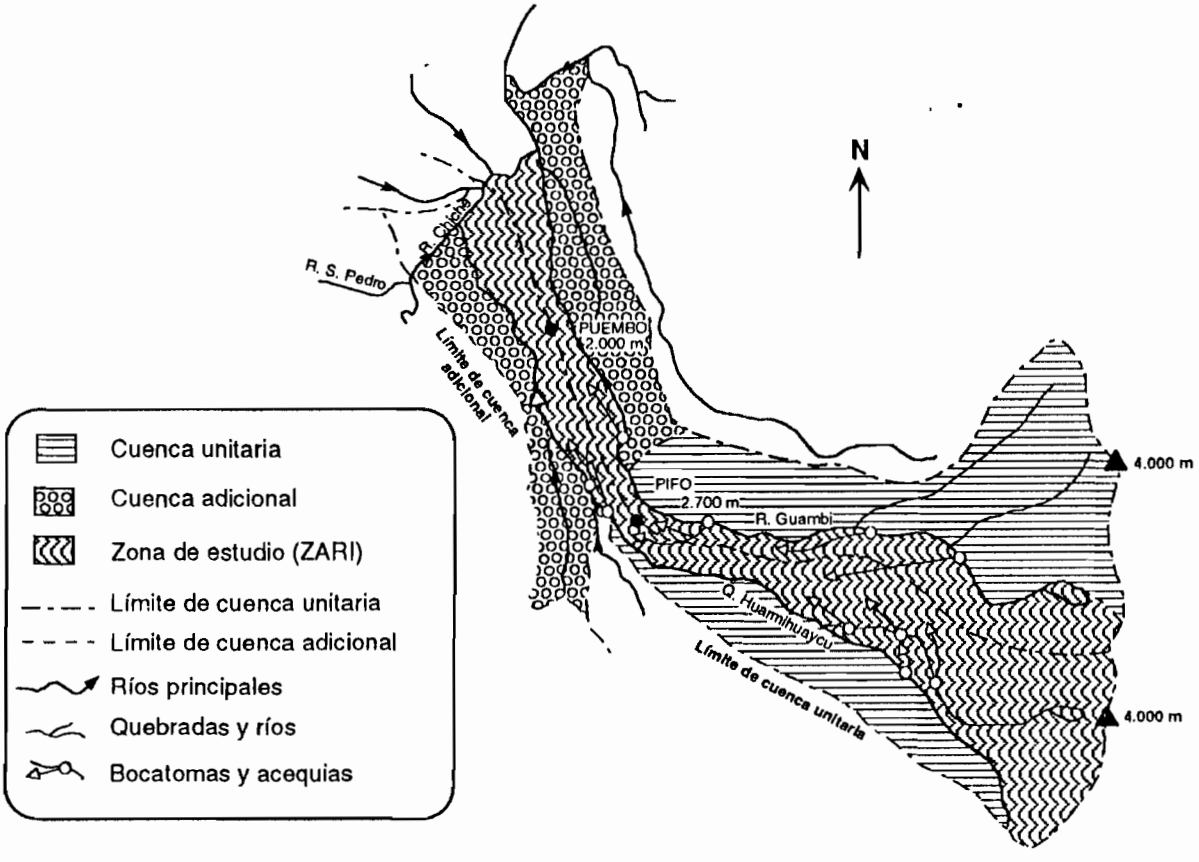


Figura 3
Ejemplo de ZARI: la ZARI de Puembo-Pifo que depende en parte de la cuenca unitaria del río Guambi

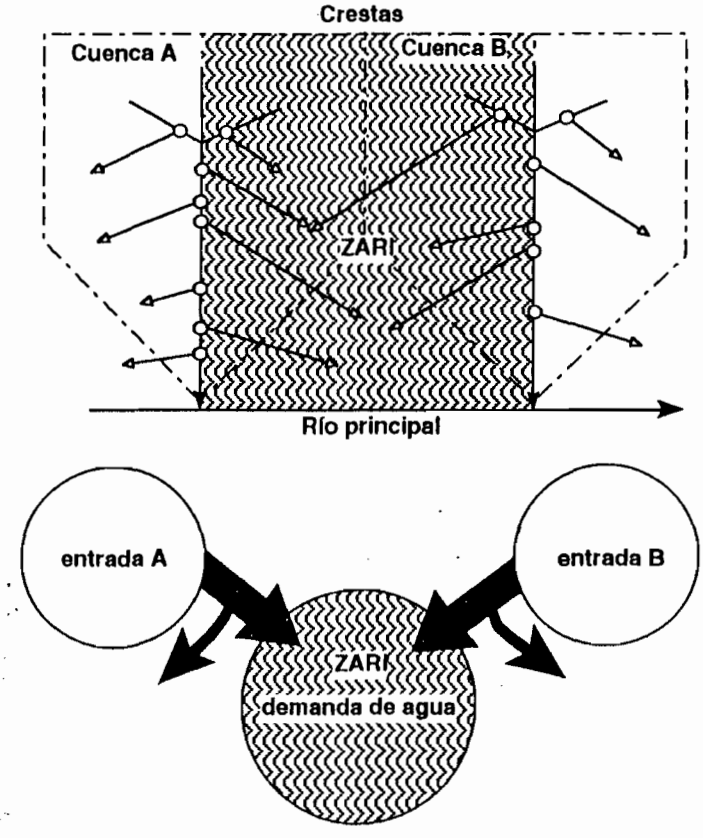


Figura 4
Teoría de las relaciones entre cuencas unitarias y ZARI

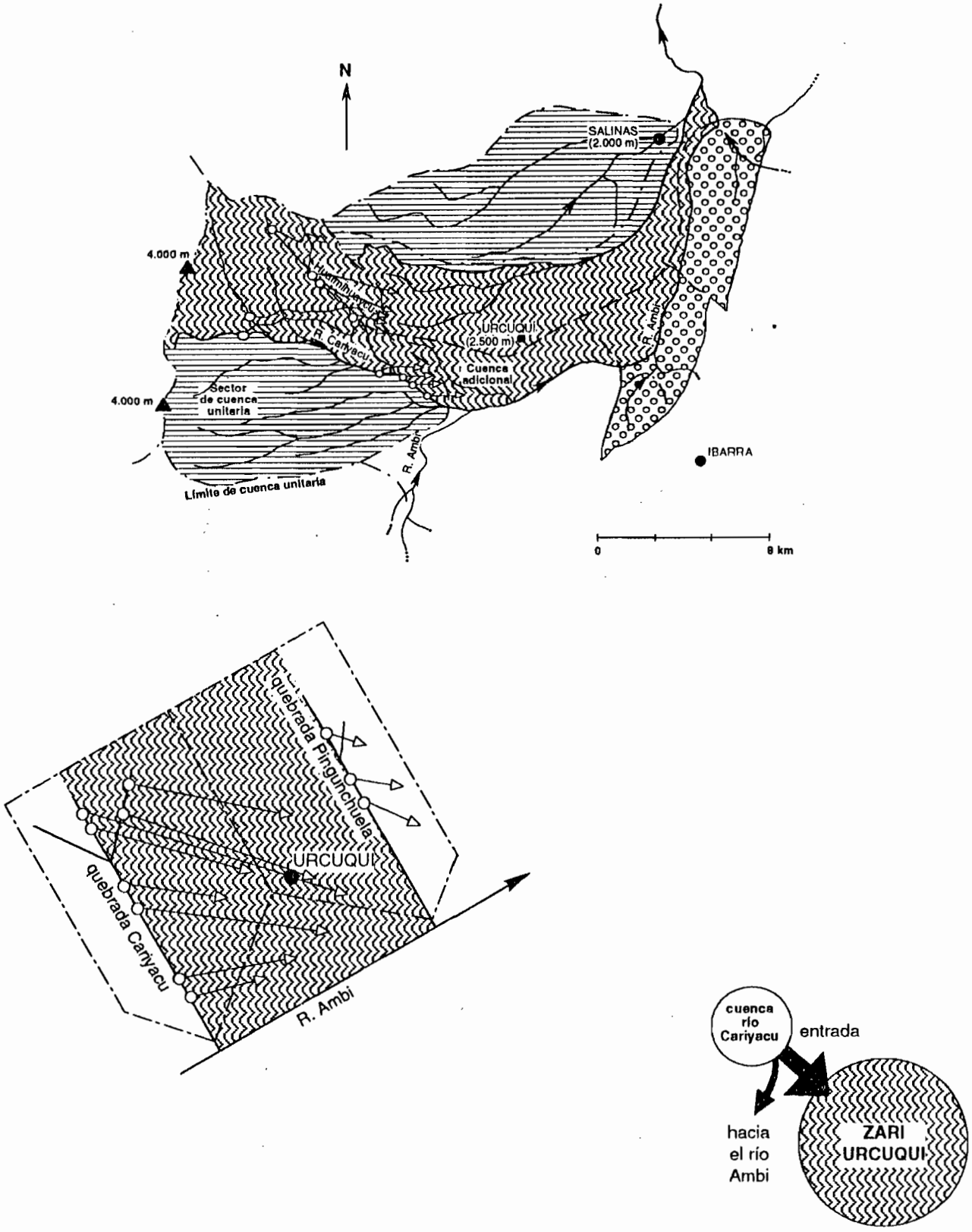


Figura 5
La ZARI de Urcuquí (provincia de Imbabura, 30 km al Norte de Quito)

FICHA Nº 6

LOCALIZACION Y ORGANIZACION DEL RIEGO PARTICULAR

Esa operación constituye la base de toda planificación posterior y permite generalizar los resultados obtenidos en las zonas piloto. Su objetivo es localizar, delimitar, describir todos los sistemas de riego del país y efectuar una primera caracterización de los mismos, centrándose en el riego particular.

Utiliza entonces toda la información general recopilada por el INERHI, así como los informes técnicos elaborados por cada una de las agencias para atribuir y renovar concesiones o para resolver los diferentes conflictos.

Los datos anteriores son completados mediante foto-interpretación para delimitar con exactitud los perímetros regados y determinar sus principales características (división en parcelas, pendiente, tipo de suelos, etc.), utilizando también los resultados publicados por ORSTOM-PRONAREG.

Verificaciones de campo permiten actualizar los resultados obtenidos de las fotografías aéreas y resolver las incoherencias.

Encuestas en cada perímetro detectado completan la información sobre la tenencia de la tierra, la utilización del agua a nivel parcelario y los problemas existentes.

Toda la información anterior es codificada (véase la siguiente ficha) para ser ingresada en un banco de datos fácilmente actualizable y facilitar los estudios de rehabilitación. La descripción y caracterización se efectúan a nivel de sistema de riego (infraestructura y perímetros interdependientes).

Con el sencillo equipo informático del INERHI (micro-computadora y programa DBase III Plus), las agencias están en capacidad de alimentar y actualizar ese banco de datos.

ESQUEMATIZACION Y CODIFICACION DE LAS INFRAESTRUCTURAS Y LOS PERIMETROS

Tipos de canales

AP canal de aporte

RD ramal de distribución, situado siempre en un extremo

AC acequia simple con un canal único

CA canal simple (todos los otros tipos que no son AP ni RD ni AC)

Tipos de nudos

* al principio de un canal: BC (bocatomas)
* al final de un canal: PF (perímetro final)
* entre dos canales

- los nudos simples	NU	nudo de unión
	ND	nudo de división
	NM	nudo mixto (unión y división)
- los nudos perímetros	PE	perímetro con un canal
	PD	perímetro con un nudo de división
	PU	perímetro con un nudo de unión
	PM	perímetro con un nudo mixto

Caracterización de los canales

AP: BC ⟶ NU, ND, NM
PU, PD, PM, PE

RD: PD, PU, PM, PE ⟶ PF
ND, NU, NM

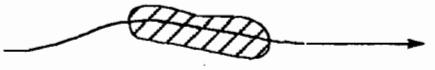
CA: NU, ND, NM ⟶ NU, ND, NM
PE, PU, PD ⟶ PE, PU, PD
PM

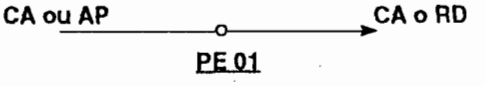
AC: BC ⟶ PF

NOTA

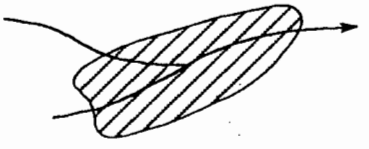
- Todos los canales, nudos y perímetros tienen dos cifras, de 01 a 99.
  Los perímetros son clasificados por ZARI y no por sistema.
- Las bocatomas tienen un código provisional del mismo tipo (dos cifras) y recibirán sus códigos definitivos posteriormente.
- Todos los PF, PE, PU, PD y PM que representan al mismo perímetro, tienen la misma identificación numérica en el mapa. Un perímetro en el mapa puede entonces estar representado por varios PF y solamente un nudo (PE, PD, PU o PM).
- Existe también un tipo especial de perímetro: PP, perímetro potencialmente regable, que será utilizado posteriormente.

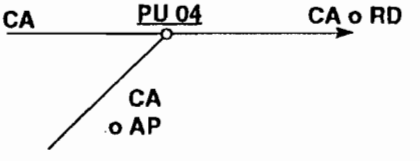
PE :



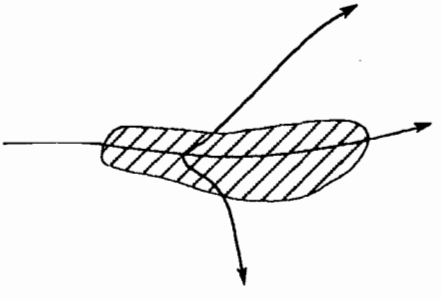

CA ou AP
CA o RD
PE 01

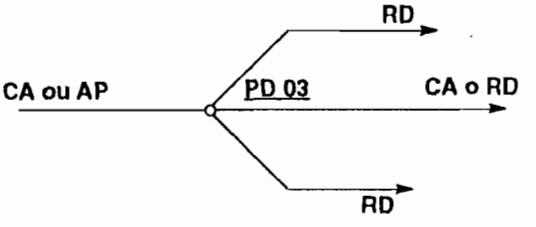
PU :



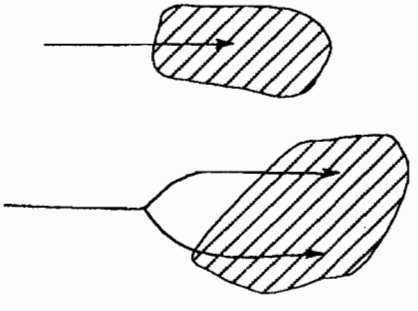

CA
PU 04
CA o RD
CA
o AP

PD :

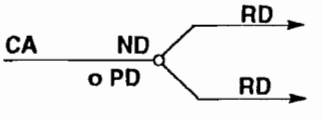



RD
CA ou AP
PD 03
CA o RD
RD

PF :




RD
PF 04


RD
CA
ND
o PD
RD

FICHA Nº 7

TRABAJOS Y ACCIONES MULTIDISCIPLINARIAS SOBRE LA AGRICULTURA DE TERRENOS REPRESENTATIVOS DEL RIEGO ECUATORIANO

OBJETIVOS

Esta investigación sobre casos reales permitirá ir más allá de la sola descripción y evaluar tanto los parámetros favorables como aquellos desfavorables para la valorización agrícola del agua, a saber: el clima, la infraestructura, el consenso social para administrar equitativamente el recurso agua, la historia socio-económica y agrícola, la geomorfología, el comportamiento hídrico de los suelos, las condiciones de reproducción del ecosistema cultivado y transformado mediante las mejoras hidro-agrícolas.

Con miras a organizar este trabajo multidisciplinario orientado a establecer diagnósticos lo más completos posibles, se ha dividido esta operación no por disciplinas sino por niveles de trabajo.

1. ESTUDIO PRELIMINAR, LOCALIZACIÓN Y PRE-DIAGNÓSTICO SOBRE LAS ZARI

En el terreno y en colaboración con personas « autorizadas », se levantará la información sobre el trazado de los canales y sobre la ubicación de las tomas y los perímetros. Se efectuará un reconocimiento sistemático, siguiendo los canales. Se establecerá un primer mapa de situación (a escala 1:25.000) el mismo que será verificado analizando las eventuales fotografías aéreas (antiguas o recientes) de la zona.

Una entrevista con el grupo de « representantes » de la zona permitirá establecer contactos, formular algunas hipótesis sobre el funcionamiento del riego y la agricultura, hacer conocer el proyecto de estudio y su duración, escoger una o dos parcelas « testigo » (que servirán durante un año) y contratar un observador.

2. TRABAJO A NIVEL DE LA ZARI

Consiste en caracterizar y evaluar la repartición de los recursos de agua dentro de la ZARI, en detectar las pérdidas eventuales y en medir su importancia. Se procederá por lo tanto a cuatro tipos de estudio complementarios:

- Encuestas agro-sociológicas sobre el agua y su repartición a partir de una muestra estratificada y razonada en cada perímetro; se buscarán las explotaciones correspondientes a una muestra de parcelas distribuidas en los diferentes perímetros y se les aplicará un cuestionario que permita comprender el funcionamiento general del perímetro objeto de la encuesta, identificar los problemas de manejo del agua en la parcela seleccionada y evaluar el interés de la encuesta.

- Estos datos posibilitarán caracterizar el funcionamiento de cada perímetro de la ZARI y después compararlos entre sí. Por otro lado, el cuestionario admitirá partes abiertas en las que el encuestado se pueda expresar sobre tal o cual problema del riego, lo que permitirá completar la lista de los diversos fallas o disfuncionamientos que a tomarse en cuenta.

- Estimación de las pérdidas de agua por filtración o por mal estado de la infraestructura, mediante medidas puntuales y simultáneas de caudal en una muestra de canales.

- Medición diaria del caudal que entra en algunos perímetros representativos de la zona, a fin de conocer el consumo real y analizar la estabilidad del caudal disponible.

3. TRABAJO A NIVEL DE LAS UNIDADES DE USO DEL SUELO Y DE LAS EXPLOTACIONES

Consiste en estimar y explicar las productividades agrícolas de las diferentes unidades de uso del suelo, mediante una encuesta agro-socio-económica en una muestra de explotaciones representativas. Se preferirá la calidad de la información a la multiplicación de encuestas que no permitan ni estimar ni explicar los resultados de producción.

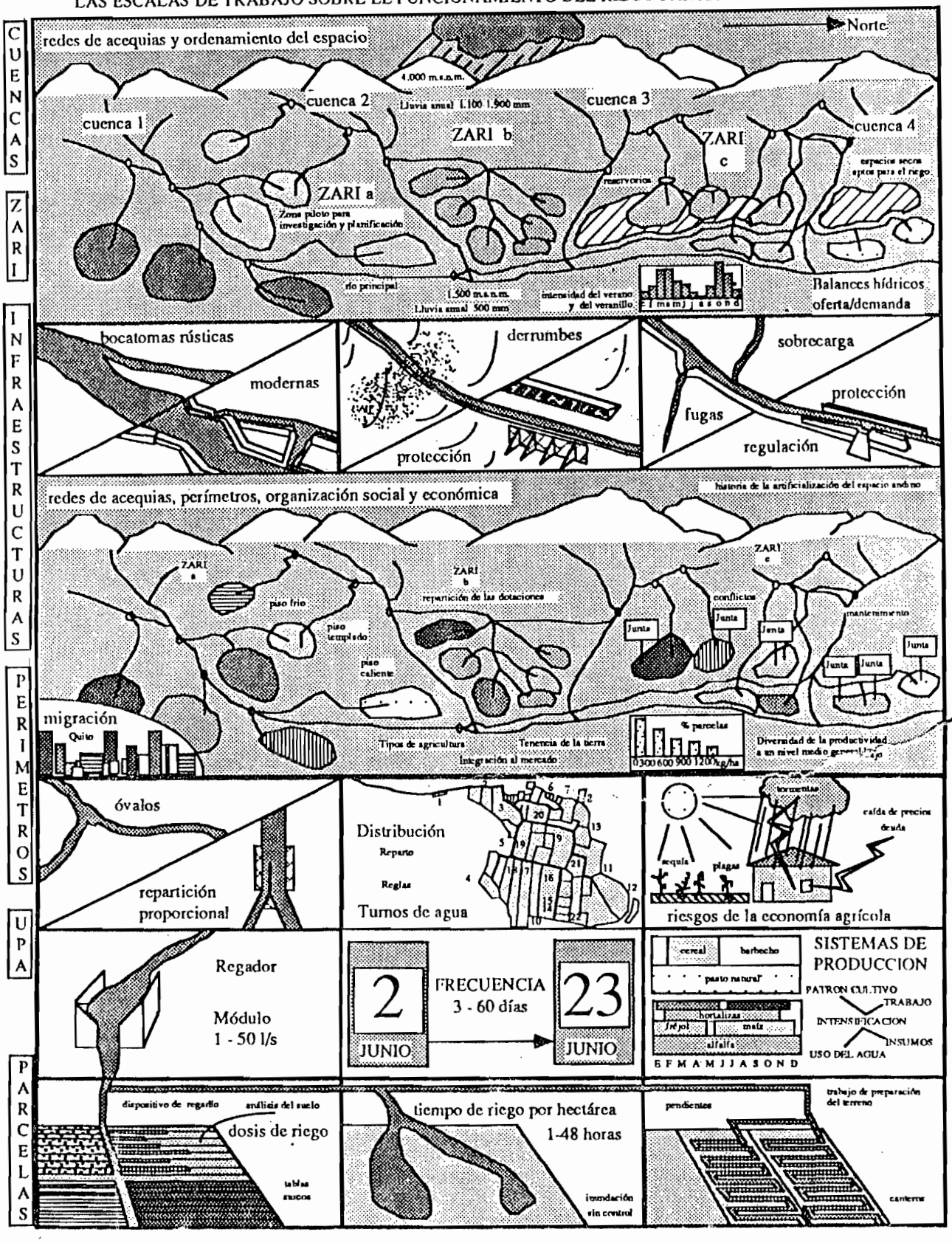
La investigación concernirá igualmente la historia reciente y las estructuras actuales de explotación, el funcionamiento agrícola (relación de cultivos, calendarios, limitaciones del sistema de explotación) y los resultados agrícolas y económicos.

4. TRABAJO A NIVEL DE PARCELAS DE BASE

A este nivel, se buscará un mínimo de referencias sobre el funcionamiento del riego: consumo de agua, técnicas empleadas y su eficacia, problemas agro-económicos, ahorro del agua.

Por otro lado, la parcela de referencia, escogida justamente con el afán de denunciar una falta de agua, será un testimonio de la difícil repartición del recurso.

LAS ESCALAS DE TRABAJO SOBRE EL FUNCIONAMIENTO DEL RIEGO PARTICULAR EN LOS ANDES



FICHA Nº 8

BANCO DE DATOS SOBRE EL RIEGO

El banco de datos reúne todos los resultados anteriores (inventario, zonas piloto, estudios temáticos) y calcula nuevos indicadores comparándolos unos a otros. Permite así tener un panorama de la situación a 3 niveles diferentes:

- A nivel de la cuenca hidrográfica, el Estado tiene una visión clara del tipo de intervención que debe emprender (extensión de tierras regadas, intensificación de los regadíos existentes, etc). Dentro de esa visión global, el banco identifica las ZARI con más problemas y en las que una intervención tendría efectos interesantes. Es la unidad espacial en la cual se calculan también los balances entre demanda y recursos de agua para adecuar mejor la distribución el recurso.

- La síntesis a nivel de ZARI enfoca el problema de la organización de tomas e infraestructuras, teniendo en cuenta también la estructura socio-económica de la micro-región. Se analiza también la superficie potencialmente regable que todavía no cuenta con infraestructura. Permite prever los impactos de las obras de rehabilitación.

- El diagnóstico a nivel de sistema de riego es principalmente técnico. Las informaciones detallan el funcionamiento de sus diferentes partes: tomas (bocatomas y obras de regulación, caudales concedidos y realmente desviados), transporte y repartición (complejidad y tipo de infraestructura, repartición, mantenimiento), utilización en perímetros (dotaciones, cultivos, sistemas de producción).

Esta forma de análisis debe desembocar en la formulación de propuestas concretas tendientes a mejorar la producción agrícola y en una jerarquización de los proyectos que tenga en cuenta la voluntad política del gobierno.

FICHA Nº 9

PROBLEMAS DE DISFUNCIONAMIENTO ENCONTRADOS

A NIVEL DE LA DEMANDA DE AGUA Y DE LAS INFRAESTRUCTURAS

Caudal ficticio continuo reducido por falta de recursos en las cuencas que alimentan la red.

Fragilidad de las obras de toma y ausencia de obras de regulación adecuadas.

Gran desigualdad de repartición de las dotaciones, tomando en cuenta las diferencias normales entre pisos altitudinales, lo que determina en conjunto un paisaje heterogéneo.

A NIVEL DEL TRANSPORTE Y DE LA REPARTICION

Existencia de numerosas pérdidas a lo largo de las acequias y falta de obras de protección, lo que implica trabajos de mantenimiento casi permanentes.

División del caudal realizada generalmente por coeficientes no proporcionales (de tierra), los mismos que no garantizan una repartición confiable y son fáciles de alterar.

A NIVEL DE LA DISTRIBUCION

Ausencia de turnos de agua, lo que tiene por consecuencia una repartición desigual entre usuarios aguas arriba y usuarios aguas abajo en los diferentes canales.

Tiempo de transferencia demasiado largo en la red de distribución, resultado de las costumbres y la tradición de los derechos de agua adquiridos. El sistema de distribución ascendente es muy raro en el Ecuador, aunque es el más equitativo entre usuarios.

Gran irregularidad de un módulo de riego a otro, debido a problemas de infraestructura que no garantizan el caudal atribuido.

Pérdidas importantes en la noche al no existir reservorios para almacenar el agua durante esas horas.

Frecuencia de riego inadecuada para intensificar los sistemas agrícolas de producción. En suelos con reservas útiles a veces muy reducidas, se vuelve difícil arriesgarse en un cultivo sensible a la sequía si el período entre dos riegos es demasiado largo.

A NIVEL DE LAS PARCELAS

Módulo de regadío inadecuado, ya sea demasiado débil (< 5 l/s) o demasiado fuerte (> 20 l/s).

Dispositivo de riego de reducida eficacia.

A NIVEL DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCION DE LOS AGRICULTORES

Además de los problemas de falta de agua, los agricultores se confrontan a varias limitaciones como la falta de capital, de crédito, de fuerza de trabajo; corren importantes riesgos económicos debido a la falta de organización y de regulación de los mercados agrícolas.

Complejidad siempre mayor en la división de la tierra, lo que acarrea una mayor dificultad en compartir el agua entre micro-parcelas.

En estas condiciones, prefieren adoptar sistemas más extensivos de uso de la tierra y agua, así como ganadería extensiva en pastos naturales regados con poco esfuerzo.

A NIVEL DE LAS ORGANIZACIONES DE USUARIOS

Multiplicación y atomización de las asociaciones, juntas, etc., que tiene como consecuencia una gran dificultad en el manejo de todas las redes de acequias en un lugar dado. El manejo del agua y la organización del mantenimiento están sometidas a repetidos conflictos. Las intervenciones externas, provenientes del Estado o de organizaciones no gubernamentales, siguen haciéndose a nivel de grupos limitados, sin tomar en cuenta el conjunto de usuarios y sistemas. Esos fenómenos son graves en la medida en que los sistemas tradicionales de riego no pueden mantener el servicio básico que ofrecen sin una cohesión social mínima entre todos los usuarios. De persistir esta situación, existe una gran probabilidad de ver desaparecer los sistemas de riego, lo que tendría consecuencias sociales, económicas y demográficas a nivel tanto rural como urbano.

FICHA Nº 10

CONCLUSION

Según los primeros resultados, no cabe duda de que el mejoramiento del riego en la Sierra pasa por la rehabilitación y la intensificación de los regadíos existentes y fundamentalmente del riego particular.

Esa rehabilitación no debe solamente considerar la infraestructura, sino también los perímetros, a fin de optimizar la utilización del recurso agua. Eso implica un asesoramiento a los campesinos para que se organicen adecuadamente: conformación de las juntas de agua por sistema, elaboración de turnos y módulos adecuados, técnicas de riego, etc.

Todo lo anterior supone también un control y un manejo del recurso hídrico, ejercidos de manera exacta y actualizada a nivel de cuencas hidrográficas.

Si el INERHI tiene la voluntad de orientarse hacia una política de rehabilitación del riego particular, se enfrentará rápidamente a problemas estructurales. Actualmente, el Instituto no tiene la capacidad financiera ni de personal para emprender esa tarea (estando la mayor parte de sus recursos humanos y económicos destinados al riego estatal). Existen dos posibilidades de afrontar el problema:

- efectuar una reestructuración y dedicar más tiempo, personal y recursos al riego privado;
- encontrar un modus operandi con las diversas entidades regionales y asociarse con dependencias del MAG para la asistencia técnica en los perímetros.

En los dos casos, las agencias regionales deben ser reforzadas con equipos y personal técnico capacitado para poder cumplir la importante función que les corresponde.

Com :
VIIth Afro-Asian Regional Conference
International Commission on Irrigation and Drainage
ICID, Tokyo, 15-25/10/89, pp 351-361.

TRADITIONAL IRRIGATION IN THE ANDES OF ECUADOR

RESEARCH AND PLANNING

by P. LE GOULVEN[1], T. RUF[2], H. RIBADENEIRA[3]

Abstract

After a presentation of their area of study, the authors describe the historical evolution of irrigation in the Andes of Ecuador. The function of the state is emphasized and then the two kinds of irrigation are precisely defined. Next, the paper deals with the present problems of private irrigation systems and presents various possible strategies in terms of planning and development.
The selected strategy relies on an elementary space unit (the ZARI) and the authors explain its definition, its conception, and its meaning. Finally, they present the selected methodological outline and the various operations.
This paper, above all methodological, precedes a second one entitled "Dysfunctions and Rehabilitation" in which the preliminary results are presented and commented.

1 ORSTOM Mission, P.O. Box 17.11.6596, Quito, Ecuador
2 ORSTOM Mission, P.O. Box 17.11.6596, Quito, Ecuador
3 Plan Nacional de Riego, INERHI, Quito, Ecuador

In Ecuador, the National Water Resources Institute (Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos-INERHI), whose function is to manage water resources and to promote irrigation projects, has to develop a National Irrigation Plan for the next decade.

In a difficult economic context due to very high public debt, it is almost impossible to carry out the policy of realizing new, modern –but very expensive– irrigation projects with still low benefits.

As far as the franco-Ecuadorean team under the leadership of the authors of this paper is concerned, the main point for the elaboration of the future Irrigation Plan consists in considering what still exists, sometimes for ages, i.e., the so-called private or traditional networks as opposed to the recent state projects.

Moreover, this focus agrees with the one advocated by the international organizations. To manage the future rehabilitation activities, it is first necessary to understand the as yet unknown organization of the traditional networks, in order to analyze with precision their various operational problems.

That is the purpose of the international, multidisciplinary team of French Scientific Investigation Institute for Development and Cooperation (ORSTOM) and INERHI, dedicated to the project "Operation, Analysis of Ecuadorean Irrigation - Recommendations for the National Plan".

1. PRESENTATION OF STUDY AREAS

Ecuador extends over 281.000 km² in the norhwestern part of the South American continent, beween Colombia and Peru (see Figure 1).

The Andes mountain range divides the country in three areas. In the north, it consists of two distinct chains crowned by high volcanos of over 5000 meters, on each side of the inter-Andean corridor which is about 40 kilometers wide. In the south, the two mountain ranges meet and the peaks are lower.

These Andes mountains, called "sierra", constitute a specific, very early inhabited entity: *this is the project area.*

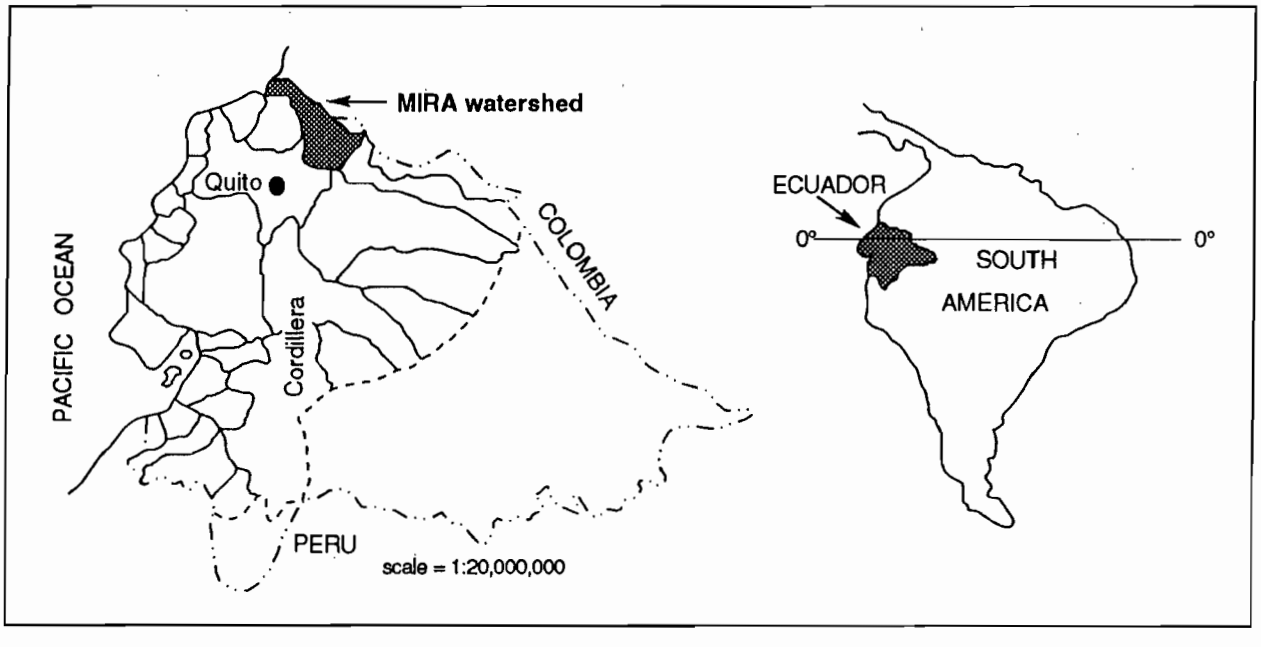


Figure 1 - Hydrographic watersheds and Andean cordillera - Ecuador

The Andean population lives mainly in the inter-Andean valley and has adapted the agriculture to its different ecological levels (1800-3500 m). Above the cultivated stages, sometimes with high slopes, are found wide meadows (3500-3800 m) called "páramos". Above 4300 meters, because of the frost, there is no vegetation, and permanent snow begins at 5000 m.

The rainfall is heavy on both sides of the Andes and variable in the inner valleys. It can go down to 400 mm in some sheltered areas where irrigation is essential. Generally, there are two rainy seasons (from February to May and from October to December), but there may be modifications:

- in some areas, i.e., valleys under the influence of the Amazon river basin climate;
- some years due to the Niño Current.

There is a high probability of drought (even short ones). That is why traditional irrigation networks can be found in almost all the valleys.

2. ANDEAN IRRIGATION: AN OLD STORY BUT RECENT STATE INTERVENTION

Irrigation was known long before the arrival of the Spaniards (1530) in the Andean areas and perhaps before the arrival of the Incas from Peru (about 1470). In the XVIth century, the native communities had a kind of water law which was gradually replaced by the law laid down by the Spanish colonizers.

Documents from the National Archives in Quito indicate that most existing networks were built between the XVIIth and XVIIIth centuries when the big landowners were able to make the native labor force dig and maintain canals thet were regularly destroyed by bad weather, overflows, and earthquakes.

In the XIXth and XXth centuries, owing to social and economic progress, the land was gradually partitioned, thus producing changes in the use of water.

On the one hand, the biggest haciendas were divided among the heirs, which created conflicts in water partition; these conflicts were settled by the construction of new nearby canals.

On the other hand, the peasant groups (Mestizo or Indian) claimed their water rights which were justified by their crucial participation in the construction and maintenance of the water system. Finally, some individuals or groups acquired water rights by different ways (fraction of the canal flow or the complete discharge during a definite period, etc.).

During the XXth century, the rise in population led to a demand for agricultural land (this justified the Agrarian Reform of 1960-70). The demand for water resources increased at the same time. The latter is not well known but it is the origin of numerous conflicts, even violent ones.

The state intervened for the first time in 1936 and tried to establish the first legal basis for a better distribution of water resources. Then the state created the "National Irrigation Fund" (1944) to carry out works of general interest.

As conflicts between the network owners and the users continued, the military government created the National Water Resources Institute (INERHI) in 1966. The authority of this institute was strengthened when the water resources were nationalized in 1972.

INERHI holds a monopoly on water and intervenes on two levels:

- **It studies, builds and manages directly** a group of networks comprising irrigated areas from 500 to 10,000 hectares where farmers have to pay a tax. It is not involved in agricultural development, crop-raisiong advice, or production trade.
- **It checks and grants the water concessions**. Therefore, the primitive water rights are legalized because they have to be declared.

In this set, known as private irrigation, the building, maintenance and management of networks and irrigated areas are under the responsability of the users and their organizations: *Juntas de Aguas*.

These two groups are not always independent and can be combined to form groups of irrigated areas that comprise thousands of hectares.

3. CURRENT PLANNING PROBLEMS

Taking the country as a whole, INERHI estimates the irrigated surface for agricultural use at about 550,000 hectares. More than 75% is private irrigation. Analysis of the preliminary results in the Mira watershed (See Fig. 1) seems to indicate a higher percentage in the sierra (See Table 1).

Table 1 - Description of the private irrigation network in the Mira Watershed

Number of canals	295	
Total intake flow	25	m^3/s
Average intake flow per canal	85	l/s
Total lenght of canals	1,780	km
Average lenght of canal	6	km
Number of irrigated areas	275	
Total irrigated surface	53,923	has
Pure private irrigation surface area and %	46,728	has (87%)
Pure public irrigation surface area and %	2,210	has (4%)
Mixed irrigaton system surface and %	4,985	has (9%)
Specific irrigation discharge rate in the private irrigation areas	0.5	l/s

Private facilities consist of very winding earth canals, dug on the mountain slope, which can often disappear into long unpropped tunnels and can carry flows of about 500 l/sec.

The water intakes are rustic (overflow with stones), and therefore shaky. All along the flow, the canals cut across each other and become entangled, delivering water according to the needs by means of rudimentary dividers. It is not unusual for a canal to feed several distant areas or for an area to receive water from several canals.

Generally, gravity irrigation techniques are applied as they are well adapted to the area's topography. That means that a precise analysis of the irrigation system is necessary to develop specific standards adapted to the local situation, i.e., gravity irrigation can be noted on slopes of 100%. In this case the usual standards are not aplicable.

Up to now, INERHI was mainly interested in irrigating new areas to increase the irrigated surfaces. The example of Mira (like in other andean watersheds) shows that its intervention ignored the existing facilities.

These public projects appear to be the last historical intervention of superimposed equipments.

The lack of planned improvement of the private networks is mainly due to the original separation of INERHI assignments (projects on the one hand, management on the other hand) but also due to the very complexity of the traditional existing civil works, the inventory of which was not always complete or precise. Moreover, the access to the water intakes is often difficult and their control sometimes impossible.

Without method or a well-guided, determined policy, the intervention of the government was punctual and specific: to build here a modern intake, there a storage tank...

Today irrigation in the Andes is being designed differently thanks to several new elements. Most of the ideal sites for irrigation are used and every new project will cost more and more. The country is affected by a serious economic crisis and had to be more careful in its investments, owing to a still high external debt.

Now is the time to guide state intervention (and therefore INERHI) towards a better management of the existing systems, especially the intensification of traditional irrigation for the following reasons:

- **It supplies the main part of the usual consumer goods.**
- **As it is not very technological, its development potential is higher.**
- **It exists throughout the country and involves many people who already have a basic knowledge of irrigation.**

To prepare this new sphere of activities, INERHI and ORSTOM have decided to collaborate in order to establish (first at the Andean level and then at the national one) a methodology based on scientific standards which would result in practical recommendations for the elaboration of a development plan.

Because the operation of the private system is relatively unknown, it is necessary to study the use of water in its entirety in order to detect its weaknesses and to enhance its strengths.

This means that a multidisciplinary study will have to be carried out that can analyze the problem at various levels and provide the necessary data to implement the recommendations.

4. A RESEARCH AND PLANNING SPACE UNIT: THE ZARI

The country contains about thirty big watersheds of various importance; in the sierra they are very well defined.

They are obviously too wide and too heterogeneous to constitute the basic unit of analysis, but they represent a preliminary classification for the total water resources. They usually belong to a region and often include a big town, a trade and exchange centre.

It means that this space division has to be considered in the Ecuadorean Andes.

The hydrologists have refined this partition and divided it into unitary watersheds (or micro-basins) where they estimate the water resource.

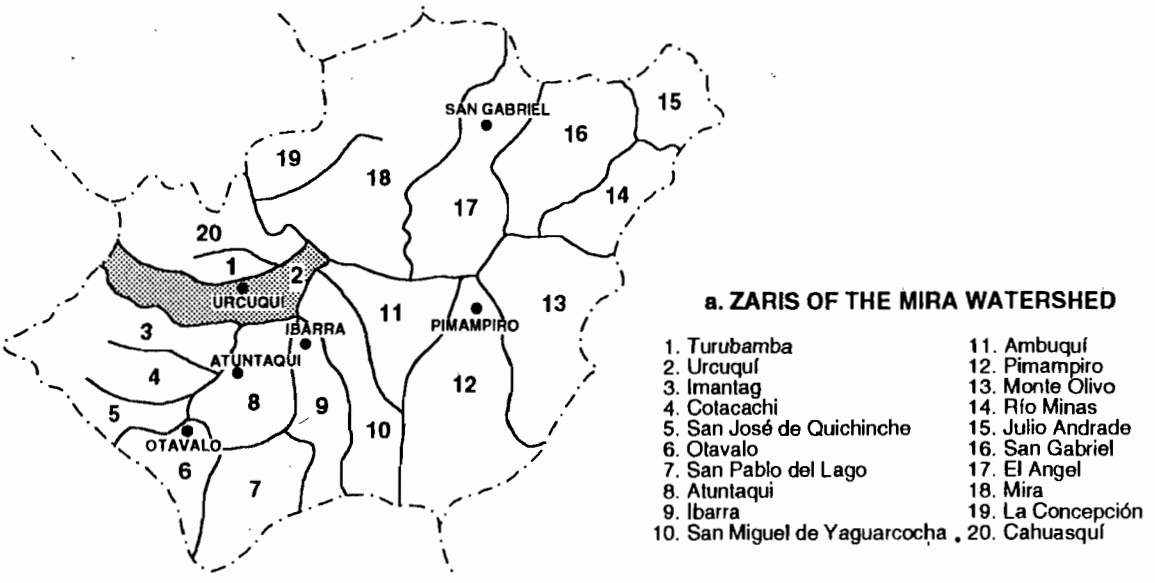
This notion, as appealing as it may be, is unfortunately not adapted to the study of the irrigation networks. The lower parts of the irrigated areas are flat enough to allow the mixing of canals of various origins. Even in the higher parts, the watersheds do not constitute an obstacle to the canals which skirt round them or cross under them in tunnels.

That is why it was necessary to think up and delimit space units that deal with reality: the ZARI (Zone of Analysis and Recommendations for Irrigation).

The ZARI is a space organization unit of the taking, transport, and use of irrigation water.

Its boundaries are formed by the important natural obstacles that the network cannot cross. Owing to its very pragmatic definition, the ZARI is the ideal unit of analysis, and it is also a consistent geographical unit on the social and economic level.

Naturally well limited, it has been inhabited for a long time by human groups who share a common history, sometimes in harmony, often with conflicts. Within each ZARI, the infrastructure has been laid down by the local labor force, with limited investments.



Reference for ZARI	AT MIRA (20 ZARI)	ZARI OF URCUQUI
Spatial dimension	50 - 300 km^2	98 km^2
Number of systems	10 - 20	17
Number of trenches	20 - 40	40
Length of transport	30 - 250 km	192 km
Diversion discharge of ZARI	300 - 5,000 L/s	4,496 L/s
Number of perimeters	7 - 32	32
Continuous flow rate in Perimeter	0.1 - 2 L/s/ha	0.05 - 2 L/s/ha

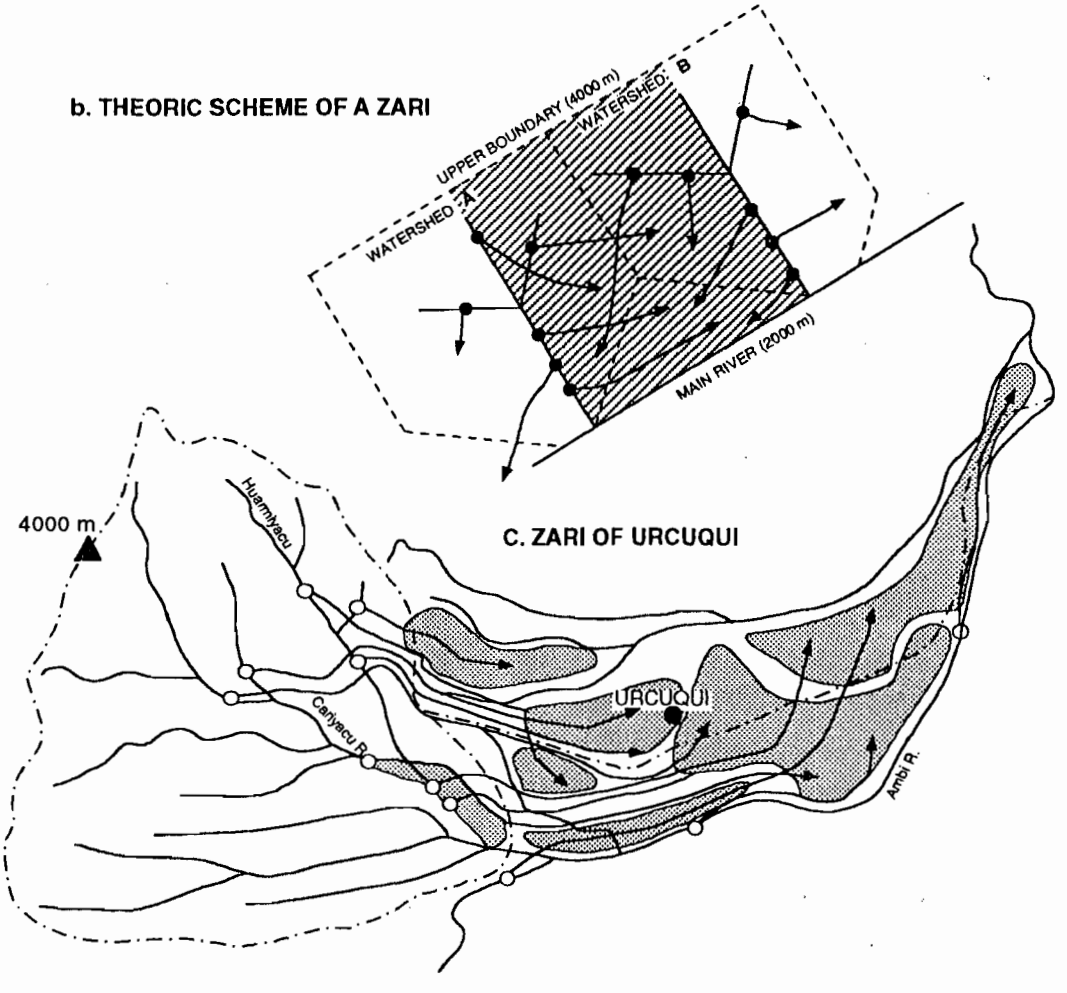


Figure 2 - Theoric and actual examples of ZARI

Any water transfer between ZARI costs more, requires a higher level of technology, and has regional repercussions. All the same, any transfer between watersheds in the sierra implies a big project which should be decided upon at a national level.

Thus the planning process can rely on these two space divisions which have a true geographical value, contain the production units, and can help establish the cost and impact of a development policy.

The size of the ZARI varies between 50 and 200 km^2 and its boundaries are established in two stages. Provisional boundaries are drawn up according to the topography and hydrographic network; then they are modified when the infrastructure and the irrigated areas are taken into account.

The Mira hydrographic watershed is subdivided into 20 ZARI (see figure 2a), generally created by the union of two half-unit watersheds (see figure 2b).

Normally no canal should cross over from one ZARI to another (see definition). Actually there are some interconnecting canals but they are rather unimportant channels that feed industrial crops (sugar cane, for example) or public networks.

So the definition of the ZARI is essentially adhered to and permits to lay down a preliminary classification of facilities according to their importance and impact.

The ZARI forms the basic space unit, on which the analysis and diagnosis are carried out according to the various concomitant operations which are being studied.

5. PHASES OF STUDY

The study is divided into six operations that fulfill precise purposes.

a. Description of the system

The first operation (LOCIE) locates the irrigation systems and describes their functioning by ZARI and wide basin. The irrigated areas are delimited by photo interpretation and then by the analysis of the SPOT satellite pictures.

The system's condition and functioning are described in detail according to a logical code that divides the networks into unitary segments characterized by a function (supply, transport, distribution) and connected by operation junctions (combination-division). This coding is adapted to the complex systems and is easily computerized.

b. System understanding

Two operations are designed to explain the organization and functioning of the irrigation systems. THANIE is the first and deals with the historical analysis of the irrigation in the Ecuadorean Andes since the colonial period.

The archive documents explain in large part the inadequacies of the infrastructure (redundancy of canals).

The second operation called TAPATRIE is carried out in one representative ZARI in each big watershed.

In the Mira watershed, the ZARI of Urcuquí was chosen (see Fig. 2c). It contains a very dry ecological environment (1800-2000 m) and includes the three major types of production systems: sugar cane haciendas, cattle-raising haciendas, and very small mixed farming.

Measurementes and inquiries are carried out at three levels: ZARI and irrigated areas, farms, and plots of land.

The measurements aim at evaluating the water consumption at different levels and the efficiency of transport, distribution, and in the plot of land.

The inquiries give an idea of the water distribution and of farming productivities.

c. Characterization of the system

A hydrological analysis (EGRADIE) calculates, on the one hand, the water demands at the level of the irrigated areas and the ZARI and, on the other hand, evaluates the available resources at the level of the unitary watersheds.

The water requirements are calculated after a very complete climatological analysis. It has been carried out using the regional vector method. The inventory data, completed by field measurements, provide the system's characteristics.

The water resources are evaluated using a hydro-pluviometrical model at a monthly time step. The intakes situated on the hydrographical network provide relation between the supply unit (unitary watershed) and the water requirements unit (ZARI).

Finally, a detailed study of the farming statistic (OCASEZIE) attempts to determine the realistic margin of productivity evolution in an irrigated area or ZARI by comparing the well-supplied areas with the ones where the water shortage becomes a restrictive factor.

d. Elaboration of diagnosis

Each operation has to contribute to the formulation of the diagnosis. The results are gathered in several computerized data banks.

It is necessary to connect them to obtain a detailed panorama of private irrigation performances at the level of each ZARI, of its weaknesses and potential improvements.

That is the aim of the last operation (BIDRIE).

CONCLUSION

Faced with an unknown and complex reality, the INERHI-ORSTOM project has elaborated a research methodology to support future decisions on irrigation development.

In the last two years a great number of partial results have been obtained in each operation. It is not possible to present all of them in this paper.

But, in contrast, the total results obtained at the level of some of the ZARI of the MIRA watershed have permitted to furnish various recommendations, which are presented in the paper entitled "Dysfunctions and Rehabilitation".

REFERENCES

- **GALLARDO, G., 1987**. "Políticas de riego en el Ecuador", rev. DEBATE nº 14, CAAP, Quito, pp. 87-98.

- **GONDARD, P., 1984**. "Inventario y cartografía del uso del suelo en los Andes Ecuatorianos", MAG-ORSTOM-CEPEIGE, Quito, 92 p.

- **INERHI, 1966-1987**. "Inventario de canales de riego", INERHI, Quito.

- **INERHI, 1972-1988**. "Memorandums técnicos de las agencias regionales de agua", INERHI, Quito.

- **INERHI, 1985**. "Ley de creación del INERHI, Ley de aguas, Reglamentos de la ley de aguas, Reformas a la fecha", INERHI,Quito, 137 p.

- **LE GOULVEN, P., 1986**. "Elaboración del Plan Nacional de Riego, análisis de la situación y concepción general", INERHI, Quito, 22 p, in French and Spanish.

- **LE GOULVEN, P., RUF, T., RIBADENEIRA, H., 1987**. "Méthodologie genérale et détail des opérations du projet INERHI-ORSTOM", INERHI, Quito, 91 p, in French and Spanish.

- **POURRUT, P., 1980**. "Estimation de la demande en eau du secteur agricole et des disponibilités pour la satisfaire. Elements de base pour la planification de l'irrigation en Equateur" cah. ORSTOM, série Hydro., vol. XVII, nº 2, pp. 39-65, in French and Spanish.

- **RUF, T., LE GOULVEN, P., 1987**. "L'explotaition des inventaires réalisés en Equateur pour une recherche sur les fonctionnements de l'irrigation". Bul. de liaison no. 12, Dept H, ORSTOM, Paris, pp. 30-47.

- **SUAREZ, E., BERNARD, A., et al. 1987**. "Diagnóstico socio-económico del medio rural ecuatoriano. Producción agrícola, Productividad agrícola, Insumos agrícolas, Calendario agrícola", MAG-ORSTOM, Quito, 4 vol., 1736 p.

- **VERA ALARCON, D., PORTAIS, M., 1979**. "Delimitación de las zonas agrícolas para la programación integrada. 1. Costa, 2. Sierra", MAG-ORSTOM, Quito, 391 p.

Com :
VIIth Afro-Asian Regional Conference
International Commission on Irrigation and Drainage
ICID, Tokyo, 15-25/10/89, pp 362-371.

TRADITIONAL IRRIGATION IN THE ANDES OF ECUADOR

DYSFUNCTIONS AND REHABILITATION

by P. LE GOULVEN[1], T. RUF[2], H. RIBADENEIRA[3]

Abstract

The multidisciplinary team of the franco-Ecuadorean ORSTOM-INERHI project presents a synthesis of various dysfunctions which were identified during the surveys on traditional Andean irrigation areas in northern Ecuador.
The features of the diagnosis are formulated at different levels: relations between watersheds and ZARI (Zone of Analysis and Recommendations for Irrigation); between ZARI and irrigated areas; between irrigated areas and farming sistems; between farming sistems and crop plots.
It shows that the water shortage may be the result of many combined dysfunctions that have a negative impact on farmers' decisions: they prefer extensive forms of agriculture and therefore obtain low land productivity.
The authors propose as a preliminary task, in order to prepare the National Irrigation Plan, prospects to structure and organize the traditional networks.

1 ORSTOM Mission, P.O. Box 17.11.6596, Quito, Ecuador
2 ORSTOM Mission, P.O. Box 17.11.6596, Quito, Ecuador
3 Plan Nacional de Riego, INERHI, Quito, Ecuador

The first report, *Traditional Irrigation in the Andes of Ecuador, (1) Research and Planning,* showed how an international and multidisciplinary team had built a research methodology to prepare a Traditional Irrigation Development Plan. We emphasized how much this irrigation did not follow the usual standards. The originality of these systems,. especially linked to the mountainous topography and history, justifies the research work on what does not function well along the water mobilization and utilization chain at different levels of the ZARI (Zone of Analysis and Recommendations for Irrigation).

From detailed studies of four ZARI that were selected as most representative, Urcuquí, Pifo, Santa Rosa and Guamote, the major features of the diagnosis on the dysfunctions of irrigation in the northern Ecuadorean Andes were formulated and the first channels of improvement of the private networks started to be defined (see Fig. 1. Organization-Type of a ZARI and Location of the Different Problems).

Urcuquí, introduced in the first report, is a ZARI of the dry Mira watershed in the northern Andes; it is made up of approximately 5,000 hectares irrigated by 17 traditional systems. Pifo is located close to the capital Quito. Therefore, this ZARI, with its 2,800 hectares irrigated by 12 traditional systems, evolves under the influence of of the urban outskirts. Santa Rosa and Guamote belong to the Pastaza watershed, located in the middle of the country. These ZARI represent totally opposed situations.

- the first, Santa Rosa, is exemplary owing to the high degree of artificialness of the Andean environment (very high population density – 300 inhabitants per square kilometer, 8,000 hectares irrigated by large traditional systems from 30 to 50 kilometers long, irrigated continuous crop systems in farming units of less than one hectare);
- the second, Guamote, is a crisis area, abandoned by its inhabitants, and only the sectors that have irrigation networks (of limited scope) remain populated, even though they are deeply affected by seasonal migrations.

1. SUPPLY DISFUNCTIONS AT THE WATERSHED LEVEL

1.1. Very poor low-water flows, owing to severe drought even in the high-mountain areas

Areas that are potentially irrigable do not have any facilities. In the river watershed, only a dam would allow to increase the supply during the dry season. In certain cases, a transfer from a neighboring watershed that has a supply which exceeds the demand could solve the water shortage problem. These cases are rare. They imply prior legal and political agreements and sometimes high investments if the transfer requires special work (tunnels). This problem goes beyond the limited field of rehabilitation.

1.2. Large but inaccessible flows because the gorges are too narrow, the geomorphology is unfavorable, etc.

As before, the areas suffer from a shortage of water, but this time the farmers see the water pass at a few tens or hundreds of meters beneath their land. In certain cases, a dam to raise the water level could facilitate the installation of facilities or the enlargement of those that already exist.

1.3. Highly variable hydrological rhythms with sudden and destructive overflows

The water intakes are regularly flooded. The irrigated areas are periodically deprived of water. If the damage is considerable, the farmers run the risk of losing part of their crops.

This type of accident (we will see later on that there are many more) becomes even more dramatic if the social organization that manages the system is disorganized.

A modern intake construction program could make the irrigation systems in the aggressive watershed less vulnerable.

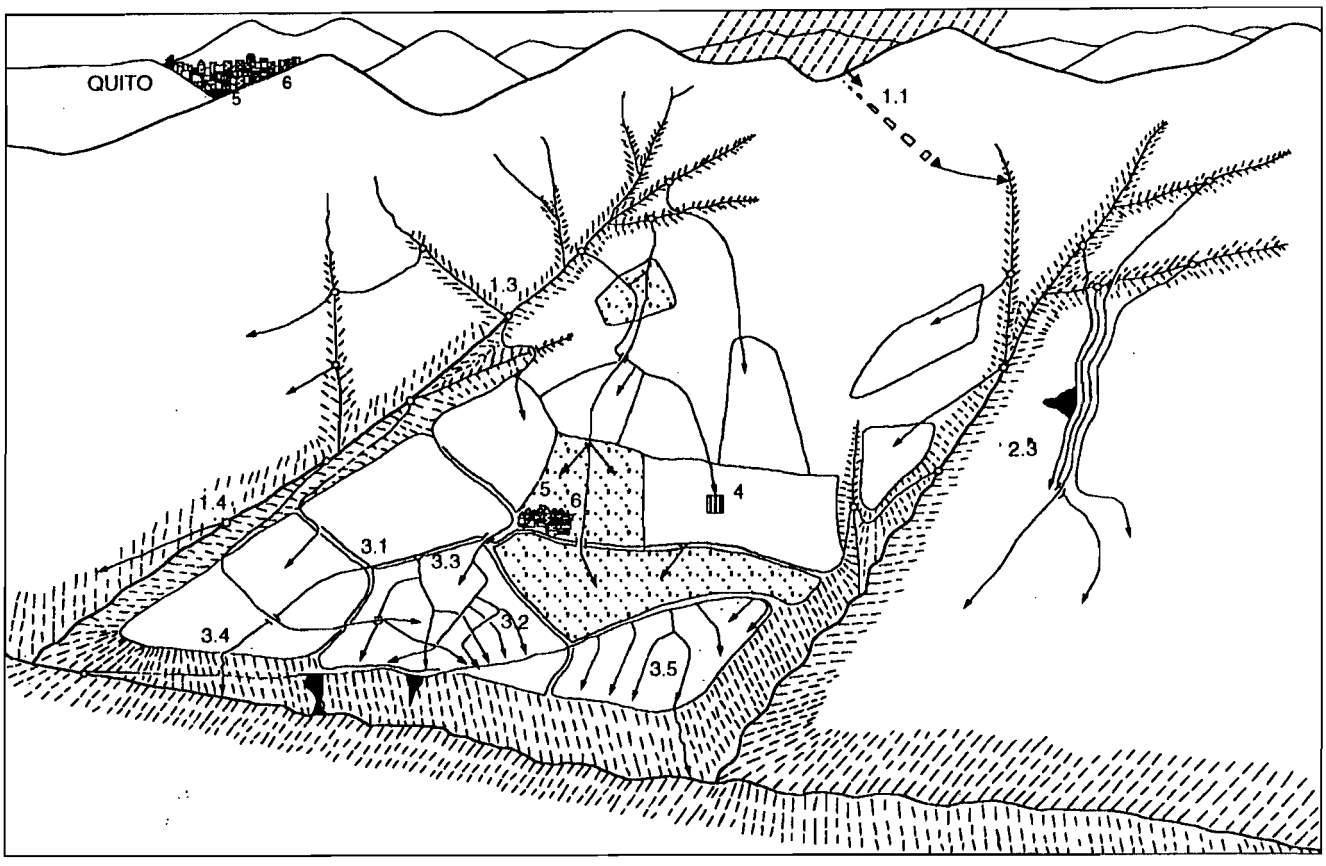


Figure 1 - Scheme of a ZARI with localization of major identified problems

1.4 Drying up of the river downstream from a series of outlets

The areas that are irrigated from downstream intakes systematically run the risk of being short of water. This situation is often the result of a lack of coordination to manage the water resource. It may be accompanied by downstream/upstream conflicts that can go as far as an "intakes war", that is, the alteration and sometimes even the destruction of the facilities.

Solutions to this problem are not easy, because each of the groups involved claims inherited water rights.

In this type of case, it is better to no longer grant any additional concession and to organize a joint effort among the irrigating organizations.

The installation of the intakes and the discharge regulators planned in the concession documents should indeed be carried out with financial and technical support.

2. DEMAND PROBLEMS AT THE INFRASTRUCTURAL LEVEL IN THE ZARI

2.1 Poor average continuous fictive discharge, owing to lack of available water resources in the watersheds that feed the network

This case is a translation of the two first kinds of problems already described concerning the watersheds.

When the watersheds do not function in the same way, it may be useful to restructure the networks combining the supplies of the two watersheds towards the crest of the interflow.

Thus a greater regularity and security of the distributed flows would be obtained.

2.2 Considerable disparity in the distribution of the supply, even taking into account the normal variabilities owing to the altitude

Certain irrigated areas are supplied by a continuous fictive discharge of 2 liters per second per hectare whereas others have only 0.1 or 0.2 liters per second per hectare.

In the landscape this gives a mosaic of highly heterogeneous areas with respect to crop-raising during the dry season.

In the case where the water resource is limited compared to the requirements, it is possible to revise the concessions or, by installing modern intakes, to avoid excessive impoundments of water which would be detrimental to the other systems located downstream.

When the water resource is not limited, an enlargement of the deficient systems could be considered. A poor supply may be due to the deterioration of the canal owing to a lack of maintenance.

For instance, the absence of maintenance to clear the sand from certain parts may, over time, considerably minimize the channel discharge capacity and reduce even more the water supply of this or that system.

2.3. Too high canal density, which makes it very difficult to maintain all the systems and provides linear or punctual losses, whether of natural or social origins (theft, conflicts)

One solution would consist of simplifying the network especially when the canals run along parallel lines.

Moreover, in this type of situation, chain accidents occur when the upper canal breaks following an overflow or a mudslide.

The weakest areas should be reinforced by means of special works and protected from streaming if the latter produces dangerous overflows.

Protection against erosion and soil accumulation in the canal can be improved by planting thick hedges above the canal segments in question.

Finaly, we have observed that certain sectors are very difficult to reach. Their maintenance would be facilitated if accessways and maintenance roads were built.

3. DYSFUNCTIONS IN THE DISTRIBUTION IN THE ZARI

3.1. Absence of a rotational working, as a consequence of which there is an unequal distribution among the upstream and downstream users on the distributors

This lack of rules and regulations to share the water resource occurs in four kinds of cases:

- the number of users is low and water distribution is decided upon from day to day according to the needs of each user; over time and with the parceling of the land, the number of users increases and the first difficulties arise;

- the users have just acquired a concession over the canal, for example, when haciendas are divided into lots and sold, and they do not know how or are unable to get organized to set up a rotational system;

- the users were organized to set up a rotational turn distribution, but because agriculture is no longer a prime activity, the rules have been more or less ignored;

- the users are organized but their number is so large –and their conflicts so intense– that the rotational system does not operate well; the planned schedules are not adhered to, the accumulation of delays leads to irrigation cuts.

3.2. Very long transport time in the distributors which sometimes consist of a veritable maze of intermeshed water courses

The distribution systems can be explained by the history of transfers of water rights and the sales of user time for the various distributors.

Its efficiency is poor insofar as the water does not always run from one plot of land to the next but rather follows the order established by water rights.

A reorganizaton of the rotational working would be desirable, although this is generally hard to accept by the users who are accustomed to certain irrigation schedules, especially when this requires that the irrigation take place during night hours.

The distribution could be modernized by installing a permanent module for each sector which would be managed by the respective group of farmers.

To ensure a minimum of fairness in the distribution from a given module, it would seem that the safest method of distribution would be the one that delivers the module first to the last user of the distributor and then the outlets would be open from plot to plot until it reaches the first user (this already exists in certain systems).

Sometimes the distribution works on an alternating basis, so that the last user of the water schedule would become the first for the following irrigation and vice-versa.

3.3. Considerable irregularity of the modules delivered from one irrigation to another, owing at the same time to the abovementioned dysfunctions in the watersheds and the facilities, but also owing to the fact that the generally rustic dividing junctions do not always distribute the discharge that come to them in the same way

In reality, the problem is not so much the distribution of water among users but rather the distribution, when it does exist, of the water shortage in the fairest way possible to the users.

Providing the networks that suffer from a considerable flow disparity with proportional outlets seems quite attractive.

3.4. Considerable losses during the night when the farmers do not use night irrigation or put it into practice carelessly and when there are no tanks

Night irrigation on steep slopes is always difficult to manage. During the night water theft is most frequent, and it is at this time that it is most difficult to reestablish the normal discharge.

The installation of a tank with a capacity that corresponds to the night stock would be an invaluable aid for managing the traditional systems. Such programs already exist, but without a systematic modernization of equipment in an entire ZARI.

In the absence of a tank, there are several solutions available to distribute the night hours to all the users.

The night hours can be assigned on an alternating basis each year. This solution, which seems equitable, hardly modifies the night losses; it only obliges everyone to share the unfavorable conditions every other year.

The frequency of the water shift can also be modified, adopting a period based on an incomplete number of days. For example, instead of seven days, the period could be six days and a half, with one day of service interruption after two periods or two days every four periods for carrying out network maintenance. Thus, each farmer irrigates on an alternating basis during the day and at night during the whole year.

This arrangement can be refined even further by using a period of six days and three fourths, which would lead the users to set back their irrigation schedule six hours from one shift to another and to limit the service interruption for maintenance purposes to only one day every four weeks.

Such changes are hard to effect for they upset habits and interests that have been well established over a long time. But if these changes are thoroughly explained and if they are able to convince the users as a whole, it is possible to considerably improve irrigation conditions both fairly and safely.

3.5. Frequency of irrigation that is poorly suited or inappropriate for intensifying agricultural production systems

There are areas where the rotational turn takes place over a period of 15, 16, 17, or even 21 days, which virtually prohibits the farmers from choosing crops that demand a great deal of water, during dry seasons when requirements are very high.

It must be emphasized that the usable soil reserves are often poor; the Andean soils contain a high proportion of sand, to such an extent that certain irrigated soils are deemed unsuitable for irrigation in the international manuals. One frequently finds easily usable reserves on the order of 30 mm, which requires an irrigation frequency of about 7 days and not 14 or 21 days.

It is not an easy task to manage this problem for it is generally linked to a considerable disequilibrium between supply and demand.

So that each user can enjoy the privilege of a decent dosage of irrigation, taking into account the time consumed in transfers, the rotational turn should have to be prolonged, but the longer it is the less useful is the irrigation.

Moreover, the risk of having the irrigation withheld is undesirable, as it would mean that the crop under cultivation would have to wait one month or more without any artificial supply. The peasants can only then rely on a redeeming storm, which is paradoxically when one knows that an irrigation infrastructure does exist.

Shortening the frequency would imply significantly increasing the supply.

4. APPLICATION DYSFUNCTIONS AT THE SMALL PLOT LEVEL

4.1. Unsuitable module

- A module that is sometimes too weak (lower than 5 liters per second), which implies, on the one hand, very long irrigation times by hectare (up to 24 hours or more) and, on the other hand, application difficulties with respect to the arrangement of the furrows: the former sectors end up by being over-irrigated whereas the latter are under-irrigated.

- A module that is sometimes too strong (more than 20 liters per second), which produces erosion because there is no way to control the volume of water that keeps coming into the plot of land. Only by creating buffer tanks would it be possible for the irrigators to select a module that is suitable for their soil, work, and rotational system limitations.

4.2. A poorly performing irrigation arrangement

- In certain cases, the irrigator merely "throws" water over the upper part of the plot without ever directing it. The water follows the micro-thalwegs and ends up generally by going out of the plot until the irrigator returns.

- In other cases, the irrigator does not optimize the distribution of water: in accordance with the module he has at his disposal and his soil characteristics, he can take advantage of the length of the furrows and work time to correctly distribute the amount of water that reaches the totality of the plot.

It is obvious that the users do generally lack appropriate technical advice and the necessary technical know-how to improve the application.

To explain the water shortage that the irrigators complain about, there is also the fact that they all waste water in their fields.

The promotion of small experimental stations managed by the irrigator associations with tecnical support would allow for a better rationalization of the applications.

5. PRODUCTION SYSTEM FUNCTIONING PROBLEMS AT THE AGRICULTURAL DEVELOPMENT LEVEL

In addition to the eventual limitations linked to the shortage of water, there are a series of socioeconomic and technical problems that the farmers take into account when they choose their productions and implement agricultural techniques: lack of capital, credit, equipment, labor force; uncertain marketing outlets; lack or organization and market control.

Other factors lead to various difficulties: extreme parceling of the plots in certain irrigated areas, which makes the distribution all the more complex.

In such conditions, water usage proves to be extensive and is sometimes limited to irrigating natural prairies in order to maintain cattle whose main function will be economic: it will allow the farmer to rely on saving in an uncertain economic environment.

With this respect, it is quite curious to note that in Ecuador there is virtually no stocking of fodder neither among the peasants nor in the haciendas.

These aspects of farm management lie outside INERHI's traditional field of intervention.

Nevertheless, they must be taken into account as a part of the planning.

For example, it would be meaningless to rehabilitate the network in a ZARI which has been abandoned by its inhabitants who have gone to work in the city.

6. DIFFICULTIES EXPERIENCED BY THE IRRIGATING ORGANIZATIONS IN THEIR INNER AND EXTERNAL RELATIONSHIPS

We are at present witnessing a multiplication and atomization of the irrigators' associations which have very severe repercussions on the management of the irrigation systems as a whole: the functions of "water police" and works maintenance are endangered by recurrent conflicts.

External interventions, whether they are public or private, affect only limited groups and do not take into account all the users and systems as a whole.

These phenomena are quite serious, for the maintenance of traditional networks largely rests on a very strong social cohesiveness among the users.

If some of the groups find themselves affected by thefts of water, without any specific improvements, they will tend to refuse to participate in the collective works that aim at maintaining the canals. The conflicts could go so far as sabotaging the work then proceed to direct confrontations.

On the short and medium term, such an evolution could only culminate in an agricultural recession, the risk of running short of water leading the involved farmers to choose even more extensive production systems.

On the medium and long term, the major risk lies in the disappearance of certain systems because of a lack of regular maintenance.

In order to prevent such an evolution, it would seem appropriate to propose from outside some global rehabilitation projects on a ZARI as a whole and probably to reinforce the role played by the irrigator associations by organizing them in a federation so that they will become partners in the rehabilitation projects.

CONCLUSION

The franco-Ecuadorean team started first by identifying the many problems that are involved in, and explain to a large extent, the poor performances of traditional irrigation systems and then will carry out an in-depth survey of each problem area and attempt to provide data on the impact of the various dysfuncions that have been identified.

In a second phase, the team will set up a network improvement plan adapted to each type of ZARI, which should give maximum efficiency to the public financial assistance that is being provided for modernizing the Andean irrigation systems.

REFERENCES

- **AGUIRRE, R. A., 1987**. "Problemas de riego en Ecuador y posibles soluciones", Universidad Nacional de Loja, Loja, 295 p.

- **CISNEROS, I., 1987**. "Guanguilqui, el agua para los runas", in rev. DEBATE, nº 14, nov., Quito, pp 161-182.

- **DARREGERT, B.,1982**. "Estudio de los sistemas tradicionales de riego en Centro Loja-Ecuador", CATER, Loja, 46 p.

- **GRILLO, E. et al., 1988**. "Agua y agricultura andina, CAME, Lima, 122 p.

- **MONCAYO, L. B., 1987**. "Riego en Tungurahua", in rev. DEBATE, nº 14, nov., Quito, pp 141-150.

- **MOTHES, P., 1986**. "Pimampiro's canal: adaptation and infrastructure in northern Ecuador", Texas Univ., Mast. tes., 200 p.

- **MOTHES, P., 1987**. "La acequia del pueblo de Pimampiro: riego tradicional en el Norte del Ecuador", in rev. DEBATE, nº 14, nov., Quito, pp 69-86.

- **RUF, T., RIBADENEIRA, H., 1987**. "Selección de microcuencas representativas en la Sierra", ORSTOM-INERHI, Quito, doc. prov., 30 p, 60 an.

- **SNV, CESA, CAAP, 1988**. Seminario andino de riego parcelario, Riobamba, Ecuador, 4-9 de julio de 1988, SNV-CESA-CAAP, Quito, 133 p.

Com :
Seminario "Manejo del agua y adecuación de tecnologías en la región andina"
Concejo Nacional de Ciencias y Tecnologías
CONCYTEC, Cajamarca (Peru), 20-27/01/90.

PRINCIPALES PROBLEMAS DEL DIAGNOSTICO DE LAS REDES TRADICIONALES DE RIEGO EN LOS ANDES DEL ECUADOR

Aspectos agro-socio-económicos ligados al diagnóstico regional

por Thierry Ruf*, Patrick Le Goulven**, Hugo Ribadeneira***

* Agro-economista, Misión ORSTOM, Apartado 17.11.06596, Quito - Ecuador
** Hidrólogo, Misión ORSTOM, Apartado 17.11.06596, Quito - Ecuador
*** Director del Plan Nacional de Riego, INERHI, Juan Larrea 534, Quito - Ecuador

Las redes de riego « tradicionales » o « antiguas » plantean problemas específicos en el diagnóstico de su funcionamiento. Generalmente, los responsables de las entidades técnicas encargadas de aplicar políticas nacionales de riego consideran a las redes tradicionales como vestigios del pasado que no pueden ser objeto de mejoras; a primera vista, se revelan complejos, « anárquicos », sin responder a los normas « lógicas » usuales de las redes modernas.

Los constructores de obras modernas manejan la parte conceptual de las infraestructuras y la ingeniería para implantarlas; a menudo tienen grandes dificultades al poner en funcionamiento las redes ya que el uso que hacen del agua los beneficiarios difiere de los modelos previstos en los estudios de factibilidad. En el caso de las redes antiguas, no sólo la distribución y la utilización son poco claras, sino que la movilización, el transporte y la repartición entre los diversos grupos de usuarios son siempre difíciles de entender.

Eso explica que rara vez las instituciones nacionales de riego emprenden programas coherentes de rehabilitación de redes tradicionales por falta de métodos de diagnóstico y probablemente también por falta de voluntad política (la construcción de un canal moderno puede aportar más notoriedad que la reparación de un canal tradicional).

Los elementos expuestos a continuación son el resultado de la experiencia adquirida por el proyecto INERHI-ORSTOM en el Ecuador: el estudio del funcionamiento de las redes tradicionales en el Ecuador es realizado por el Departamento del Plan Nacional de Riego del INERHI, dirigido por Hugo Ribadeneira y dos Departamentos de ORSTOM, el de Aguas Continentales con Patrick Le Goulven, hidrólogo y Director Internacional del Proyecto, y el Departamento Sociedad, Urbanización y Desarrollo al que pertenece Thierry Ruf como agro-economista. Jean-Luc Sabatier (IRAT-CIRAD) ha apoyado al Proyecto mediante visitas al Ecuador y ha aportado gran cantidad de elementos esclarecedores sobre el tema.

1. ¿QUE ES UNA RED DE RIEGO ANTIGUA?

Definir el tema de estudio muestra la dificultad de estudiarlo. La « red de riego » es un conjunto de bocatomas, canales de transporte y distribución, perímetros agrícolas que forman un sistema complejo « artificializado », en cuyo funcionamiento intervienen (esquema 1):

1. la movilización de los recursos hídricos;
2. la transferencia hacia lugares de almacenamiento y de utilización;
3. la repartición de las dotaciones entre varios espacios agrarios;
4. la distribución interna entre usuarios en cada uno de esos espacios;
5. la aplicación del agua en las parcelas;
6. la evolución de los sistemas de producción con el riego;
7. el mantenimiento de todo el conjunto.

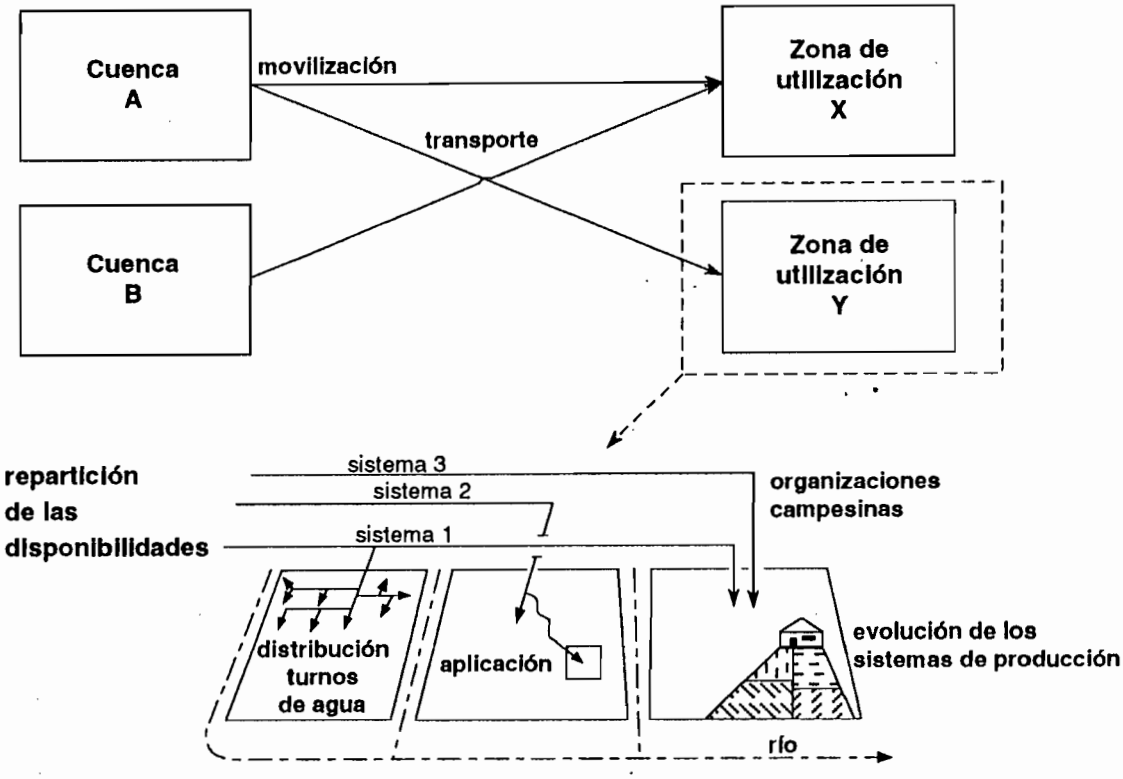
El diagnóstico debe entonces integrar todos esos aspectos que son analizados a varios niveles:

1. la unidad de oferta del agua: la cuenca vertiente;
2. la unidad de demanda del agua: espacio geográfico muy variable según las obras que se han realizado;
3. el perímetro: espacio agrario básico de la red, caracterizado por el medio natural (piso bioclimático, suelos) y el medio socio económico (sociedad y agricultura);
4. la unidad de producción agrícola, estructura básica de las decisiones;
5. los campos y parcelas cultivados y la crianza en la unidad de producción.

Recurre por lo tanto a varias disciplinas — entre ellas la hidrología, la agronomía y la socio-economía — que deben trabajar en estrecha coordinación.

En el caso de las redes de riego « tradicionales » o « antiguas », las infraestructuras técnicas son rústicas, en oposición a los canales modernos de concreto, pero tal rusticidad no es la única característica: el sistema, complejo, tiene una historia que ha marcado a los diferentes niveles de funcionamiento actual. El diagnóstico debe tomar en cuenta las evoluciones, los cambios, las dinámicas.

Esquema 1
Localización de los problemas del diagnóstico



La noción de antigüedad es subjetiva. En el caso de las redes andinas ecuatorianas, la referencia no está relacionada con una época dada, sino que corresponde más bien a una técnica de construcción de canales que desvía el curso torrencial de los ríos en largas distancias y moviliza una fuerza de tra-bajo considerable bajo variadas formas sociales. Así, una red « tradicional » puede tener varios siglos de existencia en algunos casos, y en otros solamente datar de la primera mitad del siglo XX.

2. ¿EN DONDE SE ENCUENTRAN LAS REDES DE RIEGO ANTIGUAS?

Pregunta simple y respuesta difícil. En efecto, las fuentes de información son a menudo heterogéneas e incompletas. En el Ecuador, el INERHI disponía de un inventario de las bocatomas sin conocer siempre el destino del agua; por otro lado, el Programa Nacional de Regionalización Agraria (PRONAREG) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) conocía las grandes zonas de influencia del riego pero sin ninguna precisión sobre las redes. Ahora bien, el conocimiento riguroso, actualizado, de la geografía del riego es fundamental: la rehabilitación aislada de un canal que pertenece a un sistema regional más amplio puede desembocar en una catástrofe, ya que las redes son interdependientes (por ejemplo por el impacto aguas abajo de una bocatoma en un río de caudal variable y limitado).

El método del inventario fue creado no en base a normas internacionales para la organización de redes sino a partir del análisis de los primeros casos observados en los Andes (zonas de Pifo y Urcuquí). Cada contraparte del proyecto ha contribuido a la elaboración del método (P. Le Goulven, hidrólogo, E. Dattée, topógrafo informático, W. Carrera, ingeniero civil, M. Montenegro, agrónoma, E. Gavilanes, foto-intérprete, y T. Ruf, agro-economista). Dicho método ha evolucionado por cierto en función de los nuevos conocimientos adquiridos en las zonas piloto, y a medida que avanzaba la constitución de la base de datos computarizada. Para resumir este trabajo en el que

intervienen una decena de personas del INERHI, presentamos aquí las correspondientes etapas sucesivas:

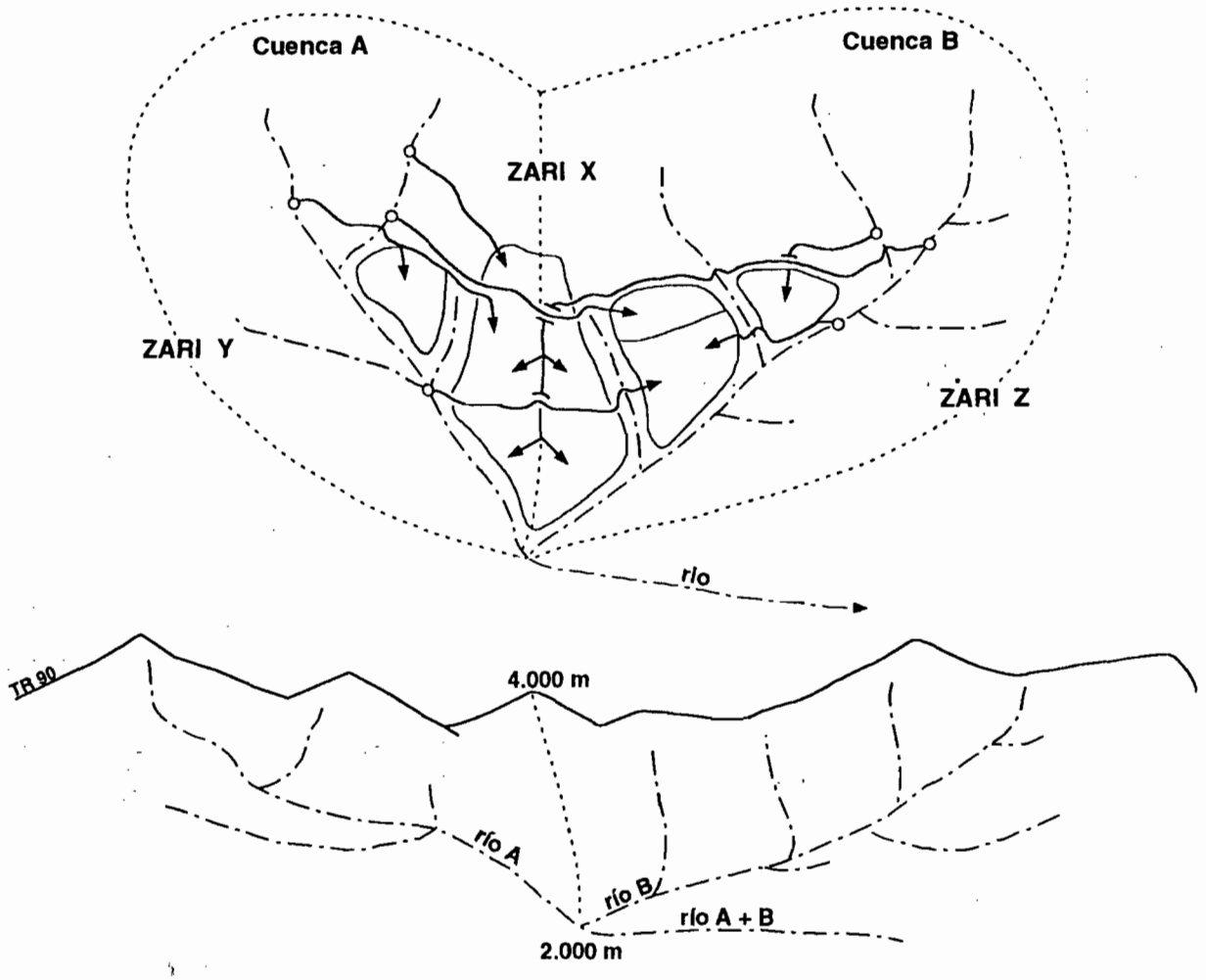
- síntesis de las informaciones existentes y creación del primer mapa de trabajo a escala 1:50.000;
- mejoramiento del mapa mediante reinterpretación de las fotografías áreas del PRONAREG (MAG);
- trabajos campo para confirmación y actualización de datos;
- estructuración de los datos descriptivos con miras a su ingreso a la base de datos (D BASE III);
- dibujo del mapa mejorado y actualizado;
- nueva campaña de trabajos de campo para realizar una encuesta rápida y sistemática sobre los sistemas técnicos y sociales de repartición y de utilización del agua y sobre los sistemas actuales de producción;
- ingreso de los datos a la base;
- dibujo de la versión final del mapa de inventario con una leyenda, que presenta las informaciones completas sobre cada sistema de riego;
- elaboración de una síntesis regional (panel de control del riego por gran cuenca hidrográfica).

Este método, abordado aquí muy rápidamente, se basa en dos aspectos originales ligados a la característica montañosa de las redes de riego.

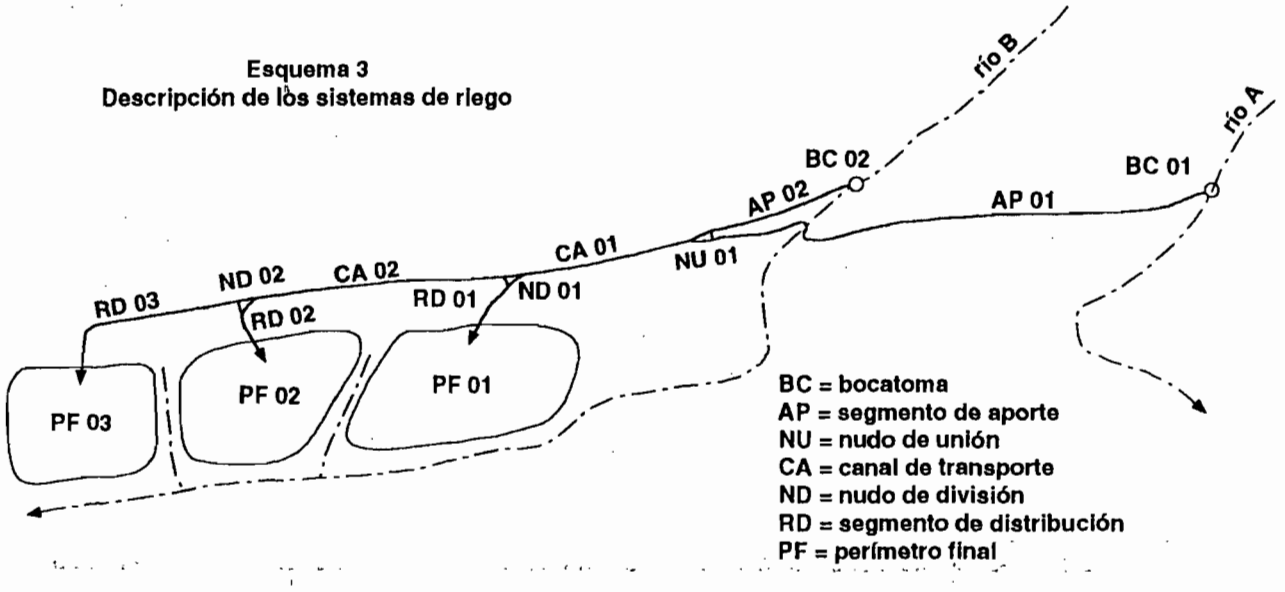
Por una parte, hay una doble estructuración espacial que corresponde a las unidades de oferta y de demanda del agua. Un sistema de riego está relacionado con la cuenca vertiente del río del que toma el agua a través de la bocatoma.
Es también parte integrante del espacio en donde se consume el agua extraída por múltiples sistemas en la misma cuenca vertiente o en otras.
Ese espacio de la demanda, llamado « Zona de análisis y recomendaciones para el riego » (ZARI), puede ser definido como « la unidad geográfica que contiene dentro de sus límites las bocatomas, los canales y los perímetros correspondientes », o incluso « la unidad espacial de movilización, transporte, repartición y utilización del agua de riego ».
En los casos simples, la ZARI corresponde al interfluvio cuyo abastecimiento de agua proviene de dos cuencas a través de una red enmarañada de canales (esquema 2).

Por otro lado, existe el principio de descripción de las redes complejas afinado por P. Le Goulven. Las redes están definidas por tomas, segmentos, nudos y perímetros. Se evita la terminología clásica de canal principal, secundario, terciario, etc.
Se emplean los términos de « segmento de aporte » que une una bocatoma a un nudo de división o de unión, de « segmento de transporte » que une por ejemplo un nudo de unión a un nudo de división, y de « segmento de distribución » que une un nudo de división a un perímetro final (esquema 3).
Esto permite codificar la infraestructura con bases lógicas y reales.

Esquema 2
Noción de micro-cuencas y ZARI



Esquema 3
Descripción de los sistemas de riego



3. ¿CUALES SON LOS PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS REDES DE RIEGO ANTIGUAS?

Vamos a dividir la pregunta desde el ángulo de los 7 niveles de funcionamiento señalados en la definición inicial.

3.1. Los problemas de movilización del agua

Corresponden a los trabajos de hidrología sobre las cuencas vertientes orientados a conocer, mes por mes, el recurso disponible y confrontarlo con la demanda estimada según tres enfoques:

- la demanda climática general (ETP-P);
- la demanda legal de las redes (caudales concedidos);
- la demanda teórica de los perímetros en función de los sistemas de cultivo existentes o de sistemas de cultivo alternativos.

El agro-economista debe proporcionar modelos tipo de cultivo en base a encuestas sobre los sistemas de producción. Su tarea se vuelve compleja por la variedad de sistemas agrícolas practicados en los Andes, ligada a la diversidad tanto del medio físico como como de las situaciones socio-económicas.

La estructura compleja de las redes de riego es testimonio de los esfuerzos de búsqueda de recursos hídricos por parte de las diversas partes involucradas a lo largo de la historia. A pesar de que el Estado nacionalizó las aguas en 1972, en el campo, los grupos de usuarios conservan en su mente no sólo la idea propiedad del canal que heredaron, sino sobre todo sus derechos sobre un río en un punto determinado, es decir la apropiación de un recurso hídrico proveniente del páramo, considerada como inalienable ser ancestral. Así, la expansión de la propiedad colonial en los siglos XVI y XVII abarcó tanto las zonas bajas de clima temperado o subtropical con estaciones secas bien marcadas, como las grandes extensiones de alta montaña a fin de adjudicarse los caudales disponibles y regar las tierras bajas. Los conflictos surgidos en la utilización de los recursos disponibles en la red existente se resolvieron con la construcción de nuevos canales, según 3 esquemas (esquema 4):

- captación de una fuente no explotada en una cuenca vecina;
- captación aguas abajo de los sistemas existentes si el recurso se incrementa con aportes de otros afluentes;
- captación aguas arriba arriba de los sistemas existentes, lo que podría tener consecuencias a nivel de dichos sistemas y generar un conflicto de movilización del agua a nivel de las tomas.

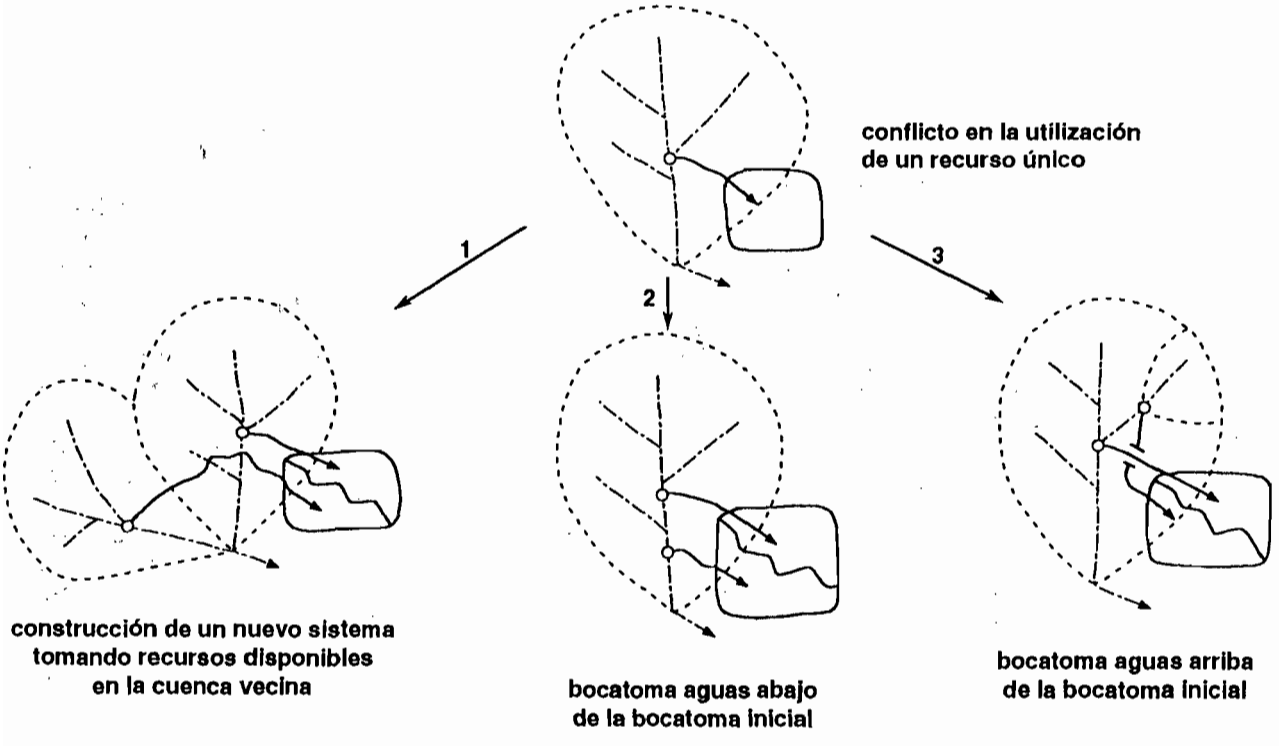
3.2. Los problemas de transporte

El transporte del agua en canales de tierra es frecuentemente objeto de las principales críticas a las redes tradicionales: su eficiencia sería baja. En consecuencia, al considerarse una rehabilitación, esta apuntará al revestimiento de los canales con hormigón u otro material, cuyo costo es muy elevado. Los primeros elementos del diagnóstico de P. Le Goulven cuestionan ciertas ideas sobre la eficacia de los canales de tierra en el Norte de los Andes ecuatorianos. Ocurre que se encuentran tasas de eficiencia de transporte superiores al 100 %. Al parecer, aportes laterales compensan las pérdidas lineares. En esas condiciones el revestimiento del canal no significaría mayor ventaja. Por cierto, observaciones realizadas en diferentes sistemas muestran que las pérdidas son ocasionadas sobre todo por fugas puntuales ligadas al estado de la infraestructura y a veces a las infiltraciones en un segmento limitado de canal.

En algunas regiones, el problema esencial de transporte del agua reside en las numerosas interrupciones de servicio ligadas a los derrumbes provenientes de sectores que dominan el canal, o incluso a hundimiento del canal mismo. Este fenómeno tiene repercusiones graves en la utilización del agua. Es uno de los elementos que componen el « riesgo de período sin agua » avaluado por los campesinos para tomar decisiones. En comparación con el riesgo

pluviométrico en cultivo de secano, el riesgo de falta de agua de riego en un momento dado es el resultado a la vez de eventos climáticos en la zona de producción (cuenca vertiente alta), de fenómenos agresivos en los canales de transporte, y de decisiones humanas que ponen en peligro las transferencias normales: ausencia de regulación en caso de incremento súbito del caudal del río, sobrecarga en el canal que termina por ceder, o incluso cultivo de terrenos empinados por encima de los canales con altos riesgos erosivos. Este último fenómeno se debe a la expansión de la frontera agrícola hacia zonas altas y terrenos marginales, ligada a la presión demográfica, la reforma agraria, marginación de los antiguos obreros agrícolas de las haciendas o también a la repartición de las tierras comunales. Sin embargo, la principal causa de las interrupciones del servicio debe ser relacionada con los problemas de organización del mantenimiento de las redes de riego (ver punto 3.7).

Esquema 4
Evolución de un conflicto y creación de nuevos sistemas



3.3 El problema de la equidad en la repartición de los recursos captados

¿Es equitativa la repartición del agua en una ZARI? La pregunta merece ser planteada, conociendo los siguientes elementos:

- la construcción de la mayor parte de las redes fue decidida, hata inicios del siglo XX, por los grandes terratenientes, movilizando la mano de obra campesina a bajo costo;
- la restructuración de la propiedad agraraia de los años 1950-1980 ha mantenido las grandes propiedades en las tierras bajas y regadas, relegando a los campesinos a las pendientes difíciles de cultivar;
- la nacionalización de las aguas por parte del Estado y su administración por parte del INERHI desde 1972 debía resolver los numerosos conflictos que estallaban con violencia; el sistema de otorgadas por el INERHI por 10 años a los usuarios que tenían que hacer obligatoriamente el pedido correspondiente, debía permitir implantar una cierta equidad en las dotaciones.

Tomando como referencia la situación de la cuenca del Mira en el Norte del país, las dotaciones expresadas por los caudales ficticios continuos (litros/segundo/hectárea) revelan grandes variaciones que van de 0,1 a 2 l/s/ha. Este indicador debe por supuesto analizarse en función del piso bioclimático. Es entonces que el juicio sobre la equidad de la dotación general entre perímetros tiene un sentido (cuadro 1).

pisos climáticos	dotación baja	dotación mediana	dotación alta
piso frío 2.700 - 3.300 m	1.500 ha 0,1 l/s/ha	2.200 ha 0,25 l/s/ha	2.100 ha 0,4 l/s/ha
piso templado 2.200 - 2.700 m	5.000 ha 0,2 l/s/ha	5.200 ha 0,45 l/s/ha	3.800 ha 0,7 l/s/ha
piso caliente 1.500 - 2.200 m	3.000 ha 0,3 l/s/ha	2.900 ha 0,6 l/s/ha	3 100 ha 1,0 l/s/ha

Cuadro 1
Caudales ficticios continuos observados en 200 perímetros de la cuenca del Mira (caudal medido/superficie real regada)

En promedio, en cada piso, el factor de relación entre las dotaciones va de 1 a 3. Este primer análisis tendrá que ser profundizado por el cálculo de los balances hídricos de P. Le Goulven.
La desigualdad en dotaciones puede explicarse por el hecho de que algunos usuarios buscan sobredotar (en las concesiones) a su sector en una proporción que es aún razonable para asegurar el abastecimiento en caso de una fuerte baja del caudal disponible.
Por otro lado, una sobredotación permite un cómodo margen de maniobra: se pueden practicar riegos aproximados sin esfuerzo de acondicionamiento en las parcelas, con un mínimo de trabajo, es decir a un costo menor.
La desigualdad en la dotación de agua no corresponde exactamente a la desigualdad en la propiedad de la tierra, actualmente primordial en los problemas agrarios del país. Existen haciendas con dotaciones bajas y zonas campesinas aparentemente bien abastecidas.
Por cierto, los conflictos vinculados al agua no oponen solamente a grupos campesinos con los hacendados. A menudo se ve a estos últimos pelear entre ellos por el agua, y los innumerables juicios por « despojo de aguas » que existen desde el siglo XVII son testimonio de una gran tradición en esa materia.
Algunos sectores campesinos han logrado en apropiarse de agua para riego en cantidades globalmente satisfactorias, a veces después de largas y difíciles luchas como en el caso de Urcuquí.

De manera general, el proceso histórico de constitución de redes de riego, a falta de una autoridad política y técnica (hasta 1972) que coordine y armonice la extensión de las redes, ha conducido a esas desigualdades — sectores sin agua, sectores con bajos aportes, sectores con medianas dotaciones y sectores bien abastecidos — que el INERHI apenas ha podido modificar.
En realidad, la acción del Estado se ha concentrado en la construcción de redes modernas que se añaden a las antiguas. Es el último eslabón de una larga cadena de sistemas sobrepuestos y a veces rivales en muchos aspectos.

3.4. El problema de la repartición del agua entre campesinos de un mismo perímetro

En el Ecuador, existen al parecer que existen todos los casos. Las variables del turno de agua tienen todos los valores posibles según los sitios: presencia o ausencia de turno de agua organizado, módulos de distribución que van de 1 a 50 litros por segundo, tiempo de riego por hectárea de 2 a 48 horas, frecuencia de riego de 3 a 30 días, repartición con horarios fijos o variables, etc. Aquí también el elemento histórico es fundamental.

El turno de agua es la herencia complejizada de las opciones de las generaciones anteriores de usuarios, basado en las necesidades de la época de su concepción y en reglas sociales vigentes en aquel tiempo. Ahora bien, las condiciones del medio socio-económico y las del medio ambiente han cambiado, al igual que los sistemas de producción agrícola. En ciertos casos, el turno de agua se revela inadecuado.
A veces ha sido modificado para responder a las necesidades expresadas por un grupo de campesinos capaces de imponer a los demás tales cambios. Es el caso de Pimampiro, en donde se adoptó un turno de agua a frecuencia muy corta, de 3,5 días, con el fin de desarrollar cultivos de hortalizas especulativos (turno de agua organizado con el apoyo de un ingeniero del INERHI al momento de la concesión oficial). En otros sitios en cambio, reina la inercia, las diferencias de intereses paralizan toda voluntad de cambio o simplemente la complejidad del problema impide a los sucesivos dirigentes de las Juntas de Agua plantear el problema de la adaptación del turno de agua.

La falta de turno de agua acarrea una desigualdad de repartición entre los usuarios de aguas arriba y aguas abajo. Si el recurso es excedentario, el problema no es mayor, ya que el agua llega siempre a los últimos usuarios, pero si se reduce o el número de usuarios crece al igual que la superficie cultivada en estaciones secas, se transforma en un centro de preocupación.

En el caso de las redes llamadas « comunales », generalmente muy antiguas, es la presión sobre el recurso agua la que lleva a los usuarios a organizar un turno de agua. Según lo que conocemos, el primer turno de agua en el Ecuador fue organizado en 1661 en el valle de Ambuquí (cuenca del Mira) luego de un conflicto entre indígenas y colonos, en el que estos últimos trataron de despojar a los primeros de sus derechos de agua. La justicia colonial estableció los derechos de cada uno a través de un turno de agua semanal.
Sin embargo, este caso es excepcional, ligado a un tipo de cultivo como oasis (huertos de coca en donde se cultivaba algodón y legumbres). En el conjunto de los Andes, el período de organización del turno de agua se sitúa entre finales del siglo XIX y principios del XX. Es entonces un fenómeno reciente que corresponde a la fuerte presión demográfica y a la evolución de la propiedad agrícola. La región más precoz en la apropiación campesina de la tierra y en la organización de asociaciones de usuarios de riego es la provincia de Tungurahua, ubicada 150 km al Sur de Quito. Esta región es hoy en día la más densamente poblada en los Andes con más de 500 habitantes por kilómetro cuadrado agrícola.

En el caso de redes llamadas de « aguas compradas », las asociaciones se constituyeron al momento de la construcción de los canales. Sus miembros compraron acciones que les daban un derecho preciso e inalienable. La repartición del agua entre los campesinos se hizo en base a una norma propuesta para todos: un módulo, un tiempo de riego por hectárea y una frecuencia (las tres cosas relacionadas). La elección correspondía a las necesidades de los sistemas de producción de esa época. Se trataba principalmente de asegurar la producción alimenticia obtenida a través de cultivos de secano (ciclos de octubre-abril).
Es solamente en la segunda mitad del siglo XX cuando los sistemas evolucionan hacia una utilización permanente de la tierra, con desaparición del barbecho, ya sea mediante la adopción de sistemas de ganadería en pastos naturales o cultivados, o por intensificación de los cultivos anuales que llevan a modelos de cultivos continuos (dos cultivos al año o tres cultivos en dos años). La presión sobre el agua aumentó entonces especialmente en la estación seca. Las frecuencias largas suficientes para completar el agua de lluvia en cultivos de secano constituyen un freno para la intensificación de los cultivos anuales en verano. Los módulos demasiado bajos no permiten regar adecuadamente los pastos. Los aguateros deben hacer frente a desórdenes y conflictos que tratan de arbitrar día a día. El problema se agrava con el incremento del número de usuarios.
Así, en la provincia de Tungurahua, las asociaciones tienen a menudo más de 1.000 socios repartidos en diferentes parroquias que enfrentan conflictos de todo tipo . La velocidad de la microparcelación de la tierra y de los derechos de agua explica parte de las dificultades de las Juntas de Agua: el número de parcelas unitarias se duplica cada 15 años. El turno de agua se controla con cronómetro, con una precisión de medio minuto.

En esas condiciones, ¿qué sucederá con tales sistemas en el año 2000?

Queda por analizar si la repartición del agua es equitativa, es decir proporcional a las superficies cultivadas.

Se puede dudar de ello en el caso de los sistemas de « aguas compradas », en la medida en que los primeros usuarios adquirieron acciones según sus posibilidades financieras. En las redes comunales, existe también una cierta desigualdad, aunque las diferencias son limitadas: el factor de relación entre las dotaciones va de 1 a 3. Tales diferencias se explican a perfectamente dados los objetivos iniciales de los usuarios:

- si querían simplemente asegurar una aporte de complemento a los cultivos de secano, tomaban sólo el mínimo de horas;
- si, por el contrario, tenían como estrategia cultivar en estación seca, aumentaban la necesidad justificándola con la existencia de una familia numerosa y de hijos capaces de realizar con sus padres la intensificación de los cultivos.

Una vez registrados, los derechos fueron transmitidos a los herederos conjuntamente con los terrenos, y cuestionarlos, si bien es posible, pondría en peligro el frágil consenso existente. Cabe anotar que la doble necesidad de riego, complemento de las lluvias en invierno, y necesidades de las plantas en verano, nunca dio lugar a una alternancia del turno de agua adaptada a cada situación.

Finalmente, aunque no se dispone de datos precisos sobre el tema, hay que señalar la baja eficiencia de la red de distribución de tipo descendente en la mayor parte de los casos, con tiempos de transporte largos y pérdidas importantes entre parcelas. La distribución ascendente casi no existe, a pesar de permitir un manejo mucho mejor de las transferencias de una parcela a la siguiente (tiempo de riego completo). Las pérdidas de agua son considerables cuando no existen reservorios para almacenarla durante la noche.

3.5. Los problemas de la aplicación en la parcela

Los dispositivos de riego son generalmente gravitarios. Solo algunas haciendas modernas han adoptado el riego por aspersión con regadores de gran tamaño.

Los dispositivos gravitarios van del más simple al más elaborado: vertimiento del agua en la parcela sin ninguna estructura para dispersarla, o creación de surcos en zig-zag en los campos de fuerte pendiente. Los suelos muy arenosos tienen reservas útiles reducidas (30-50 mm por metro) y una gran porosidad, que dificultan el riego. La dosis llevada por los campesinos es a menudo muy superior a la capacidad de almacenamiento del suelo y de aprovechamiento de los cultivos. A falta de apoyo técnico en investigación-desarrollo, los campesinos optan por un dispositivo más o menos complejo, basado en surcos agrupados cuya longitud es fijada en función del avance del agua y de las limitaciones de la parcela. Los primeros resultados de las observaciones, con seguimiento diario, efectuadas en una decena de parcelas, muestran tasas de eficiencia en la aplicación del orden del 40 %. Una investigación detallada sobre el tema está prevista para 1990-1991.

3.6. La evolución de los sistemas de producción y la productividad agrícola actual

Como ejemplo, presentamos la síntesis de los cambios operados en el piso templado de la cuenca del Mira. Una exposición sistemática de todos los casos sería larga y fastidiosa. Por cierto, este piso es el más representado en los sistemas de riego de la cuenca, con más de 12.000 ha

Vamos a analizar sucesivamente la evolución desde los años cincuentas de los cuatro grandes tipos de propiedad : haciendas, fincas, pequeñas explotaciones campesinas y minifundios. Hay por supuesto excepciones en estas trayectorias generales.

Las **haciendas** (más de 50 ha) se dedicaban antiguamente al cultivo de cereales a gran escala utilizando gran cantidad de mano de obra conformada básicamente por los llamados « huasipungueros ». Han evolucionado hacia sistemas de ganadería extensiva en pastos no siempre regados en su totalidad cuando las disponibilidades en agua no han cambiado. El número de unidades animales por hectárea forrajera varía de 0,5 a 1.

La explotación funciona con poca mano de obra (8 a 15 ha por trabajador). La productividad, expresada en litros de leche producidos por hectárea forrajera, es baja: 1.500 a 3.000. El riego no determinó un incremento de la productividad agrícola. Sirve para mantener un número reducido de animales a lo largo del año a bajo costo y sin movilizar mano de obra.
Este modelo proporciona un producto bruto de 300 a 400 dólares por hectárea frente a costos directos de 100 dólares por hectárea.

Las **fincas** (5-50 ha) han establecido un sistema de policultivo-ganadería intensiva, basado en una rotación agrícola de 6 años en la que la alfalfa alterna con 3 años de cultivos anuales.
La asociación agricultura-ganadería es importante: en el caso del ganado bovino, las funciones de tracción animal, de fertilización y de ahorro son primordiales. El sistema funciona con una fuerza de trabajo mixta, familiar y exterior, claramente más importante que la de las haciendas (3 a 5 ha por trabajador).
La combinación de los medios disponibles, la elevada tasa de uso del suelo, la adecuada dotación de agua y el manejo eficiente de su aplicación, la búsqueda de semillas mejoradas, la fertilización razonada, orgánica y mineral, el control fitosanitario, permiten alcanzar un alto número de unidades animales por hectárea forrajera (más de 2) y por lo tanto una productividad muy superior al promedio de las haciendas: 5.000 a 6.000 litros de leche por hectárea forrajera.
El producto bruto del modelo se acerca a 1.000 dólares por hectárea con costos directos elevados de 400 dólares por hectárea.

Las **pequeñas explotaciones campesinas** (1-5 ha) cuya estrategia es asegurar una base alimentaria familiar, tienen también necesidades monetarias para cubrir los costos de explotación y los gastos habituales de la familia.
Al cultivo en secano que garantiza la alimentación — el maíz en este piso templado — se han añadido cultivos especulativos entre los cuales el primer lugar es ocupado por el fréjol cuyas ganancias son capitalizadas en una micro-ganadería compuesta de una o varias cabezas si la explotación dispone de suficiente terreno.
El sistema se asemeja al anterior, pero moviliza más fuerza de trabajo (1 ha por trabajador) de origen familiar, reforzada a veces con jornaleros en períodos de mayor trabajo. A pesar de ello, por falta de liquidez y crédito para los cultivos, la combinación de los medios de producción es menos eficiente que la de las fincas.
Las semillas son recogidas en las cosechas anteriores, la fertilización es limitada, la falta de medios de trabajo es general. Los que obtienen mayores logros son aquellos que cuentan en la familia con una actividad exterior remunerada, la cual proporciona la liquidez necesaria para la explotación. Cuando existe ganadería, es intensiva, y está basada en el manejo de subproductos de los cultivos, pero la producción lechera no es comercializada regularmente por falta de una estructura adecuada ya sea cooperativa o privada.
El producto bruto llega a 800 dólares por hectárea, de los cuales 300 corresponden al consumo familiar directo. Los costos directos de 50 dólares por hectárea son bajos pues lo esencial de mano de obra es familiar y no remunerada.

Los **minifundios** (menos de 1 ha) se encuentran por debajo del umbral de autonomía alimenticia en las condiciones del Mira.
Para subsistir, las familias deben buscar ingresos exteriores como jornaleros, trabajando en las otras categorías de explotaciones.
La productividad agrícola es muy baja y no monetarizada.

La situación general de las explotaciones agrícolas del piso templado muestra cómo el riego ha permitido evoluciones que no van siempre en el sentido de un incremento notable de la producción agrícola. Sólo las fincas y las pequeñas explotaciones campesinas han elevado considerablemente su productividad, a pesar de las dificultades económicas y de la falta de mercados organizados y de crédito.
La gran fragilidad de esta evolución proviene del carácter especulativo del cultivo de fréjol vendido a un alto precio en el mercado colombiano en razón de tasas de cambio favorable para los campesinos ecuatorianos. Basta con que se invierta esa situación, para que tal evolución sea cuestionada.
La ausencia de cultivo de renta, base de negociación entre los productores y el Estado, y la política de crédito limitan la productividad que podrían alcanzar estos sistemas y la capitalización bajo la forma de herramientas, construcciones, etc.

CONCLUSIONES

Los problemas, cuya amplitud es considerable, son de todo tipo e interdependientes. Su solución implica una intensa inversión humana e intelectual. No hacer nada desembocaría en una grave crisis de numerosos sistemas agrarios. Entre las vías de investigación y acción, se pueden citar los siguientes puntos que no constituyen una lista exhaustiva de tareas sino simplemente ejes para una intervención profundizada:

1. Movilización del agua

- referencias actualizadas sobre las disponibilidades de cada cuenca;
- estructura de concertación por gran cuenca hidrográfica;
- programa de regulación de las bocatomas;

...

2. Transporte del agua

- protección de los canales en los puntos sensibles;
- revestimiento de sectores con filtraciones;

...

3. Repartición de las dotaciones

- revisión de algunas dotaciones;
- reestructuración de sectores regados conjuntamente con las asociaciones de usuarios;
- instalación de obras de repartición proporcional para preservar la equidad de las dotaciones;

...

4. Organización de los turnos de agua

- diagnóstico caso por caso del funcionamiento del turno de agua y propuestas de adaptación en concertación con las asociaciones de usuarios;
- establecimiento de reservorios de almacenamiento nocturno y de regulación;

...

5. Aplicación del agua en la parcela

- instalación de pequeños dispositivos experimentales con el fin de determinar los parámetros capaces de optimizar la dispersión del agua en los principales cultivos;

...

6. Evolución de los sistemas de producción y de la productividad

- organización de las estructuras de abastecimiento y de crédito;
- organización de las estructuras de comercialización y transformación de los productos;
- capacitación de los campesinos;

...

7. Organizaciones campesinas

- refuerzo del poder de las juntas de agua, particularmente en las funciones de « policía del agua » y de organización del mantenimiento;
- intervenciones con la participación de las partes involucradas en una ZARI (acciones concertadas y coherentes en favor de todos los grupos);

...

La falta de agua tiene efectos variables según las categorías de explotación. Frena las estrategias aplicadas impidiendo por ejemplo el cultivo de todos los terrenos en estación seca. Un aumento de las dotaciones en favor de las categorías extremas tendría consecuencias macroeconómicas poco importantes en las condiciones de esta cuenca hidrográfica y en este piso climático.

3.7. El problema de las organizaciones sociales y del mantenimiento de las redes de riego

Desde la promulgación de la Ley de Aguas en 1972, el INERHI administra el agua otorgando concesiones a los usuarios o grupos de usuarios organizados que hacen el pedido correspondiente.
Si bien, en la primera década de aplicación de la ley, el sistema de concesiones permitió a los usuarios registrar oficialmente antiguos derechos, la evolución reciente de los conflictos sobre agua y de las organizaciones campesinas plantea nuevos problemas : existe una atomización y una multiplicación de las asociaciones de usuarios, con aumento de las tensiones entre grupos perteneciente un mismo sistema de riego.
Este fenómeno puede agudizarse por la acción de instituciones públicas o de organizaciones no gubernamentales, que intervienen en el desarrollo agrícola con un marcado clientelismo. El incremento de las demandas de agua en las redes antiguas determina que los turnos de agua no sean respetados cada vez con mayor frecuencia. Nadie cumple realmente con la función de « policía del agua ».
En algunos casos, el mantenimiento ya no está garantizado adecuada y regularmente, por falta de consenso entre las partes involucradas para organizar las mingas y también por falta de participantes. Los campesinos tienden a enviar a un jornalero en su lugar , prefiriendo dedicar ese tiempo de trabajo colectivo a sus propias actividades.
Ni aún los incidentes graves con interrupción del servicio determinan una pronta movilización de los usuarios.
A mediano plazo, las consecuencias pueden ir hasta la desaparición de la red de riego con efectos económicos y sociales graves.

ANEXO

METODOS UTILIZADOS DURANTE EL DIAGNOSTICO DE CAMPO
(aspectos agro-socio-económicos)

Inventario de las redes y descripción de los perímetros

Síntesis de las informaciones existentes, foto-interpretación, cartografía inicial, verificación sistemática de todas las infraestructuras, bocatomas, segmentos, nudos, delimitación de los perímetros y caracterización agrícola y socio-económica, mapa de síntesis detallado a escala 1:25.000 (producto científico entregado a los grupos de usuarios).

Análisis de la repartición del agua (dotaciones por perímetros y turnos de agua)

Encuesta con muestreo de parcelas escogidas en fotografías aéreas o en listas de parcelas; información sobre los orígenes de la eventual falta de agua y sobre sus consecuencias.

Análisis de la aplicación (en colaboración con la hidrología)

Implantación de un seguimiento cuotidiano de parcelas de referencia manejadas por los productores según sus propias decisiones: medición de la lluvia, de las entradas y salidas superficiales de agua, registro de las etapas de desarrollo de la vegetación, de su estado, de las operaciones de cultivo, con trabajo y costos; medida o constatación de la producción final y de los frutos de su venta; análisis de suelos, densidad de la vegetación.

Evolución de los sistemas de producción

Encuesta detallada en una serie de explotaciones agrícolas que representen la diversidad de la zona, con información sobre la familia, la tenencia de la tierra, la maquinaria, las sucesiones de cultivos en cada parcela identificada en fotografías aéreas, los itinerarios técnicos tipo, los problemas ligados al riego, a las semillas, a la fertilización, a los controles fitosanitarios y a la liquidez.

Organizaciones campesinas

Contactos regulares y conversaciones con las Juntas de Agua que recibirán el diagnóstico al final del proyecto.

ELEMENTOS BIBLIOGRAFICOS
(trabajos del equipo INERHI-ORSTOM)

- **LE GOULVEN, P.; RUF, T.; RIBADENEIRA, H.; 1987.**
  Méthodologie générale et détails des opérations du projet ORSTOM-INERHI, INERHI/ORSTOM, Quito, 91 p.

- **RUF, T.; LE GOULVEN, P.; 1987.**
  L'exploitation des inventaires réalisés en Équateur pour une recherche sur les fonctionnements de l'irrigation, in *Bull.de liaison n°12*, Departamento H, ORSTOM, París, p. 30-47.

- **LE GOULVEN, P.; RUF, T.; RIBADENEIRA, H.; 1989.**
  Traditional irrigation in the Andes of Ecuador. 1. Research and planning. 2. Dysfunctions and rehabilitation, Ponencia 7th Afro-asian Regional Conference, International Commission of Irrigation and Drainage, Tokio, 15-25 de octubre de 1989, p. 351-371.

En preparación:

- *Éléments pour les plans d'irrigation des bassins hydrographiques du Mira, du Guayllabamba et du Pastaza*;

- Monografías de ZARI : Urcuquí, Pifo, Santa Rosa-Pilahuín, Guamote, Gualaceo.

Com :
VItos Días Hidrológicos de Montpellier
ORSTOM, Montpellier, 12-13/09/90, 22 p.

EL AGUA Y SU MANEJO EN LA PLANIFICACION DEL RIEGO TRADICIONAL EN LOS ANDES DEL ECUADOR

por Patrick LE GOULVEN*, Thierry RUF**

RESUMEN

Confrontado a una ambiciosa demanda de la contraparte nacional (elaboración del Plan Nacional de Riego), el equipo del ORSTOM se dedicó ante todo a definir una temática de investigación pluridisciplinaria conforme a su técnica y una estructura de trabajo que logre resultados utilizables para un plan de rehabilitación.
La identificación de indicadores pertinentes sobre el manejo y utilización del recurso hídrico es realizada a diferentes niveles en terrenos representativos, a todo lo largo de la cadena de movilización, transporte y utilización del agua (desde la micro-región hasta la parcela).
Tales indicadores son luego extendidos al conjunto de perímetros regados gracias a un inventario detallado.
La utilización de espacios de análisis cuidadosamente escogidos tiene en cuenta las relaciones entre manejo del agua y medio agro-socio-económico y facilita la elaboración de recomendaciones satisfactorias para todos los actores presentes, para un plan de acción a corto, mediano y largo plazo, teniendo en cuenta los impactos previsibles de cualquier intervención estatal.
Los primeros resultados evidencian los puntos débiles de los sistemas tradicionales de riego y contradicen a veces la política de rehabilitación actualmente vigente.

* Hidrólogo, Misión ORSTOM, Apartado 17.11.06596, Quito - Ecuador
** Agro-economista, Misión ORSTOM, Apartado 17.11.06596, Quito - Ecuador

1. EL RIEGO EN EL ECUADOR

1.1 Situación y características generales del país

La parte continental de la República del Ecuador está situada al Noroeste del continente sudamericano, entre Colombia y Perú, y se extiende desde el Océano Pacífico hasta la cuenca amazónica.

La parte insular está formada por las islas Galápagos, distribuidas alrededor de la línea ecuatorial, aproximadamente 1000 Km al Oeste del continente.

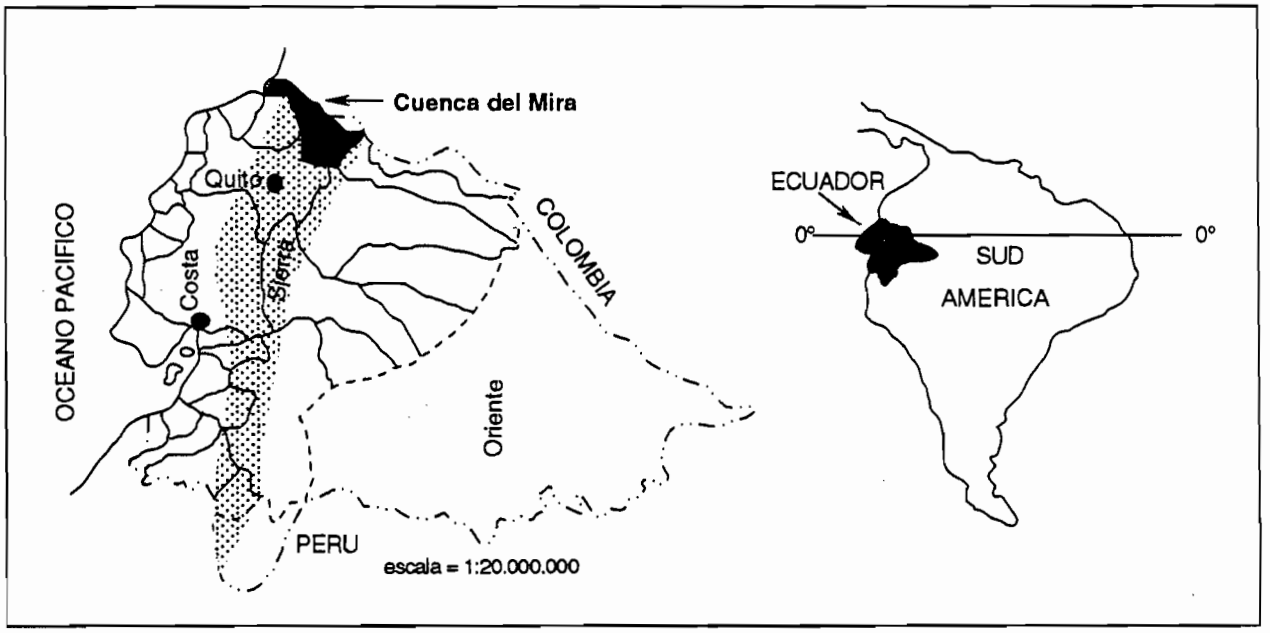


Figura 1 - Ecuador, regiones naturales - cuencas hidrográficas

La superficie del territorio continental es de aproximadamente 281.000 km^2, repartidos de Oeste a Este en 3 regiones naturales:

- La « **Costa** » comprende la franja litoral, cuyo ancho disminuye a medida que se desciende hacia el Sur (ancho promedio de 100 km). En sus partes occidental y noroccidental, se eleva una pequeña cordillera que no supera los 800 m de altura. En esta franja se localiza el Puerto de Guayaquil, primera ciudad del país por su población y su dinamismo económico.

- La « **Sierra** » se caracteriza por la imponente barrera montañosa de la cordillera de los Andes cuyo ancho oscila entre 100 y 140 km. En su parte norte, se distinguen dos macizos (cordilleras Occidental y Real) bien separadas por el callejón interandino, de aproximadamente 40 a 50 km de ancho, coronados por volcanes que superan los 6.000 m de altura (Cotopaxi, Chimborazo). Es en una de esas cuencas interandinas, a 2.850 m de altura, en donde los españoles establecieron la capital: Quito.

- En el Sur del país, las cordilleras pierden su individualidad y las cimas su altura, alcanzando unos 3.500 metros.

- El « **Oriente** » está formado por grandes valles aluviales a menudo pantanosos, parte integrante de la cuenca amazónica.

Solamente la cuarta parte del país es dedicada a la agricultura propiamente dicha, en tanto que el resto está ocupado por selvas vírgenes o **páramos** (vegetación herbácea de alta montaña).

1.2 El riego: una historia antigua

Las regiones andinas conocieron el riego mucho antes de la llegada de los españoles (hacia 1530) e incluso antes de la de los Incas que vinieron del Cuzco hacia 1470. Estos últimos pasaron más tiempo sometiendo a la población local que emprendiendo grandes obras de acondicionamiento rural, durante el poco tiempo que ocuparon el centro y el Norte del Ecuador.

Según las crónicas de la época, al interior de las comunidades indígenas existía una justicia del agua que fue reemplazada progresivamente por la legislación española. No existe sin embargo prueba material alguna de la existencia actual de infraestructura de riego incaica o pre-incaica.

Con la conquista, llegó la administración colonial. Un detenido análisis de los archivos sobre los conflictos relacionados con el agua muestra que a finales del siglo XVI numerosas acequias estaban en funcionamiento y suscitaban ya agudos conflictos jurídicos.

Ciertos grabados de la época muestran acequias que todavía están en funcionamiento (acequia Caciques del pueblo de Urcuquí, cuyo trazado figura en un plano de 1562).

Sin embargo, todo hace pensar que la mayor parte de los sistemas actuales fueron construidos entre los siglos XVII y XIX, cuando los grandes terratenientes pudieron movilizar la mano de obra indígena para cavar y mantener los canales que comprendían a veces verdaderas obras de arte.

En los siglos XIX y XX, el riego se extiende a la planicie costera en donde se desarrollan grandes explotaciones orientadas hacia la exportación. En la Sierra, la evolución económica y social va a cambiar poco a poco la distribución del suelo y consecuentemente la repartición del agua.

Por una parte, las grandes haciendas comenzaron a dividirse entre herederos, lo cual originó conflictos en la repartición del recurso, los mismos que se resolvían con la construcción de nuevos canales a veces muy próximos.

Por otra parte, las agrupaciones de campesinos, mestizos o indígenas, reclamaron derechos de agua argumentando su preponderante participación en la construcción y el mantenimiento de las redes.

Finalmente, ciertos individuos o grupos compraron los derechos de agua bajo diversas formas, que alquilan o venden a los pequeños agricultores.

Durante el siglo XX, el crecimiento demográfico cada vez más fuerte acarrea una presión sobre la propiedad de la tierra que desembocará en la Reforma Agraria (1960-1970), al igual que una presión no menos consecuente sobre la repartición del recurso hídrico, que origina conflictos muy violentos que justificarán la intervención estatal.

1.3 Una intervención reciente del Estado

Este interviene por primera vez en 1936, intenta crear las primeras bases jurídicas para una repartición más adecuada del recurso y comienza a construir nuevos sistemas de riego cuando los juzga de interés público, a fin de armonizar el desarrollo de las diferentes provincias.

Ante la persistencia de los conflictos entre propietarios del agua y usuarios, el gobierno militar crea en 1966 el Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos (INERHI) y en 1972 nacionaliza la totalidad de recursos hídricos del territorio en.

Se atribuye al INERHI un papel de empresa ya que estudia, construye y maneja directamente las infraestructuras que riegan superficies de 500 a 10.000 ha, y los agricultores pagan entonces una cantidad que cubre parte de los gastos de administración. El Instituto interviene en cambio muy poco en el desarrollo agrícola.

Los sistemas en los que se produce este tipo de intervención representan el riego público.

Por otra parte, el INERHI es el administrador exclusivo de los recursos hídricos. Controla y atribuye las concesiones (renovables cada 10 años) siguiendo un orden de prioridad preestablecido (agua potable, agricultura, usos industriales y energéticos). De esta forma, legaliza los derechos de agua antiguamente adquiridos, y los racionaliza en función de las necesidades. En ese caso, los usuarios y sus organizaciones son responsables de la construcción y del funcionamiento del sistema.

Los perímetros correspondientes (de algunas hectáreas a varios centenares) constituyen el riego privado o tradicional.

Finalmente, el INERHI debe evaluar y administrar los recursos hidráulicos nacionales y elaborar el Plan Nacional de Riego como parte integrante del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social del país.

Desde entonces, el INERHI se ha centrado sobre todo en su función de constructor realizando nuevas obras de alto costo, y cuya rentabilidad queda por demostrar, ya que contrariamente a la lógica, se interesa muy poco en el desarrollo agrícola, la orientación de la producción y su comercialización. Esos nuevos proyectos no tienen en cuenta las infraestructuras ya existentes y la intervención pública aparece como ***el último eslabón de una cadena histórica de obras superpuestas***.

El desconocimiento de los sistemas privados se debe en gran parte a la complejidad del riego tradicional, constituido de un conjunto de perímetros dispersos, cuyas características escapan a las normas comúnmente admitidas.

Las tomas son casi siempre rústicas (piedras amontonadas al borde de los torrentes) y de difícil acceso. Los canales de tierra de trazado sinuoso cavados en los flancos de montaña, desaparecen frecuentemente en largos túneles sin apuntalamiento y que a pesar de ello pueden transportar más de 500 l/s. A todo lo largo de su recorrido, se cruzan, se enredan y se dividen para regar varios perímetros a veces distantes. El agua utilizada por gravedad riega parcelas cuya pendiente puede alcanzar 100 %, gracias a un ingenioso sistema de surcos en zigzag.

Sin referencias técnicas ni científicas y sin una metodología adecuada, el INERHI sólo podía intervenir a través de una serie de acciones separadas, construyendo aquí y allá ya sea una toma moderna o un reservorio.

Por lo tanto, el balance actual no sorprende y los datos obtenidos en la cuenca del Mira (ver figura 1) pueden extenderse al resto de los Andes. El riego público corresponde aproximadamente al 5 % de las superficies regadas, el 10 % recibe el agua de los dos sistemas y el resto (85 %) depende exclusivamente del riego tradicional.

Ahora bien, varios elementos nuevos obligan al INERHI a reconsiderar su intervención. La mayor parte de sitios ideales cuentan ya con las infraestructuras y todo nuevo proyecto será cada vez más costoso. Desafortunadamente, los ingresos petroleros se han reducido considerablemente, y el Estado debe ser más riguroso en la selección de sus inversiones, frente a la crisis económica actual y al endeudamiento público que ahora debe ser reembolsado. Las organizaciones internaciones (como la FAO por ejemplo) favorecen la rehabilitación de los sistemas existentes, lo cual justifica la falta de interés de los grandes bancos de desarrollo reticentes a una política de grandes proyectos.

Simultáneamente, el ORSTOM y el Ministerio de Agricultura y de Ganadería (MAG) terminaban, en PRONAREG, el inventario de los recursos naturales renovables. El departamento hidrológico de ese programa iba más lejos abordando el inventario del uso del agua y la determinación de alternativas con miras a satisfacer la demanda agrícola, tratando de responder a las siguientes interrogantes: ¿dónde, cuánto, cuándo y con qué regar? (P. Pourrut, 1980).

Esta primera respuesta al problema del manejo de los recursos hídricos en el Ecuador llamó la atención del INERHI que firmaba en 1986 un acuerdo con el ORSTOM para intentar finalmente elaborar un Plan Nacional de Riego, después de varias tentativas, siempre infructuosas por desconocimiento del riego tradicional.

2. EL PROYECTO INERHI - ORSTOM (OBJETIVOS Y METODOLOGIA)

2.1 Objetivos del proyecto

Considerado como parte integrante del Plan Nacional de Desarrollo, el Plan Nacional de Riego es entonces una respuesta parcial a un análisis social y macro-económico global.

Debe primeramente realizar la identificación y caracterización de acciones técnicamente interesantes y luego proponer una selección jerarquizada de intervenciones que permitirán a los planificadores cumplir con los objetivos que les han sido fijados por el Gobierno.

Como se puede observar, la segunda fase (selección y definición de prioridades) es extremadamente sensible a las orientaciones del poder público. Por lo tanto, no es posible que el ORSTOM participe en ella, sometida a factores estratégicos y políticos estrictamente internos al Ecuador.

La primera fase en cambio no varía en función de los cambios gubernamentales si está basada en criterios científicos y técnicos indiscutibles. Es en la elaboración de un instrumento técnico de decisión que el ORSTOM y el INERHI decidieron colaborar, a fin de establecer una metodología sustentada en bases científicas y que desemboque en recomendaciones prácticas.

La identificación y caracterización de acciones interesantes en materia de riego pueden ser consideradas como la elaboración de una matriz de proyectos que comprenda una gran cantidad de indicadores variados, de la cual el planificador podrá extraer su selección. Se observa el surgimiento del carácter multidisciplinario del estudio. Para ser completa, la matriz deberá también presentar alternativas de rehabilitación o de extensión de los perímetros.

Admitiendo el desconocimiento del riego tradicional y de su funcionamiento, es entonces necesario emprender su estudio completo, tanto más cuanto que escapa a las normas admitidas comúnmente. El programa de investigación se articula alrededor de los siguientes grandes temas:

- trabajos de campo en sitios representativos, a diferentes niveles graduales, teniendo en cuenta el manejo técnico y socio-económico del agua (desde las tomas hasta las parcelas, pasando por los sistemas de producción);

- estudios temáticos específicos: hidrológicos en el sentido amplio (incluyendo climatología, agro-climatología e hidráulica agrícola), agro-socio-económicos (técnicas agrícolas, sistemas de producción), agrológicos (caracterización de los suelos y de su potencialidad);

- un inventario exhaustivo de la ubicación de los sistemas involucrados y una descripción detallada de sus características.

Los resultados obtenidos inicialmente son analizados temáticamente, a fin de descubrir los indicadores de funcionamiento pertinentes y relacionarlos con las características descriptivas contenidas en el inventario. Son luego objeto de un análisis integrado que desemboca en una tipología de funcionamiento a la que corresponden toda una serie de recomendaciones.

Esta integración es imposible sin una división estructurada de la zona de estudio, basada en la organización y la utilización del espacio, y que servirá de soporte a los diferentes tipos de análisis y de recomendaciones.

Como la extensión del programa supera ampliamente los medios materiales y humanos disponibles, el trabajo se limita al callejón interandino. Al final del convenio, se estudiará una zona piloto en la costa para allí verificar la adecuación de la metodología propuesta y proceder a los ajustes necesarios.

Dada su complejidad, el proyecto está dividido en una serie de operaciones concomitantes que son descritas a continuación.

2.2 Una división adecuada del espacio

Una política de desarrollo agrícola se apoya en el acondicionamiento de espacios característicos convenientes para los diferentes análisis (medios físico y socio-económico), pero también para la ejecución de decisiones. La elaboración de escalas graduales favorece la elaboración de tipologías de funcionamiento a partir de estudios de campo y permite luego pasar a una planificación primeramente regional y luego nacional.

2.2.1 *El nivel nacional*

Las vertientes exteriores de la Cordillera (la oriental amazónica y la occidental pacífica) están bien rociadas y ofrecen suficiente cantidad de agua como para satisfacer globalmente todos los tipos de demanda. Sin embargo, la variabilidad del recurso en el espacio y en el tiempo induce marcados desequilibrios, caracterizados por una sucesión de sequías (callejón interandino) y de inundaciones (Costa).

La región amazónica y la parte norte de la costa reciben más de 3.000 mm, bien repartidos a todo lo largo del año, con una ligera disminución entre diciembre y febrero. No tienen necesidad alguna de riego.

En el resto de la Costa, las precipitaciones aumentan regularmente desde el litoral hasta el piedemonte (menos de 200 mm a 3.000 m). El régimen pluviométrico comprende una estación de lluvias de diciembre a mayo y una estación seca muy marcada el resto del año, durante la cual el riego permanente es obligatorio. En la parte sur, hacia el Perú, se observa una clara tendencia a la sequía (Pourrut, 1986) que deberá tenerse en cuenta en un proceso de planificación a largo plazo. Dedicada principalmente a los cultivos de exportación, esta región está atravesada por grandes ríos que es necesario dominar y su desarrollo depende sobre todo de la construcción de importantes infraestructuras.

Finalmente, la región andina soporta alternativamente la influencia de masas de aire oceánico y amazónico que definen un régimen con dos estaciones lluviosas (de febrero a mayo y de octubre a noviembre), más o menos alterado por los efectos de protección debidos a los relieves circundantes. Los totales pluviométricos son apenas elevados (de 600 a 1.500 mm) y pueden descender a 300 mm en el fondo de los valles bien abrigados. El riego complementario es allí indispensable para asegurar la cosecha e intensificar la producción (dos cultivos en el año). La Sierra es un medio muy variado (desde todo punto de vista) y en plena evolución agrícola. Las comunidades indígenas han emprendido un movimiento de gran envergadura para « suprimir » todas las propiedades superiores a 50 hectáreas en 1992 (500 años después del descubrimiento de América por Cristóbal Colón).

2.2.2 *Las grandes cuencas hidrográficas*

El país está dividido en 22 grandes cuencas hidrográficas, bien caracterizadas por el INERHI (figura 1) y que constituyen la base de la primera división espacial.

El callejón interandino está entonces dividido en porciones de cuencas hidrográficas, que contienen todos los sistemas de riego y que terminan en una estación hidrométrica adecuada.

Satisfactoria para el hidrólogo, esta unidad espacial le permite establecer un balance hídrico global, del cual dependerá la política general de acondicionamiento hidráulico, pero es demasiado amplia y heterogénea para garantizar en ella un manejo adecuado del recurso.

Está generalmente constituida por un fondo de valle muy poblado por donde pasan la mayor parte de las grandes vías de comunicación, y rodeada de vertientes en las que se ha desarrollado une agricultura muy diferenciada según los pisos climáticos. En tal sentido, satisface al agro-socio-economista.

Corresponde también a un espacio económico regional ya que contiene siempre una ciudad (a veces dos) que sirve de polo de atracción en los circuitos de comercialización. Aunque no siempre corresponde a límites administrativos (provincias), satisface igualmente al planificador, quien podrá definir en ella una política de intervención a largo plazo.

Cada unidad espacial está delimitada en función de la red hidrométrica y en base a los mapas de uso del suelo elaborados por P. Gondard en el marco del PRONAREG. Actualmente, se han delimitado dos grandes cuencas dirigidas hacia el Pacífico (Mira y Guayllabamba) y dos hacia la cuenca amazónica (Pastaza y Santiago). Corresponden a las 3/4 partes del callejón interandino, quedando por dividir sólo la parte sur (ocupada por un riego de fondo de valle).

El paso de la fase regional al conjunto nacional se realiza considerando las transferencias hídricas entre grandes cuencas, que dependen en gran medida de la obtención de financiamiento internacional.

2.2.3 *Cuenca vertiente unitaria*

Cada cuenca hidrográfica está dividida en cuencas vertientes unitarias en cuyo interior los parámetros explicativos de la aptitud al escurrimiento (morfología, características y uso del suelo) son más o menos homogéneos (Dubreuil, 1971). Esta división fue utilizada ya en el Ecuador en el marco del PRONAREG (Cadier, E.; Pourrut, P., 1979) y en Colombia (Le Goulven, P., 1984).

El trabajo de PRONAREG es entonces ampliamente utilizado y completado mediante la delimitación de cuencas unitarias complementarias, a fin de formar una malla hidráulica completa de cada cuenca hidrográfica. El límite de las cuencas unitarias coincide en lo posible con las estaciones hidrométricas de la red.

En la cuenca del Mira, 61 cuencas unitarias están constituidas siendo su tamaño promedio de aproximadamente 50 km^2. Ellas forman una amplia red hidráulica controlada por 11 estaciones hidrométricas (ver figura 2).

La cuenca unitaria es indispensable para que el hidrólogo pueda calcular los recursos de agua (espacios de aporte) mediante modelos deterministas globales. Desafortunadamente, no se adapta al análisis de las demandas y no satisface al agro-economista ni al planificador.

En efecto, las líneas de cresta que separan a cada cuenca unitaria ya no son muy marcadas cuando se llega al fondo del valle. Las acequias pasan alegremente de un lado a otro, ya sea rodeando a las crestas o atravesándolas por túneles, **lo cual hace imposible todo análisis basado únicamente en esta unidad espacial.**

2.2.4 *La ZARI (Zona de Análisis y Recomendaciones para el Riego)*

Es por lo tanto indispensable proceder a otra división de las cuencas hidrográficas, basada en la delimitación de zonas que contienen todos los procesos de captación, transporte y utilización del agua (ZARI). En la práctica, su trazado es efectuado a partir de las redes existentes.

Se trata de micro-regiones separadas por accidentes topográficos lo suficientemente importantes como para impedir el paso de los canales tradicionales (línea de cresta muy elevada, río encañonado). Están atravesadas por los grandes sistemas (privados o públicos) que han gozado de una ayuda significativa para construir importantes infraestructuras.

En la práctica, su trazado exacto es realizado una vez conocida la disposición de la infraestructura existente

En la cuenca del Mira, las ZARI son tres veces más grandes que las cuencas unitarias y de las 20 encontradas, dos no disponen de un riego significativo en razón de un clima favorable. En la mayoría de los casos, sus limites invaden 3 cuencas vertientes unitarias (ver figura 3).

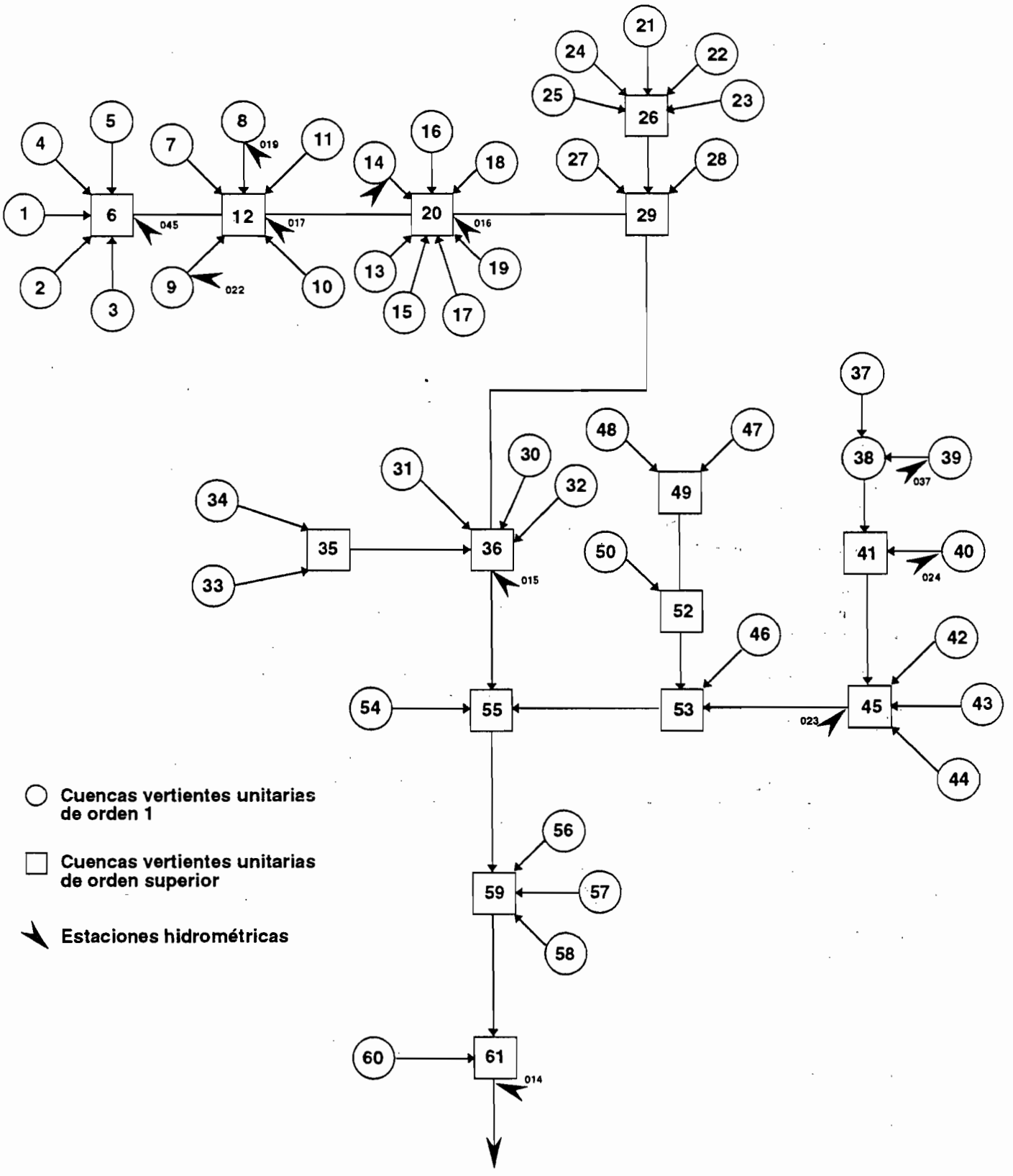


Fig. 2 - División de la cuenca hidrográfica del Mira en cuencas vertientes unitarias
Esquema hidráulico de funcionamiento y emplazamiento de las estaciones hidrométricas de la red

Las ZARI se caracterizan por pisos climáticos en cuyo interior los sistemas de producción y las estructuras agrarias guardan una cierta homogeneidad:

- en el piso cálido (< 2.200 m) se localizan las grandes haciendas tecnificadas que tratan de conservar sus privilegios de antaño y producen cultivos rentables (caña de azúcar por ejemplo);

- el piso templado (entre 2.200 m y 2.800 m) es bastante parcelado (menos de 1 ha) y está dedicado ante todo a un policultivo dominado por el maíz y el fréjol;

- piso frío (> 2.800 m) está constituido ya sea por grandes explotaciones de cultivos extensivos, o por comunidades indígenas que tratan lograr un mayor control del agua.

Al interior de una ZARI, la disposición de los canales de riego permite a menudo adivinar las principales etapas de acondicionamiento y los grandes tipos de problemas que han suscitado. Los usuarios han llegado a un equilibrio en la repartición del recurso, equilibrio constantemente amenazado por las reivindicaciones de la población que se considera desplazada. Se trata entonces una entidad ideal para el análisis agro-socio-económico y para el planificador.

2.2.5 *Relación entre cuencas vertientes unitarias y ZARI*

Es evidente que la ZARI es un espacio ideal para estudiar las demandas de agua puesto que contiene sistemas de riego completos (desde las tomas hasta las parcelas) y permite estimar sus variaciones en función de los cambios que serán inevitablemente provocados por toda intervención.

Sin embargo, para confrontar las necesidades con los recursos disponibles, es necesario establecer una relación entre los espacios correspondientes. Para pasar fácilmente de una malla a otra, las tomas de agua son identificadas a través de una codificación ZARI (pertenencia a un sistema) y una codificación hidrológica que las sitúa en el contexto de la red hidrográfica (pertenencia a una cuenca unitaria).

El código hidrológico está constituido por una serie de caracteres que describen todos los afluentes que ha sido necesario recorrer desde la desembocadura de la gran cuenca hidrográfica hasta el punto de la red hidrográfica considerada. Termina señalando la distancia recorrida en el último afluente (porcentaje del largo total del afluente).

Esta codificación tiene el mérito de caracterizar bien toda toma de agua en la red hidrográfica y permite calcular fácilmente (por comparación de las series de caracteres) su impacto aguas abajo, así como los caudales en reserva aguas arriba. La codificación no tiene en cambio en cuenta las captaciones independientes de la red (fuentes, pozos) los cuales son poco numerosas.

A fin de no hacer más densa la codificación, se procede primeramente a la de las cuencas unitarias en la red hidrográfica global, que no depende sino de la división del espacio y que por lo tanto no será alterada por modificaciones posteriores. Luego, los códigos de cada toma establecidos en la red hidrográfica interna de cada cuenca unitaria. Este trabajo se efectúa en los mapas de base a escala 1:50.000.

2.3 El terreno y los diferentes niveles de análisis

A partir de los resultados obtenidos por el PRONAREG y completados con datos sociales, se emprendió un trabajo de síntesis para establecer una clasificación jerárquica del medio agrícola mediante análisis factoriales de correlación.

Al interior de cada grupo, se seleccionó una ZARI representativa en la cual se comienza por describir los sistemas de riego, sus características agrícolas y socio-económicas (mapa de síntesis detallado a escala 1:25.000).

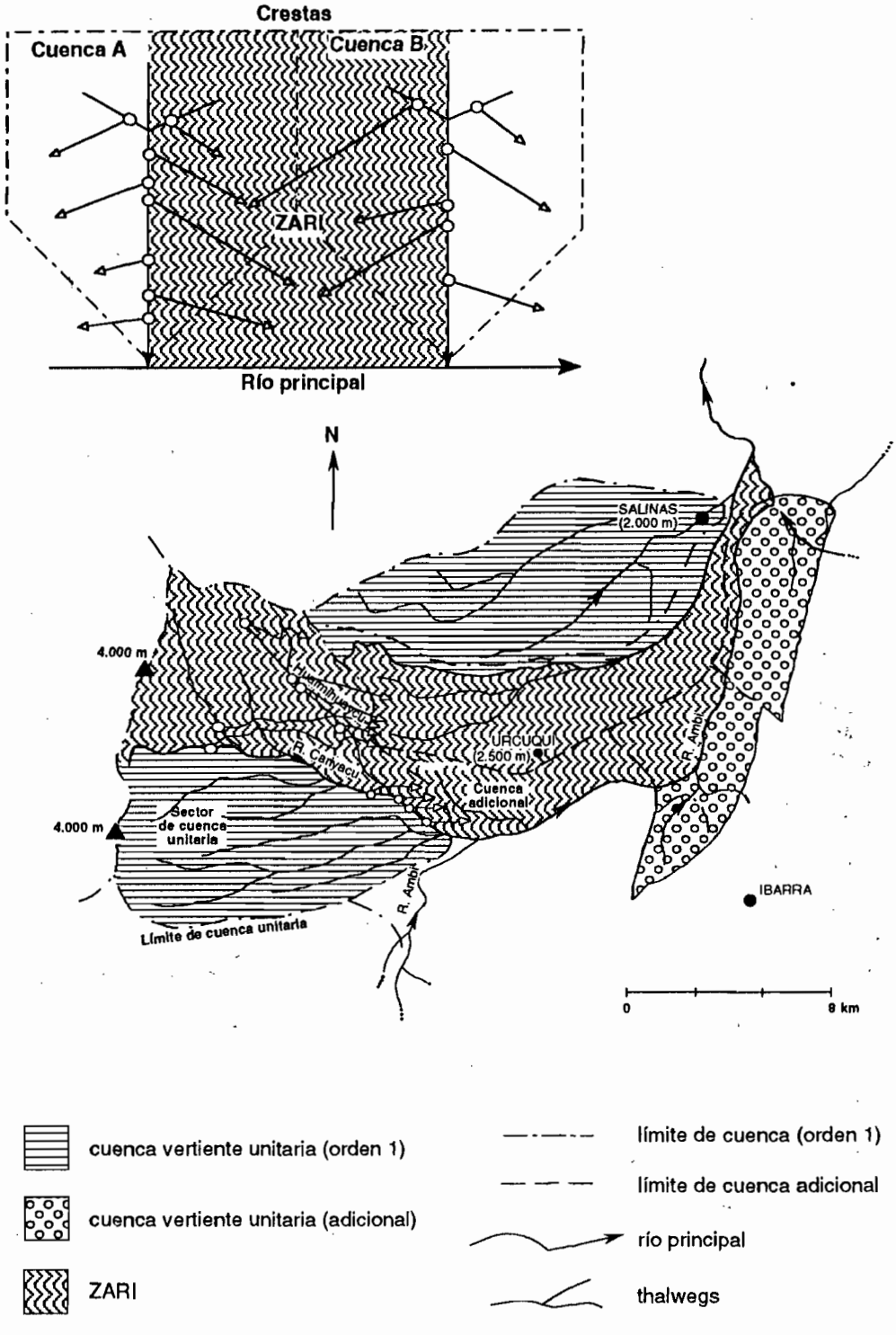


Fig. 3 - Principio de delimitación de una ZARI
Relaciones con las cuencas vertientes unitarias
Ejemplo de la ZARI de Urcuquí (Mira)

Se procede luego a una serie de mediciones, de seguimientos y de encuestas, a todo lo largo de la cadena de uso del agua (infraestructura, sistemas de riego, perímetros, explotaciones agrícolas, distribución del agua, aplicación a la parcela) para estudiar el conjunto de factores que inciden en la demanda del agua, su variación de acuerdo a las estaciones y su probable evolución.

- ***La captación***
  Tipología descriptiva de las tomas y de las obras de regulación asociadas a ellas;
  estudios de su eficacia (comparación entre caudales concedidos y caudales derivados) y de su fragilidad (frecuencia y duración de los daños).

- ***El transporte***
  Cálculo de la eficiencia de transporte (puntual y lineal) mediante aforos simultáneos en segmentos seleccionados según su caudal, su longitud, al tipo de suelo, etc.;
  fragilidad de la infraestructura de transporte mediante lectura diarias de escalas limnimétricas (frecuencia, duración y causas de los daños).

- ***La repartición***
  Análisis de los consumos diarios de ciertos perímetros y su variación en el transcurso del año.

- ***La distribución***
  Estudio frecuencial de los indicadores de funcionamiento (dotaciones al interior del perímetro, frecuencias, módulos y tiempos de riego);
  encuestas sobre la falta de agua, las supuestas causas y sus consecuencias (toma de decisiones en cuanto a los cultivos);
  cálculo de la eficiencia de transporte en las redes de distribución (aforos simultáneos) y de la eficiencia global (comparación entre el caudal al inicio de la red y los volúmenes que ingresan a las parcelas durante una jornada).

- ***Los sistemas de producción***
  Análisis de su evolución, a través de encuestas completas sobre una serie de explotaciones que representan la diversidad de la zona;
  esquematización de su funcionamiento, limitaciones y resultados obtenidos.

- ***Los resultados agrícolas***
  Evaluación de la productividad de ciertos cultivos principales (maíz, fréjol) y análisis de la diversidad de resultados: medidas en el campo y en laboratorio de los componentes del rendimiento (densidad, peso) y relación con las normas técnicas, en particular con el riego.

- ***La aplicación***
  Realización de un seguimiento diario en parcelas de referencia manejadas por los agricultores según sus propias decisiones;
  medida de las lluvia y de las entradas-salidas superficiales de agua;
  cálculo de la eficiencia hidráulica de aplicación mediante el análisis de las técnicas de riego, de las técnicas de división de la parcela y de medidas de infiltración en los surcos mediante PARSHALL, según la ley de Phillipps (métodos de J.–L. Sabatier y CEMAGREF);
  determinación de las etapas de desarrollo vegetal, de las operaciones de cultivo, del trabajo, de los costos y de la producción final.

Estas observaciones son completadas mediante un diálogo continuo con las organizaciones campesinas (juntas de agua) sobre sus problemas (mantenimiento de las redes, conflictos jurídicos y sociales, movimiento de influencias, etc.) y las relaciones que ellas mantienen con los organismos estatales (principalmente el INERHI).

2.4 Localización, organización y caracterización del riego

Esta operación tiene por objeto obtener una descripción detallada de todos los sistemas de riego según la división en ZARI. Esta ha sido llevada a cabo a través de tres tipos de acciones:

- análisis de la información existente en el INERHI y en sus agencias regionales;
- foto-interpretación (análisis de los tonos de gris y de la organización de las parcelas);
- encuestas de campo en todos los perímetros.

Este inventario representa un trabajo enorme (pero indispensable) que deberá ser aligerado mediante la utilización futura de imágenes de satélite SPOT (en colaboración con el BCEOM y el CEMAGREF).

Las informaciones han sido reunidas en un banco de datos (LOCIE) estructurado en DBASE IV y manejado por unos 30 programas.
El banco de datos está acompañado de mapas a escala 1:50.000, lo que corresponde a la escala más fina utilizada por ORSTOM-PRONAREG y compatible con la resolución de las imágenes del satélite SPOT.

LOCIE reúne la descripción completa del riego a diferentes niveles.

- ***Tomas de agua***
  Localización (río, cuenca, altura), tipo de construcción, características hidrológicas (superficie, lluvia promedio y ETP promedio de su cuenca vertiente), existencia de una concesión (caudal concedido, nº de concesión).

- ***Perímetros***
  Características generales (alturas máxima y mínima, superficies regadas, equipadas y potencialmente regables, pluviometría y ETP);
  aspectos sociales (beneficiarios, organizaciones, conflictos); dotaciones (teórica, concedida, real);
  sistemas de producción y tipos de agricultura;
  características del suelo (tipo, profundidad, pendiente, RU, clase de aptitud);
  modalidades de distribución (reservorios, riego nocturno, turno de agua) y de aplicación (tamaño de las parcelas, técnica de riego, longitud de los surcos, frecuencia y duración del riego).

- ***Sistemas***
  Descripción de los canales que unen las diversas tomas a los perímetros correspondientes según una división en nudos y segmentos, siguiendo el principio de las redes en malla urbanas, codificación, un tanto densa inicialmente, que permite seguir la corriente (condiciones impuestas a nivel de la oferta aguas arriba) o ir a contracorriente (condiciones impuestas a nivel de la demanda aguas abajo);
  tipo de construcción de los segmentos y de los nudos, estado de los canales, caudales transitados, longitudes, pendientes.

- ***ZARI***
  Agrupamiento y síntesis inicial de los datos precedentes.
  Ingreso de los datos demográficos (población agrícola involucrada, densidad de población, tasa de crecimiento).

La masa de datos obtenidos representa un instrumento indispensable para un perfecto conocimiento del problema, y que alimenta los diagnósticos a nivel de los sistemas de riego (planificación a corto plazo), de las ZARI (planificación a mediano plazo) o de las cuencas hidrográficas (planificación a largo plazo).

ALGUNOS DATOS SOBRE LA CUENCA DEL MIRA

1 -	Superficie de la cuenca:	350.000 ha	
2 -	Superficie agrícola:	139.200 ha	(40 % de 1)
3 -	Superficie equipada:	47.100 ha	(34 % de 2, 13 % de 1)
4 -	Superficie regada:	35.200 ha	(75 %, 25 %, 10 %)
5 -	Superficie con riego tradicional:		87 % (de 4)
6 -	Superficie con riego público:		4 % (de 4)
7 -	Superficie con riego público y tradicional:		9 % (de 4)
8 -	Población agrícola involucrada:	175.000 habitantes	
9 -	Densidad agrícola:	120 habitantes/km^2	
10 -	Tasa de crecimiento:	0,8 %	
11 -	Número de perímetros:	247	
12 -	Grandes propiedades:		46 % (de 4)
13 -	Propiedades medianas:		22 % (de 4)
14 -	Pequeñas propiedades:		32 % (de 4)
15 -	Caudal total derivado:	18,6 m^3/s	
16 -	Caudal total concedido:	14,4 m^3/s	(77 % de 15)
17 -	Número de tomas:	299	
18 -	Número de tomas con concesión:	187	(63 % de 17)
19 -	Número de tomas « modernas »	19	(6 % de 17)
20 -	Número de tomas sin caudal reservado aguas arriba:	133	(44 % de 17)
21 -	Número de sistemas:	268	
22 -	Número de sistemas complejos:	54	(20 % de 21)
23 -	Longitud total de los canales:	1.170 km	
24 -	Longitud de los canales revestidos:	6 km	
25 -	Obras de distribución:	108	
26 -	Caudal ficticio continuo promedio:	0,4 l/s	

2.5 El punto de vista del agro-economista

Los datos sobre la agricultura regada en los Andes ecuatorianos (sistemas de producción, productividad), son casi inexistentes ya que las estadísticas nacionales no diferencian los perímetros regados de los cultivos pluviales.

Ante esta falta de información, pareció necesario reestructurar las encuestas del Servicio Nacional de Estadísticas Agrícolas (SEAN) en función de los conocimientos adquiridos por el proyecto INERHI-ORSTOM sobre las redes de riego.

Los datos de las encuestas en la cuenca del Mira (superficie, riego, fertilización, pérdidas, producción), han sido obtenidos de 3.600 parcelas (1987) y de 4.500 parcelas (en 1988). Estas describen la rotación de cultivos de 50 a 60 segmentos representativos por cada año.

Teniendo en cuenta los conocimientos adquiridos en las ZARI piloto y las encuestas del inventario, es posible describir el conjunto de modelos de producción:

- polo de actividad dominante en un piso bioclimático dado para cada tipo de explotación;
- combinación exacta de las actividades agrícolas anuales;
- productividades.

Cada actividad se inscribe en el calendario agrícola para estimar, mes por mes, los coeficientes de cultivo correspondientes (Kc). Ante la ausencia de referencias andinas, nos basamos en las normas de la FAO, sabiendo que la demanda de agua es menor en la mayoría de casos, ya que la población vegetal y su crecimiento son inferiores a los que han prevalecido para el establecimiento de las normas internacionales.

A nivel del modelo de producción, se realiza una integración de la demanda de agua mediante la ponderación de los coeficientes de cultivo.

Se analiza la diversidad de la productividad para cada uno de los cultivos principales (maíz, trigo, fréjol, cebada, papa, caña de azúcar, pastos) con el objeto manifiesto de medir el impacto de un programa de rehabilitación, tomando como referencia las productividades realistas obtenidas por los agricultores que cuentan con condiciones óptimas de riego.

2.6 El punto de vista del hidrólogo

Todos los trabajos anteriores contribuyen a la obtención de un buen conocimiento de los consumos actuales de agua y de los factores que influyen en la demanda.
Resta por cuantificar esa demanda así como el recurso disponible para satisfacerla.

Las necesidades de agua de la agricultura son extremadamente dispersas en el espacio y muy variadas según los régimenes climáticos y los pisos altitudinales en los que se encuentran. Su cálculo, considerando la década como unidad de tiempo, sería interesante desde el punto de vista agronómico, pero por evidentes razones de manipulación de datos, la unidad escogida es el mes, lo cual es perfectamente compatible con un estudio de planificación.

La diversidad de las situaciones encontradas requiere un buen conocimiento espacial de las características climáticas que intervienen tanto en el cálculo de las demandas como en el de los recursos.

- ***Estudio climático preliminar***
  Se ha realizado mensualmente en toda la Costa y la Sierra, en colaboración con la Escuela Politécnica Nacional (EPN) y el Instituto Nacional de Metereología e Hidrología (INAMHI).

  Abarca las lluvias y la evapo-transpiración Potencial — ETP — (temperatura, humedad relativa, insolación, viento, evaporación del tanque), que son los dos factores esenciales del cálculo de las necesidades de agua y sirven de datos de ingreso en la mayoría de modelos de transformación lluvia-caudal.

  El cálculo de los recursos exige series climáticas promedio de una cuenca; el estudio de las necesidades (a nivel de la precisión del inventario) es aún más exigente y requiere las mismas series pero en cada perímetro.

  El objetivo del estudio climático es generar, en cualquier punto del espacio estudiado, series cronológicas homogéneas, estadísticamente probables y representativas del régimen climático local.

  El problema se complica a causa de una red climática repartida de manera irregular y no homogeneizada, y de un relieve muy contrastado.
  Los datos mensuales de más de 800 estaciones han sido recolectados y homogeneizados mediante el método del vector regional.

  La ETP es calculada por 7 métodos diferentes que son comparados a las medidas de los recipientes de evaporación (correlaciones mensuales y derivadas altitudinales) a fin de estimar la fórmula que se adapte mejor a cada región.

  Las variaciones con la altura se establecen por pequeños valles, teniendo en cuenta la interacción de las masas locales de aire (figura 4).

  A continuación, las estaciones son agrupadas siempre por el método del vector regional según criterios de similitud (coeficientes de correlación entre estaciones y vectores superiores a 0,9).

El producto final consta de :

- un mapa a escala 1:200 000 que contiene las isoyetas y las isopletas, así como las zonas de influencia de los vectores correspondientes;

- los datos mensuales y anuales de cada vector en un período de 20 años.

En un punto dado del espacio, las isolíneas indican el valor promedio interanual del parámetro estudiado en base al cual se ajusta el vector correspondiente para generar una serie cronológica adecuada.

Los resultados obtenidos permiten además una crítica de la red, desde el punto de vista espacial y de altitud.

El algoritmo de cálculo de los vectores es el desarrollado por Y. Brunet-Moret en 1978, alrededor del cual se han desarrollado un gran número de programas, reunidos en un software adaptado (CLIMAN), escrito en Fortran en base a menús.

- ***Las necesidades***
  Se establecen en primer lugar a nivel de cada perímetro según los datos climáticos, las características físicas y agrícolas contenidas en el banco de datos LOCIE, las medidas de eficiencia (distribución y aplicación) efectuadas en las ZARI piloto y la esquematización de los modelos de producción establecidos mediante el análisis agro-económico.

  Todos los datos se integran en dos programas del comercio (CROPWAT de la FAO y DEMOT del CIDIAT), pero aún son necesarias modificaciones para unir los diversos archivos y obtener un cálculo automático.

  Las necesidades son luego llevadas a nivel de las tomas gracias a la codificación exacta de las redes de transporte y a los cálculos de la eficiencia de transporte realizados en toda la cuenca hidrográfica. Pueden ser luego agrupadas a nivel ya sea de las ZARI o de las cuencas vertientes unitarias.

- ***Los recursos***
  Actualmente, se utilizan los resultados obtenidos por el ORSTOM-PRONAREG en los caudales específicos promedios y de estiaje de las cuencas vertientes unitarias, pero si bien estos resultados constituían en su época referentes indiscutibles, ahora pecan por su antigüedad y su falta de precisión y obligan a la adaptación de un modelo de transformación lluvia-caudal calibrado en las estaciones de control de la red hidrométrica.

  Era entonces necesario ante todo reconstituir los caudales naturales de esas estaciones (en la estación de control del Mira, se mide un caudal promedio de 35 m^3/s que no toma en cuenta los 19 m^3/s utilizados aguas arriba).

  Todos los usos agrícolas están registrados en el inventario (LOCIE) y la variación, según las estaciones climáticas, de los caudales derivados es determinada por los estudios realizados en las ZARI piloto.

  De esta manera, fueron reconstituidos los flujos naturales de unas 15 cuencas vertientes unitarias de orden 1 (sin aportes superficiales), las mismas que servirán de muestra para probar 2 modelos con el mes como unidad de tiempo (THEMEZ y CIDIAT) que utilizan la lluvia y la ETP como datos de ingreso, y las características físicas de las cuencas vertientes como parámetros de calibración de las funciones de producción.
  Estos modelos tradicionales de reservorio son sólidos y se adaptan a los datos de que disponemos.
  Serán calibrados en la malla hidráulica realizada en cada cuenca hidrográfica (figura 2).

  Una vez calculados los caudales naturales en cada cuenca vertiente unitaria, es fácil estimar el recurso disponible gracias a la codificación hidrológica de las tomas.

  Este primer ajuste será completado con una evaluación de los recursos al interior de cada cuenca unitaria en función de los grandes pisos climáticos.

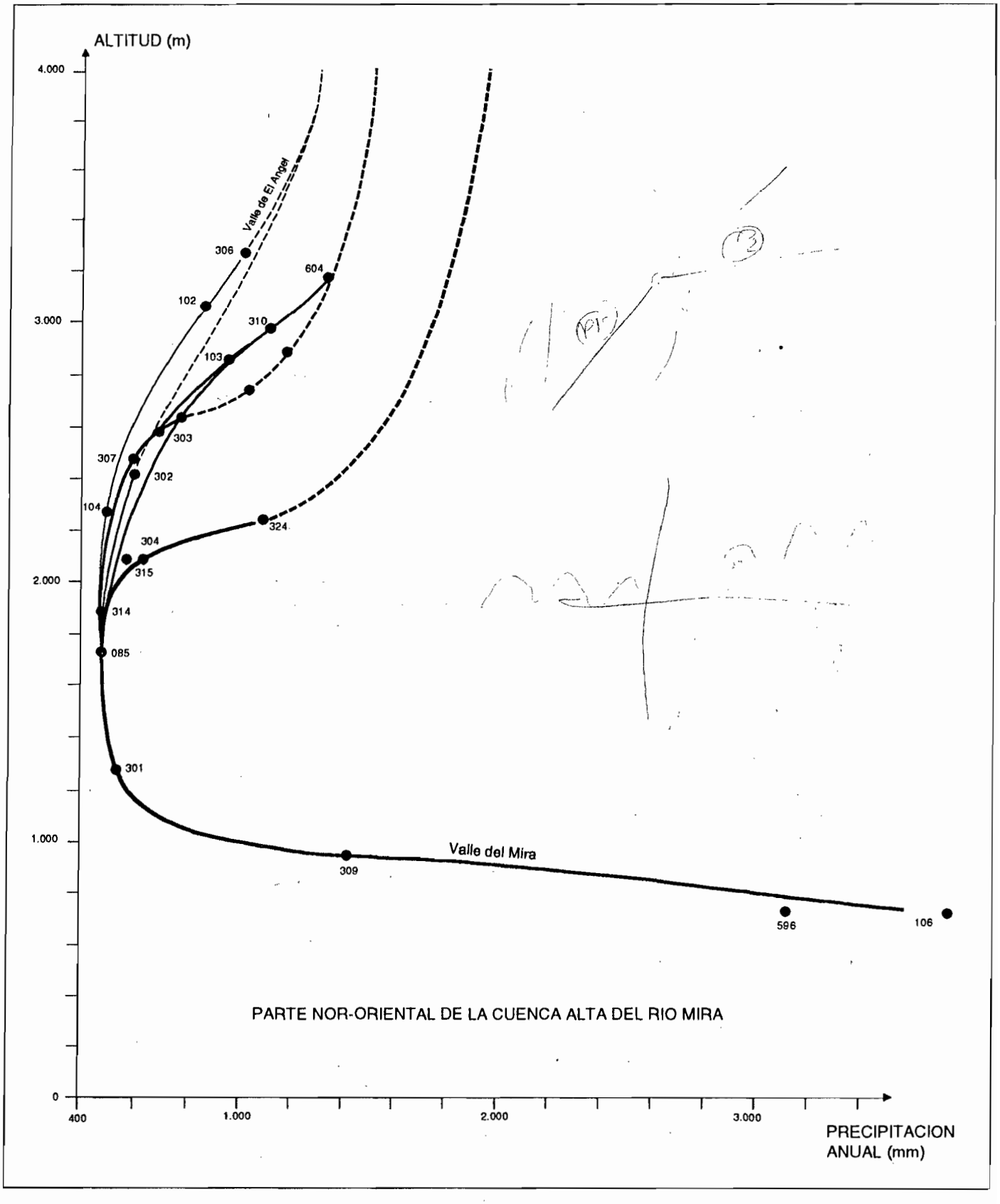


Figura 4 - Relaciones entre lluvia y altitud en los diferentes valles del Mira

2.7 Diagnósticos y recomendaciones

Un primer diagnóstico entre necesidades y recursos es efectuado para los 3 pisos climáticos definidos. Combinando con los resultados obtenidos en los otros estudios, permite elaborar recomendaciones prácticas a nivel de los sistemas de riego y proporciona al INERHI un plan de acciones a corto plazo.
El análisis a nivel de cuencas unitarias - ZARI desemboca en una tipología de las ZARI, que orienta al planificador hacia una reorganización del espacio (planificación a mediano plazo) para utilizar de la mejor manera el recurso hídrico según su repartición espacial (agrupamiento de las tomas y los canales, redistribución de los perímetros que alimentan).
Finalmente, las recomendaciones a nivel de las grandes cuencas (planificación a largo plazo) definen las líneas generales de una política de intervención (rehabilitación de las redes existentes o extensión de las mismas, construcción de nuevos proyectos).

Todas estas recomendaciones tendrán un impacto en la intensificación de los cultivos, la evolución de los sistemas de producción, la demanda de agua y su manejo. La idea de evaluar los efectos combinados de las acciones prescritas por un modelo de simulación corresponde a Jean-Luc Sabatier (CIRAD) quien conocía el potencial del programa americano GAMS, creado por investigadores de la Universidad de Texas y expertos del Banco Mundial. El método empleado resulta entonces de una estrecha colaboración con nuestros colegas del CIRAD.
Con el fin de simular el impacto del riego en la economía agrícola de una ZARI, se construye un modelo macro-económico que describe las siguientes actividades:

- producciones consumidoras de insumos y que entregan productos básicos;
- consumo de la población;
- transferencia de trabajo;
- intercambios, compra y venta de productos;
- trabajo externo a la agricultura;
- riego;
- balances hídricos, satisfacción de las necesidades alimenticias, balances de intercambio de trabajo, etc.;
- costos y precios unitarios.

A partir de límites a priori (población, superficies agrícolas, disponibilidad de agua) y de reglas más o menos limitantes (ecuaciones estrictas o respecto a las desigualdades), el modelo busca la combinación de actividades que optimicen el ingreso agrícola neto de la población, asegurándoles una alimentación adecuada. El modelo cuantifica :

- rotación de cultivos,
- compras,
- ventas,
- consumo,
- trabajo,
- necesidades de agua.

Una vez calibrado en base a coeficientes técnicos obtenidos en los estudios de campo, el modelo es utilizado para simular los efectos inducidos por las recomendaciones según las tres siguientes situaciones posibles:

- ninguna intervención en las redes tradicionales (degradación de las mismas);

- intervención parcial únicamente en las dotaciones de agua y el mejoramiento de las infraestructuras;

- intervención global (dotaciones, canales, intensificación agrícola, préstamos y subvenciones, circuitos de comercialización, etc).

Dos modelos están actualmente en fase de calibración: el modelo de la ZARI de Urcuquí (simulación de una crisis en el agua y la fuerza de trabajo) y el de Ludo (simulación del impacto de un proyecto de riego nuevo en un terreno esencialmente lluvioso, situado al Sur de los Andes ecuatorianos), en colaboración con una ONG franco-ecuatoriana.

3. ALGUNOS RESULTADOS SOBRE EL FUNCIONAMIENTO DE LAS REDES TRADICIONALES

Se abordará la descripción de las principales características de funcionamiento según los diferentes niveles de intervención (figura 5).

3.1 Nivel de la oferta

Según los primeros balances establecidos, la mayoría de las cuencas vertientes unitarias tienen, a nivel global, suficiente cantidad de agua como para responder a las diversas necesidades, no siendo así a nivel de las tomas, por las siguientes razones :

- La altura de ciertos perímetros no permite tomar el agua de una cuenca lo suficientemente importante.

- Los caudales disponibles son mal estimados. Un solo aforo es efectuado antes de fijar el caudal de concesión, y no es siempre realizado en el momento más propicio y a menudo sobrestima los caudales de estiaje. En este caso, es difícil considerar la construcción de represas colinares a causa de las fuertes pendientes. Se debe en cambio estudiar una transferencia de las cuencas vecinas.

- El caudal es importante, pero inaccesible ya que las gargantas están muy encajonadas. Es una situación en la que la intervención del INERHI puede ser útil.

- La falta de respeto de las concesiones por parte de los usuarios situados aguas arriba, da lugar a interminables conflictos jurídicos, que pueden degenerar en « guerra de tomas » . Es para evitar este tipo de problemas que muchas haciendas del fondo de los valles han instalado sus obras de toma en la parte superior de las cuencas. Se lograría un respeto adecuado de las reglas si existieran obras de regulación correctas después de cada toma, que permitan una verificación rápida de los caudales desviados.

3.2 Nivel de la infraestructura

En la cuenca del Mira, el 95 % de las tomas son tradicionales, es decir un conjunto de piedras amontonadas al borde del río. Estas son generalmente arrastradas al producirse grandes crecidas pero son rápidamente reconstruidas (un medio día es suficiente). La destrucción de las tomas solo ocasiona aproximadamente 5 días de paralización del funcionamiento de las redes en todo el año.

Dada la velocidad de las corrientes, las tomas modernas que bloquean completamente el río son imponentes; no es raro ver varias toneladas de hormigón para un caudal derivado de solamente 30 a 40 l/s. Estas no resisten las más fuertes crecidas y en el caso de destrucción, los usuarios no tienen los medios financieros para reconstruirlas y vuelven a las tomas tradicionales en espera de una intervención del INERHI.

En cambio, las tomas tradicionales no controlan los caudales que se derivan y necesitan de una buena obra de regulación aguas arriba, que impida las sobrecargas de agua en los canales. Desafortunadamente, o esta obra no existe o es extremadamente rudimentaria (ramas de árboles) y funciona mal. Así, el agua puede entrar en exceso en los canales de transporte y provocar inevitables derrumbes.

Como en muchos casos los canales se siguen en paralelo, el agua que desborda de la primera acequia viene a destruir la segunda, y así sucesivamente. En promedio, los derrumbes provocan la interrupción del servicio por más de un mes al año y constituyen un riesgo no despreciable para los cultivos. Adecuadas obras de regulación (vertedero lateral adecuadamente dimensionado) evitarían este tipo de problemas.

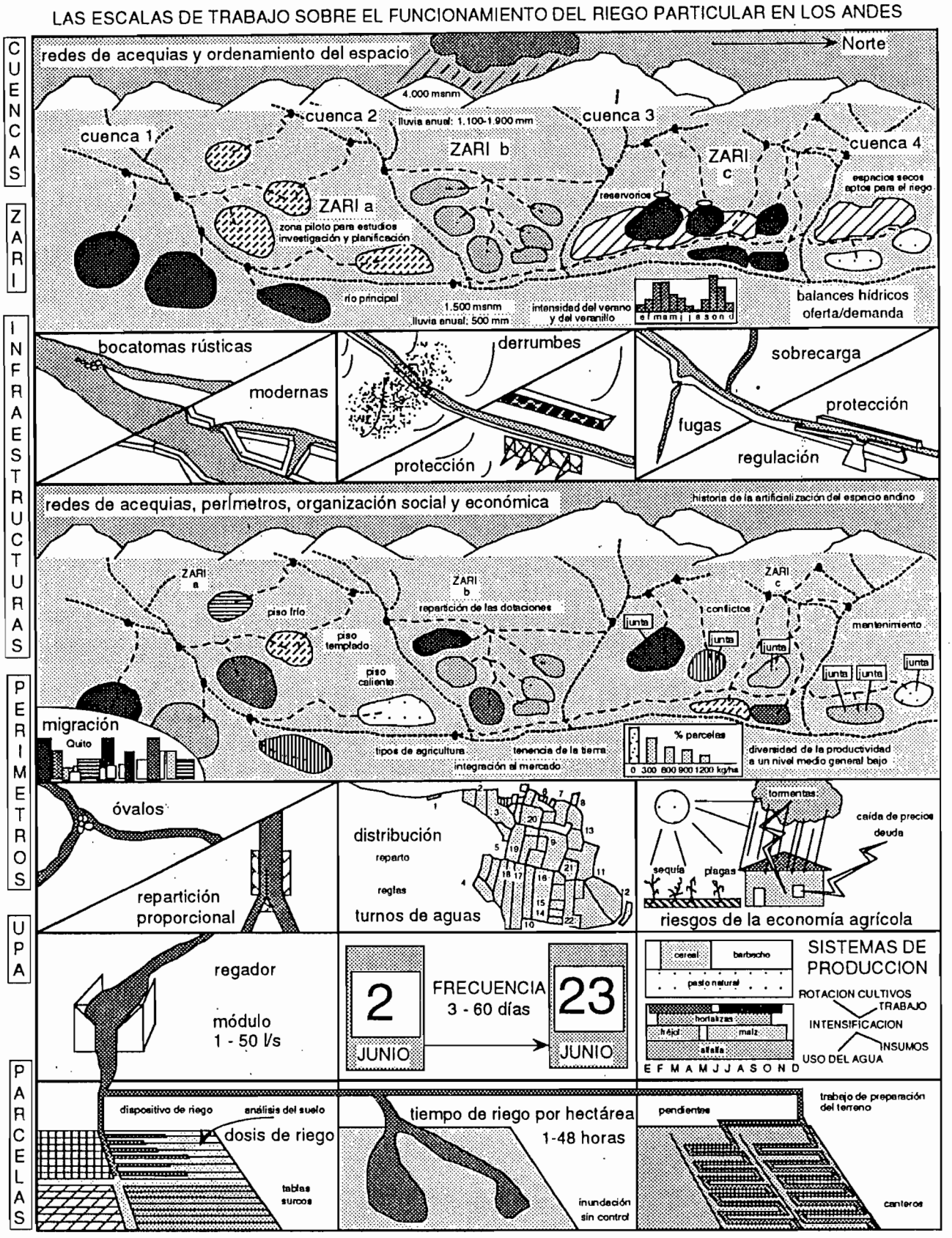


Fig. 5 - Esquematización de la recolección, del transporte y de la utilización del agua en una ZARI
Los diferentes niveles de análisis

El transporte del agua por canales de tierra es a menudo objeto de las principales críticas, respecto a las redes tradicionales: la eficiencia sería reducida. En consecuencia, cuando se considera una rehabilitación, esta prevé el revestimiento de las acequias con hormigón. Sabiendo que en la sola cuenca del Mira existen 1.200 km de canales, se puede estimar que en la Sierra se alcanzaría los 10.000 km. Se observa entonces que el INERHI se ha dedicado a una verdadera obra de titanes.

Afortunadamente, las medidas realizadas en toda la cuenca demuestran lo contrario: las eficiencias lineales de transporte se ubican entre el 95 % y el 110 %. Estas medidas son confirmadas por la ausencia de correlación entre las longitudes y los caudales transportados, lo que no quiere decir que los canales de tierra no pierdan agua; la vegetación que los rodea y que los marca en el paisaje demuestran lo contrario. Lo que ocurre es que juegan un papel de canales de drenaje y recuperan buena parte de las flujos subsuperficiales provenientes de los páramos. Existe una ligera correlación existe entre la eficiencia y la altura de ubicación de los canales, pero debe sin embargo, ser confirmada en otras cuencas.

La antigüedad de los canales de tierra demuestra que éstos no necesitan un revestimiento de hormigón para resistir al desgaste provocado por el tiempo. Se debe por lo tanto abandonar este tipo de intervención y más reforzar los puntos débiles (muy puntuales).

3.3 Equidad en la repartición

Si nos referimos a la situación de la cuenca del Mira, las dotaciones de agua revelan grandes variaciones, yendo de 0,1 a 2 l/s/ha. Obviamente, el análisis de este indicador debe realizarse en función del piso bioclimático. Sólo entonces toma sentido el juicio sobre la equidad de la dotación general entre perímetros.

	dotación baja	dotación media	alta dotación
Piso frío 2.700 - 2.300 m	1 500 ha 0,1 l/s/ha	2.200 ha 0,25 l/s/ha	2.100 ha 0,4 l/s/ha
Piso templado 2.200 - 2.700 m	5 000 ha 0,2 l/s/ha	5.200 ha 0,45 l/s/ha	3.800 ha 0,7 l/s/ha
Piso caliente 1.500 - 2.000 m	3.000 ha 0,3 l/s/ha	2.900 ha 0,6 l/s/ha	3.100 ha 1,0 l/s/ha

Caudales ficticios continuos observados en aproximadamente 200 perímetros del Mira

En promedio, en cada piso, las diferencias pueden triplicarse. Esta desigualdad en la dotación puede explicarse por el hecho de que un cierto número de usuarios buscan aumentar la dotación (respecto a las concesiones) de sus sectores previendo una fuerte baja del caudal disponible. Por otra parte, una situación de excedente de dotación permite un margen de maniobra confortable en el uso: se puede practicar riego aproximativo sin esfuerzo de arreglos en la parcela, con un mínimo de trabajo, es decir a menor costo. La desigualdad en la dotación no corresponde exactamente a la desigualdad en la propiedad, actualmente primordial en los problemas agrarios del país. Ciertos sectores campesinos han logrado apropiarse del agua de riego en cantidades globalmente satisfactorias, a veces a costa de luchas difíciles y largas, como en Urcuquí (cuenca del Mira).

De una manera general, el proceso histórico de construcción de las redes de riego ha desembocado en estas desigualdades, apareciendo sectores sin agua, sectores con dotaciones medianas y sectores bien atendidos. El INERHI no ha podido modificarlos con el sistema de concesiones públicas.

3.4 La distribución del agua al interior de los perímetros

Las variaciones del turno de agua tienen todos los valores posibles según los sitios: presencia o ausencia de turno de agua organizado, módulos de distribución que van de 1 a 50 l/s, tiempo de riego por hectárea de 2 a 48 horas, frecuencia de 3 a 30 días, repartición con horarios fijos o variables, etc.

Aquí, el elemento histórico es fundamental. El turno de agua constituye la herencia de la opción de las generaciones anteriores de usuarios, basados en las necesidades de la época de su concepción y en las reglas sociales vigentes.

Ahora bien, las condiciones del medio socio-económico y probablemente las del clima han evolucionado, al igual que los sistemas de producción agrícola. En muchos casos, el turno de agua es ahora inapropiado.

A veces, el turno de agua ha sido modificado para responder a las necesidades manifestadas por un grupo de campesinos capaces de hacer aceptar las modificaciones por el conjunto de usuarios. Es el caso de Pimampiro en donde se ha adaptado un turno de agua con una frecuencia muy corta, de 3 a 5 días, con el fin de desarrollar los cultivos hortícolas especulativos (turno de agua elaborado con el apoyo de un ingeniero del INERHI al momento de la concesión oficial).

Pero en otros lugares, la inercia campea y las diferencias de intereses paralizan toda veleidad de cambio, o simplemente, la complejidad del problema impide a los sucesivos dirigentes de las juntas de agua plantear el problema de la adaptación.

La ausencia de turno de agua acarrea una repartición desigual del agua entre los usuarios, de aguas arriba en dirección aguas abajo. Si hay un excedente del recurso, no hay mayor problema ya que alcanza siempre hasta los últimos usuarios. En caso contrario, aparecen las tensiones.

En el caso de las redes llamadas « comunales » que son frecuentemente muy antiguas, es la presión sobre el recurso agua la que obliga a los usuarios a organizar el turno de agua (en la mayoría de casos desde fines del siglo XIX hasta mediados del siglo XX). En el Ecuador es entonces un fenómeno muy reciente que corresponde al crecimiento demográfico y a la evolución de la propiedad agrícola. La región más precoz en la apropiación de la tierra por parte de los campesinos y en la organización de asociaciones de usuarios del riego es la provincia de Tungurahua, localizada 150 km al sur de Quito. Esta región es actualmente la mas densa de los Andes: cuenta con aproximadamente 500 habitantes por kilómetro cuadrado agrícola.

En el caso de las redes llamadas de « aguas compradas », las asociaciones se constituyeron al momento de la construcción de los canales. Sus miembros compraron partes que posteriormente les dieron derechos precisos e inalienables sobre el agua. La repartición del recursos entre los campesinos se realizó en base a una norma propuesta para todos: un módulo, un tiempo de riego por hectárea y una frecuencia, estando las tres cosas ligadas entre sí. La selección correspondía a las necesidades de los sistemas de producción de la época, los cuales han evolucionado y se han intensificado, por lo que la tensión ligada al uso del agua se ha acrecentado, particularmente en la estación seca.

Las frecuencias largas (suficientes para complementar los cultivos pluviales) constituyen un freno a la intensificación de los cultivos anuales en verano. Los módulos demasiado débiles no permiten regar correctamente los pastos. Los aguateros deben enfrentar desórdenes y conflictos que tratan de solucionar día a día.

El aumento de usuarios del agua conlleva a una intensa microparcelación. En ciertas regiones (Tungurahua), el turno de agua se controla con un cronómetro de una precisión de medio minuto. ¿En tales condiciones, qué sucederá con esos sistemas en el año 2000?

Queda por examinar si la repartición del agua es equitativa, es decir proporcional a las superficies cultivadas. Se puede dudar de ello en el caso de los sistemas de « aguas compradas » , en la medida en que los primeros usuarios adquirieron partes financieras.

En las redes comunales, reina igualmente una cierta desigualdad, aunque las diferencias sean limitadas (el doble o el triple).

Estas diferencias se explican por los objetivos iniciales de los que poseedores de derechos: si querían simplemente asegurarse un aporte complementario para sus cultivos pluviales, solo tomaban un mínimo de horas; si, por el contrario, tenían como estrategia obtener un cultivo en la estación seca, argumentaban una necesidad superior que justificaban con la existencia de una familia numerosa y con hijos capaces de realizar conjuntamente con sus padres tal intensificación de la producción.
Una vez registrados, los derechos se transmitían a los herederos conjuntamente con la tierra y su discusión (teóricamente posible) pondría en peligro el frágil consenso existente.

Curiosamente, la doble necesidad de riego (complemento a las lluvias durante el invierno, y necesidades de las plantas durante el verano) nunca ha dado lugar a una alternativa de turno de agua adaptado a cada situación.

Finalmente, se debe anotar la poca eficiencia de las redes de distribución, ligada por un lado a la longitud de los canales, y por otro, a la utilización de repartidores constituidos por chambas que no permiten una adecuada distribución.

Las pérdidas de agua son considerables cuando no existen reservorios para almacenarla durante la noche.

3.5 La aplicación a la parcela

Los dispositivos de esparcimiento del agua funcionan generalmente por gravedad. Sólo unas pocas haciendas modernas han adoptado la técnica por aspersión.

Los dispositivos por gravedad van desde el más elemental al más elaborado: aplicación del módulo en la parcela sin ningún acondicionamiento para dispersarlo, o creación de surcos en zigzag en los campos de fuerte pendiente. Los suelos muy arenosos tienen reservas útiles reducidas (30-50 mm por metro) y una gran porosidad que dificultan el riego. La dosis aplicada por los campesinos es frecuentemente superior a lo que puede almacenar el suelo y tomar las plantas. Ante la falta de apoyo técnico en investigación-desarrollo, los campesinos adoptan un dispositivo más o menos complejo de surcos agrupados cuya longitud está fijada en función del avance del agua y de los límites de las parcelas.

Los primeros resultados de las observaciones realizadas en una decena de parcelas, con seguimiento diario, muestran eficiencias de aplicación del orden del 50 %.

3.6 Organizaciones sociales y mantenimiento de las redes

Luego de la promulgación de la Ley sobre el agua en 1972, el INERHI administra el recurso otorgando concesiones a los usuarios o grupos de usuarios organizados.

Si bien, en el primer decenio de aplicación de esta política, el otorgamiento de concesiones permitió a los grupos de usuarios registrar sus antiguos derechos, la reciente evolución de los conflictos y la de las organizaciones campesinas plantean nuevos problemas: existe atomización y multiplicación de las asociaciones de usuarios con el consiguiente aumento de las tensiones entre grupos pertenecientes a los mismos sistemas de riego.

El aumento de la demanda de agua en las redes antiguas acarrea una considerable falta de respeto de los turnos de agua. Ahora bien, la función de « policía del agua » ya no es verdaderamente ejercida por nadie. En ciertos casos, el mantenimiento ya no es realizado correcta y regularmente, por falta de consenso entre las partes involucradas y por falta de quienes participen en la tarea.

A largo plazo, las consecuencias pueden llegar a cuestionar la existencia misma de la red con efectos económicos y sociales desastrosos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- CADIER , E.; POURRUT, P., 1979. Inventaire et détermination des données nécessaires à l'utilisation rationnelle des ressources en eau dans le cadre d'une planification globale des ressources naturelles renouvelables. L'expérience de l'Équateur, in *Cahiers ORSTOM*, serie Hidrología, Vol. XVI, nº 3 et 4.

- POURRUT, P., 1980. Estimation de la demande en eau du secteur agricole et des disponibilités pour la satisfaire. Éléments de base pour la planification de l'irrigation en Équateur, in *Cahiers ORSTOM*, serie Hidrología, Vol. XVII, nº 2.

- LE GOULVEN, P., 1986. *Élaboration du Plan National d'Irrigation ; analyse de la situation et conception générale*, INERHI-ORSTOM, Quito, 1986, 22 p. (francés, español).

- RUF, T.; LE GOULVEN, P., 1987, L'exploitation des inventaires réalisés en Équateur pour une recherche sur les fonctionnements de l'irrigation, in *Bulletin de liaison N° 12* « Équateur », ORSTOM, Departamento H, 06/87, París, p. 30-47 (francés, español).

- LE GOULVEN, P.; RUF, T.; RIBADENEIRA, H., 1987. *Méthodologie générale et détails des opérations du projet INERHI-ORSTOM*, INERHI-ORSTOM, Quito, 91 p. + an. (francés, español).

- RUF, T.; RIBADENEIRA, H., 1987. *Selección de Micro-cuencas representativas en la Sierra*, INERHI-ORSTOM, Quito, 30 p. + an. (francés, español).

- RUF, T., 1987. *Usted dijo « sistemas de producción », yo comprendí « sistemas de producción », ensayo sobre el análisis de los conceptos y de los modos*, Conferencia en el Seminario « Sistemas Agrarios en el Perú », UNALM-ORSTOM, Lima, 10/87, 39 p.

- LE GOULVEN, P., 1988. *Homogeneización de los datos pluviométricos*, Conferencia en el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Quito, marzo de 1988, 23 p.

- LE GOULVEN, P., 1988. *El vector YBM., resumen metodológico; programas V1, V2, V3, manual del usuario*, INERHI-ORSTOM, Quito, 14 p.

- LE GOULVEN, P.; ALEMÁN, M.; OSORNO, I., 1988. Homogeneización y regionalización pluviométrica por el método del vector regional, in *Actas del V Congreso Ecuatoriano de Hidráulica*, Quito, p. 59-83.

- LE GOULVEN, P.; RUF, T.; RIBADENEIRA, H., 1989. *El Agua y el Campesino*, Seminario del Centro Internacional de Cooperación para el Desarrollo Agrícola (CICDA), Cuenca, 17 de junio de 1989, 25 p.

- LE GOULVEN, P.; RUF, T.; RIBADENEIRA, H., 1989. Traditional irrigation in the Andes of Ecuador, (1) Research and Planning, in *Actas de la Seventh Afro-Asian Regional Conference of International Commission on Irrigation and Drainage (ICID)*, Tokyo, octubre de 1989, p. 351-361.

- LE GOULVEN, P.; RUF, T.; RIBADENEIRA, H., 1989. Traditional irrigation in the Andes of Ecuador, (2) Dysfunctions and Rehabilitation, in *Actes de la Seventh Afro-Asian Regional Conference of International Commission on Irrigation and Drainage (ICID)*, Tokyo, octubre de 1989, p. 362-371.

- RUF, T.; LE GOULVEN, P.; RIBADENEIRA, H., 1990. *Principales problemas del diagnóstico sobre el riego tradicional andino en el Ecuador*, ponencia en el Seminario « Manejo del riego andino », Cajamarca, 20-27 enero de 1990, 15 p.

Com :
Colloquio Internacional " Agriculturas y campesinos en América latina "
Centro Nacional de Investigación Científica
CNRS/Universidad Le Mirail, Toulouse, 13-14/12/90.

DISFUNCIONAMIENTOS Y ADAPTACIONES EN LOS SISTEMAS AGRARIOS BAJO RIEGO EN LOS ANDES DEL ECUADOR

por Thierry Ruf*, Patrick Le Goulven**

RESUMEN

En 30 años, las regiones regadas "tradicionales" (redes de riego ya antiguas de unos 50 años) conocieron evoluciones muy diferentes, como el abandono de la agricultura y la marcha masiva hacia nuevas cuencas de empleo urbanas o agrícolas (Llanuras Costeras), o, al contrario, la constitución de sistemas de producción muy intensivos que permiten a la poblacíon agrícola mantenerse en el campo, aun con densidades vecinas de 500 habitantes por kilómetro cuadrado agrícola (útil).
Sin embargo, todos los sistemas agrarios que utilizan infraestructuras regadas antiguas padecen disfuncionamientos vinculados con la mobilización del agua, su transporte, su repartición, su distribución y su aplicación, con el mantenimiento del conjunto, bajo el efecto de cambios demográficos, socio-económicos, y teniendo en cuenta la evolución de los sistemas de producción.
Por falta de adaptación, de resolución de los problemas de gestión del agua, estas redes podrían desaparecer, pasando por etapas conflictuales entre las diferentes partes #que perciben.

* Agro-economista, Misión ORSTOM, Apartado 17.11.06596, Quito - Ecuador
** Hidrólogo, Misión ORSTOM, Apartado 17.11.06596, Quito - Ecuador

1. LA DIVERSIDAD AGRARIA ANDINA

El Callejón Interandino en el Ecuador cuenta, desde el Norte hacia el Sur, con una serie de grandes cuencas hidrográficas independientes, a veces abiertas en la llanura costera (la Costa), otras en la amazonía. El relieve es de origen volcánico en el norte, tectónico y sedimentario en el sur.
Las crestas tienen una altitud promedia de 4000 m. La red hidrográfica de tipo torrencial estructura el espacio andino en entidades geográficas, cuyos accesos son a menudo difíciles.

Algunas quebradas representan verdaderas barreras, especialmente en los písos sub-tropicales (1600-2400m) sometidos a un clima mesotérrmico seco (P<600mm, 8 a 12 meses secos, ETP - P =150 a 600mm).

El piso templado (2400-3000 m) recibe una pluviometría más abundante (600-1000 mm) pero irregularmente repartida en el año : las lluvias son escasas en el verano (junio-septiembre) así como en el "pequeño verano" (diciembre-enero). Este fenómeno también existe con menos importancia en el piso frío (3000-3600m).

Los déficits hídricos permanentes o que tienen bastantes probabilidades de aparición, generaron la creación de redes de riego referentes al conjunto de los tres pisos bio-climáticos. Se evalua la superficie agrícola bajo infraestructura regada en unas 500 000 hectáreas, de las cuales, más de los tres cuartos dependen de las redes antiguas.

La población agrícola, que todavía representa más del 50% de la población total de los Andes, no ocupa el espacio agrario de manera homogénea . Por una parte, el piso templado está más poblado que los pisos subtropicales y fríos, por otras partes, el mantenimiento del dominio de las haciendas en algunas cuencas, la crisis de la agricultura campesina pluvial en otras regiones, explican una mosaico de densidades de población sorprendente en las diferencias de empadronamiento, así como en la observación de los paisajes.

Calculada al kilómetro cuadrado agrícola, la densidad varía de un valor casi nulo a un valor próximo del medio millar de habitantes por kilómetro cuadrado. De un desierto humano, se puede pasar en poco tiempo a lo que J.L. Sabatier calificaba como "China de los Andes" (misión de apoyo al proyecto, feb. 89).

Frente a esta diversidad de condiciones geomorfológicas, climáticas y humanas, se encuentra una serie de situaciones agrícolas muy variadas. La utilisación del suelo puede ser clasificada según los pisos, las dominantes territoriales y las dominantes de producción.

Del lado de las haciendas, se distinguen tres familias principales :

- los sistemas de ganadería extensiva en pastos naturales (en todos los pisos);
- los sistemas agro-industriales de tipo Caña de azucar (en asociación eventual con sistemas de ganadería) (piso subtropical);
- los sistemas de cultivo extensivo de cereales basados en el trigo y la cebada (piso templado o frío).

En las zonas campesinas, se encuentran :

- los sistemas de autosubsistencia basados en un monocultivo como el maíz en el piso templado;
- los sistemas de policultivos a veces asociados con la ganadería, con casos de cultivo contínuo muy intensivo (2 cultivos al año).

La cuestión de la génesis de estos sistemas y de su dinámica no fue tocada en el Ecuador.

2. IMPORTANCIA DEL RIEGO

En el piso frío y en el piso templado, la agricultura pluvial puede ser practicada con los riesgos vinculados con las sequías y con las fechas de su manifestación. El riego se vuelve un elemento regulador de la producción de cultivos pluviales. Su práctica permite evitar una gestión de reservas alimenticias para enfrentar varios años de malas condiciones climáticas.
Por otro lado, por falta de reserva de forraje, el riego de los pastos naturales favorece el mantenimiento de una ganadería de proximidad en la zona templada, sin recurrir a la trashumancia hacia pastos de altas montañas.

Las redes andinas tradicionales que existen actualmente fueron establecidas en el transcurso del período colonial y después de la independencia, a lo largo del siglo XIX. En realidad, nunca se suspendió la construcción de nuevas acequias, las que hoy en día están establecidas sólo constituyen el último eslabón de una larga cadena de acondicionamientos superpuestos.

Algunos autores trataron de demostrar la existencia de acequias prehispánicas en los Andes ecuatorianos. Hasta ahora, nuestras investigaciones sobre el Archivo de los Juicios de riego no aportan certeza alguna en cuanto a la realidad de un riego a gran escala de las zonas templadas y de las zonas subtropicales.

La configuración actual de los acondicionamientos, el fechado de la construcción de las redes y la resolución de los conflictos de propiedad y de derechos de uso a lo largo de los siglos, muestran que el agua de riego es una postura fundamental entre los grupos sociales quienes controlan el territorio para regar así como el territorio que provee el recurso, las altas cuencas vertientes bien regadas por las lluvias.
Conforme a las necesidades y según los conflictos pendientes, las haciendas establecieron acequias propias, que primero explotan los recursos próximos, pero poco abundantes, luego, recursos lejanos.
A veces, sus propietarios buscaban un apoyo ante otras haciendas pero también ante algunas comunidades campesinas "libres", las cuales, en cambio de trabajo o por la compra de "acciones", recibían derechos de agua.

En 1972, algunos años después de la reforma agraria, intervino la reforma de la legislación del agua. Se promulgó la nacionalización de las aguas y su gestión fue confiada a un organismo público, el Instituto Nacional de los Recursos Hidraulicos, encargado principalmente de conceder los derechos de agua para períodos renovables de 10 años.
En realidad, el INERHI constituyó sobre todo una cámara de registros de derechos más antiguos, que perseguía una política de acondicionamientos nuevos a base de grandes proyectos costosos en los Andes así como en la Costa.

3. EVOLUCIÓN COMPARADA DE 5 SISTEMAS ANDINOS RELACIONADOS CON EL RIEGO.

La complejidad de las redes, el enredo de las acequias, las transferencias de cuencas vertientes, nos llevaron a estudiar los problemas de funcionamiento del riego dentro de una entitad espacial coherente : la "Zona de análisis y de Recomendaciones para el Riego" (ZARI) es la unidad espacial de la mobilización, del transporte y del uso del agua de riego. En los casos sencillos, es la parte intermediaria entre dos grandes torrentes colectores.

31. La ZARI de Urcuquí : conflicto con el Gamonalismo para recuperar sus derechos sobre la acequia del pueblo.

Ubicado en la cuenca del Mira, al oeste de Ibarra, a 2300 m de altitud, Urcuquí fue en los años 1920-1940, un símbolo de las luchas campesinas en contra de los grandes terratenientes. La acequía "grande" o "caciques" fue establecida en 1592 por los indígenas del pueblo, para regar sus tierras.
A lo largo de los siglos, las haciendas ubicadas abajo del territorio campesino, concentraron los derechos de agua de la acequia (por diferentes procesos de compras o de atribución de los derechos).
Al principio del siglo XX, Urcuquí sólo disponía de algunos litros por segundo.

La mobilización del pueblo (que se volvió esencialmente mestizo) contra el hacendado principal, el famoso Jijon y Caamaño, desembocó en 1944 en la restitución oficial de todo el caudal para Urcuquí (adquirida en la Asamblea Constituyente en Quito). Un turno de agua fue organizado entre los campesinos en la siguiente base : un módulo de 33l/s ("molino") durante 3 horas por hectareas, cada 21 días.
El privilegio de los caciques fue mantenido, el turno de agua paraba durante dos horas cada 14 días, en su beneficio. Este sistema contentaba a los agricultores quienes deseaban disponer de agua para el maiz cultivado en pluvial, en caso de sequía, y para regar durante el verano un pasto natural. La ampliación del reservorio ubicado en la entrada del perímetro, realizada por el INERHI en 1980, facilitó la gestión de la red de distribución que funciona solamente durante el día.

Sin embargo, después de un período de desarollo económico y demográfico, los parámetros del turno de agua ya no corresponden con las necesidades de los sistemas de producción. Se notan dos evoluciones contradictorias : los que desean cultivar más intensivamente los cultivos de ciclo corto (succesión maíz "choclo" - fréjol fresco) tendrían más seguridad de cultivo si se redujera la frecuencia de riego, lo que implicaría un trabajo con módulos más pequeñas. Al contrario, los que desean desarollar la producción forrajera, necesitan principalmente módulos grandes para repartir el agua en los pastos.

En fin, grupos campesinos indios o mestizos, quienes trabajan arriba del territorio de Urcuquí, desean disponer de derechos de agua. Sus cultivos fueron gravemente afectados por las sequías de los 3 últimos años.

32. La ZARI de Pifo, urbanización y riego en casi ausencia de campesinos

Al este de Quito, en la cadena oriental de los Andes, los terruños de Puembo (2200-2400 m) y de Pifo (2400-3500 m) fueron artificializados por cuatro siglos de acondicionamientos.
Existen unos treinta sistemas tradicionales así como un aporte espectacular realizado por el INERHI, por medio de un sifón que permite cruzar el valle del río Guambi.

Hace 30 años, la ZARI, unida a la Capital por la línea de ferrocarril Quito-Ibarra, se vio incluida en la zona de influencia de la Capital, la cual iba a conocer un crecimiento urbano y demográfico muy importante, vinculado con la renta petrolera.
La ZARI contaba con dos zonas campesinas alrededor de los burgos de Puembo y de Pifo, rodeados por dos grandes sectores de haciendas : río abajo de Puembo, entre los dos pueblos y más arriba de Pifo.
Cada sector disponía de sistemas de riego propios, pero cuyo mantenimiento era frágil y costoso.

Hoy en día, la zona central de hacienda desapareció después de especulaciones sobre las tierras peri-urbanas. Estas también afectan la zonas aldeanas.
Se crearon pequeñas propiedades que pertenecen a la clase media de Quito, quien las utiliza como residencias principales o de fin de semana, explotando la tierra de manera muy extensiva, asegurándose los servicios de guardias-cultivadores.

Las asociaciones de regantes desaparecieron. La red tradicional de riego fue abandonada por falta de mantenimiento, y el proyecto del INERHI se substituyó con un esfuerzo de su parte, y con un precio subvencionado : unos 30 francos franceses por hectárea y por año para un caudal contínuo de 1 l/s. Este módulo no es suficiente para poder lograr una aplicación a la parcela. Sólo las grandes propiedades que generalmente tienen tanques de almacenamiento pueden valorisar esta agua.

Si algunas propiedades invertieron en actividades de trabajo intensivo como el cultivo de las flores en invernadero o la ganadería (o cría) avícola, la mayoría de las que subsisten río abajo de Puembo practican sistemas extensivos de ganadería, o ya no cultivan, y empiezan a preparar la próxima "urbanización de los campos".

3.3 La Zari de Santa Rosa de Pilahuin : donde se percibe el potencial de evolución de la agricultura andina regada.

En las estribaciones del chimborazo y del Carihuayrazo, se extiende el sorprendente paisaje de Santa Rosa y de Pilahuin : una multitud de campos de algunas areas cubren todo el espacio. Es un mosaico muy colorado. En cualquier período del año, se observan cultivos variados, con diferentes grados de vegetación, parcelas donde cosechan los campesinos, otras donde se sacrifica el suelo con dos vacas pequeñas que tiran de un arado.
El cuidado que se tiene en los cultivos es excepcional, como lo muestra el dispositivo de riego compuesto por surcos de arado en zigzag, o el control de los adventicios.

La provincia de Tungurahua evolucionó muy rapidamente hacia una agricultura comercial y campesina.
A finales del siglo XX, parece que los grandes propietarios renunciaron a sus haciendas. El capital en tierra fue transferido a las actividades comerciales muy activas, en particular para alimentar las poblaciones en migración hacia la llanura costera (expansión del Cacao al pie de los Andes).
El Ferrocarril Quito-Guayaquil acentuaba la importancia de punto estratégico de los intercambios entre la Sierra y la Costa, sin descuidar la zona de penetración amazónica hacia Puyo, cuyo punto de partida es Ambato.

En menos de 100 años, el sistema agrario de Santa Rosa se densificó. Hacia 1900, algunas haciendas se peleaban los derechos de agua sobre las altas cuencas vertientes del Curihuayrazo.
La tierra y el agua fueron repartidas a medida de las ventas y de las succesiones. Entre 1973 y 1988, el número de usuarios de la Acequia "Casimiro Pazmiño" duplicó (600-1200). Eran 5 socios en 1895.

Esta atomización siempre hace más compleja la administración de las acequias, a veces largas de unas dezenas de kilómetros, que ponen en comunicación a numerosas comunidades cuyas relaciones son conflictivas.
El turno de agua se realiza hoy en día gracias a los cronómetros de relojes japoneses, con un márgen de medio minuto. En caso de incidente en el recorrido sinuoso (y de acceso dificil) de la acequia principal, la mobilización colectiva ("minga") es difícil.
Cada vez más agricultores prefieren no desplazarse y mandar a un obrero agrícola jornalero, o pagar la multa si lo decide la asociación de los usuarios de la acequia.

3.4 La ZARI de GUAMOTE : ¿ el final de la agricultura ?

En la misma cuenca hidrográfica que Santa Rosa, pero al extremo sur, la región de Guamote constituye la antitesis del Tungurahua. El exodo rural vació de estos altiplanos los terruños que en otro tiempo eran cultivados bajo el régimen autoritario de hacendados.

Sólo las zonas equipadas con pequeños sistemas de riego todavía tienen una población sedentaria, aunque la mayoria de los hombres emigren hacia la Costa. Las mujeres y los niños se quedan en el mismo lugar, vigilan el cultivo pluvial de cebada y las pocas ovejas o vacas que poseen.

Los animales desempeñan un papel de ahorro familiar mantenido más o menos bien sobre pastos naturales regados de manera aproximativa. El crecimiento del ganado, resultado de la migración, está basado, casi exclusivamente, en este recurso forrajero. Como en casi todos los Andes, la trashumancia es menos practicada. Los campesinos desearon más bien repartirse las tierras comunales.

El final de las pequeñas redes de riego generaría una crísis de ahorro y el riesgo de una desertificación humana total de las regiones centrales de los Andes ecuatorianos. Un esfuerzo debería ser emprendido para mejorar la productividad de los pastos, o almacenar reservas forrajeras, especialmente para enfrentar las estaciones secas.

3.5 La ZARI de LUDO-GIMA en Azuay : una fuerte demanda en red de riego

En el alto valle del río Santa Barbara en Azuay, la puesta en cultivos de las tierras del piso templado ya tiene unos treinta años. Las haciendas, divididas en bloques de unas dezenas de hectareas de matorrales, fueron roturados por familias de colonos mestizos procedientes de las zonas vecinas.
Hoy, el territorio ya no es suficiente para alimentar una población de 5000 personas que viven en 2000 hectareas. El cultivo principal, el maiz pluvial, se hace de manera muy extensiva, con un rendimiento que no supera casi nunca los 500kg/ha.

Como en el conjunto de los Andes del Sur del pais, la migración provee lo esencial de los ingresos de las familias, con la artesanía (fabricación por las mujeres de sombreros panamá).
Pero, cuando en la ZARI de Guamote la población emigra de manera definitiva, en Ludo, se nota un apego al pueblo o al caserío de origen. Los emigrantes invierten en la vivienda y en la compra de tierra, ahorran gracias a la ganadería, y utilizan pequeñas redes, cuando existen, para regar pastos naturales.
Se asiste a la degradación de los pastos por sobrecargas animales y por acceleración del ritmo de utilización. A la vez, existe una falta de agua y una administración inadecuada de los recursos forrajeros.

La demanda de creación de una red de riego aumenta en los campesinos, aunque muchos dudan de la realización del proyecto imaginado por un cura hace 10 años.

4. LOS DISFUNCIONAMIENTOS PRINCIPALES DE LOS SISTEMAS DE RIEGO ANDINOS.

4.1 La mobilización del agua.

En la estación seca, los recursos disponibles en una altitud dada, primero fueron limitados a los pequeños torrentes que rodean las lomas. Con la mobilización de la mano de obra indígena, los hacendados emprendieron la construcción de acequias susceptibles de transferir aguas de cuencas vertientes lejanas pero más productivas o regulares.
En las zonas regadas del centro y del norte, se explota el conjunto de los recursos hídricos del callejón interandino. En un torrente dado, puede existir una dependencia importante entre las tomas río arriba y río abajo durante el estiaje.
En ausencia de almacenamiento, si no existe otro recurso captable, la necesidad en agua de los perímetros río abajo ya no es satisfecha. Nacen entonces conflictos de mobilización y de apropiación de las aguas de los torrentes y de los rios, que pueden llevar a la "guerra de las tomas" (destrucción o modificación de las obras).

4.2 El transporte del agua

En algunas regiones, el principal problema de transferencia del agua radica en las numerosas interrupciones de servicio vinculadas con los derrumbes que provienen de sectores que dominan la acequia, o también con los hundimientos de la misma acequia. Este fenómeno tiene repercusiones graves en el uso del agua. Es uno de los elementos que compone el "riesgo de período sin agua" evaluado por los campesinos para tomar sus decisiones.
Con respecto al riesgo pluviométrico en cultivo seco, el riesgo de escasez de agua de riego en un momento dado, es a la vez consecuencia de los azares climáticos en la zona de producción, la alta cuenca vertiente, de los fenómenos agresivos en los segmentos de transporte, y de decisiones humanas que perjudican las transferencias normales : falta de regulación en caso de crecimiento violento del caudal del río, sobrecarga de la acequia que termina cediendo, o también cultivo de terreno inclinado encima de la acequia, con fuertes riesgos erosivos.
Esta última causa proviene de la subida de la frontera agrícola en altitud y sobre los terrenos marginales; está relacionada con la presión demográfica, la reforma agraria, el hecho de haber apartado a los antiguos obreros agrícolas de las haciendas, o también la división de las tierras comunales.
Sin embargo, la causa primera de estas interrupciones de servicio debe ser vinculada con los problemas de organisación del mantenimiento de las redes tratados en el punto 4.7.

4.3 La repartición de los recursos en agua.

¿ El agua disponible es distribuida de manera equitativa en una ZARI ? Se puede hacer la pregunta conociendo los elementos siguientes :

- la construcción de la mayoría de las redes fue decidida, hasta el principio del Siglo XX, por los grandes terratenientes, mobilizando la mano de obra campesina con poco gasto;

- la restructuración de la propriedad de los años 1950-1980 mantuvo la gran propiedad en las tierras bajas y regadas, echando a los campesinos hacia las pendientes difíciles de cultivar.

- la nacionalización de las aguas por el Estado y su administración por el INERHI desde 1972 tenía que resolver los numerosos conflictos que estallaban con violencia. El sistema de las concesiones otorgadas por el INERHI por un período de 10 años a los usuarios que tenían que hacer la petición de manera obligatoria, debía permitir mantener una cierta igualdad en las dotaciones.

Si se refiere a la situación de la cuenca del Mira en el norte del pais, las dotaciones en agua expresadas por los caudales ficticios contínuos (litros/segundos/hectarea) hacen aparecer variaciones importantes, que van desde 0,1 hasta 2 l/s/ha.
Desde luego, el análisis de este indicador tiene que hacerse en función del piso bio-climático. Entonces, el juicio sobre la igualdad de la dotación general entre perímetros toma un sentido (cuadro 1.).

l/s/ha	dotación débil	dotación mediana	dotación fuerte
Piso frío 2700-3300m	1500 ha 0,1	2200 ha 0,25	2100.ha 0,4
Piso templado 2200-2700 m	5000 ha 0,2	5200 ha 0,45	3800 ha 0,7
Piso caliente 1500-2200m	300 ha 0,3	2900 ha 0,6	3100 ha 1,0

Cuadro 1 - Caudales ficticios contínuos observados sobre unos 200 perímetros del MIRA (caudales medidos en superficies realmente regadas).

La desigualdad en dotación puede explicarse por el hecho de que un cierto número de usuarios procuran sobredotar (en las concesiones) sus sectores en una relación que sigue razonable, a fin de asegurar el abastecimiento en caso de baja fuerte del caudal disponible.
Por otra parte, una situación excedentaria en dotación permite un margen de maniobra confortable en el uso : se pueden practicar riegos aproximativos sin esfuerzos de acondicionamiento a la parcela, con un trabajo mínimo, o sea a menos costo.

La desigualdad en dotación no cubre exactamente la desigualdad territorial, sin embargo, es primordial en los problemas agrarios del pais. Existen haciendas poco dotadas y zonas campesinas aparentemente bien abastecidas.
Además, los conflictos de agua no solamente ponen en escena a las agrupaciones campesinas contra las haciendas. Es frecuente ver a los hacendados pelearse por el agua, y los inumerables juicios por "despojo de aguas", los cuales existen desde el Siglo XVII, son el testimonio de una gran tradición en la materia.
Algunos sectores campesinos lograron pues apoderarse del agua de riego en cantidad suficiente, a veces a precio de luchas difíciles y largas como en Urcuquí.

4.4 La repartición del agua entre campesinos : el turno de agua.

Las variables del turno de agua toman todos los valores posibles según los sitios : presencia o ausencia de turno de agua organizado, módulos de distribución que van desde 1 litro/segundo hasta 50 litros/segundo, tiempo de riego por hectarea desde 2 horas hasta 48 horas, frecuencia de 3 días hasta 30 días, repartición por horarios fijos o variables, etc.
Aún allí, el elemento histórico es fundamental. El turno de agua es la herencia compleja de la elección de las generaciones anteriores de usuarios, basada en las necesidades de la época de su concepción y en reglas sociales vigentes. Ahora bien, las condiciones del entorno socio-económico y probablemente las del clima, evolucionaron, así como los sistemas de producción agrícola.
En algunos casos, el turno de agua aparece hoy inadaptado. En otros casos, fue modifiacdo para responder a las necesidades expresadas por un grupo de campesinos capaz de hacer aceptar las modificaciones para el conjunto de los usuarios. Es el caso de PIMAMPIRO, donde se adoptó un turno de agua con frecuencias muy cortas de 3,5 días, a fin de desarollar cultivos especulativos de hortalizas (turno de agua elaborado con el apoyo de un ingeniero del INERHI en el momento de la concesión oficial).
Pero en otras partes, las inertias intervienen, las diferencias de interés paralizan toda veleidad de cambio, o más sencillamente, la complejidad del problema impide a los dirigentes succesivos de las juntas de agua de plantear el problema de la adaptación.

La ausencia de turno de agua genera una repartición desigual del agua entre los usuarios río arriba y río abajo. Si el recurso es excedentario, el problema no es mayor, ya que el agua sigue llegando hasta los últimos usuarios. Pero si el recurso se reduce, o si el número de usarios crece y si la superficie cultivada en estación seca aumenta, se vuelve un centro de preocupaciones.

En el caso de redes que llaman "comunales", a menudo muy antiguas, es la presión sobre el recurso agua que lleva a los usarios a organizar un turno de agua.
Que sepamos, el primer turno de agua fue organizado en el Ecuador en 1661, en el valle de Ambuqui (cuenca del Mira) después de un conflicto entre indígenas y colonos, habiendo tratado esto últimos de desposeer a los indígenas de sus derechos de agua. La justicia colonial paralizó los derechos de los unos y de los otros en un turno de agua semanal. Pero este caso es excepcional, vinculado con un tipo de agricultura casi de oasis (huertos de coca donde se cultivaba algodon y verduras).
Para el conjunto de los Andes, el período de los turnos es en el Ecuador un fenómeno bastante reciente que corresponde a la fuerte ola demográfica y a la evolución de la propiedad agrícola.

En el caso de redes que llaman de "aguas compradas", las asociaciones se constituyeron en el momento de la construcción de los canales. Sus miembros compraron partes que luego les daban un derecho de agua preciso y inalienable. La repartición del agua entre los campesinos se hizo en base a una norma propuesta para todos : un módulo, un tiempo de riego por hectarea, y una frecuencia (siendo las tres cosas ligadas).
La elección correspondía a las necesidades de los sistemas de producción de la época. Se trataba esencialmente de asegurar la producción alimenticia obtenida a partir de los cultivos pluviales (ciclos de octubre-abril). Sólo es en la segunda parte del siglo XX cuando evolucionan los sistemas hacia un uso permanente de la tierra, con la desaparición de barbecho, sea por el paso a sistemas de ganadería en pastos naturales o cultivados, sea por la intensificación de cultivos anuales que conducen a modelos de cultivos contínuos (dos cultivos al año o tres cultivos cada dos años). La tensión sobre el agua aumentó, particularmente en estación seca. Las frecuencias largas suficientes para complementar los cultivos pluviales son un freno a la intensificación de los cultivos anuales en verano. Los módulos demasiado bajos no permiten regar correctamente los pastos. Los aguateros tienen que enfrentar desarreglos y conflictos que tratan de arbitrar al día. El problema se agrava con el crecimiento del número de regadores. Así, en la provincia del Tungurahua, las asociaciones de regadores cuentan frecuentemente con más de 1000 miembros, distribuidos en varias parroquias atravesadas por múltiples conflictos de todo tipo.
La cinética de la microparcelización de las tierras y de los derechos de agua explican una parte de las dificultades de las juntas del agua : el número de parcelas unitarias se duplica cada 15 años. El turno de agua se hace bajo control de un cronómetro con precisión de medio minuto. ¿ En tales condiciones, que pasará con estos sistemas en el año 2000 ?

4.5. Las organizaciones sociales y el mantenimiento de los sistemas de riego.

Desde la promulgación de la ley sobre el agua en 1972, el INERHI administra el agua dando concesiones a los regadores o a los grupos de regadores organizados quienes hacen la petición (obligatoria). Si, en la primera década de aplicación, la colocación de las concesiones permitió a los grupos de usuarios de registrar sus antiguos derechos, la evolución reciente de los conflictos sobre el agua y la de las organizaciones campesinas plantean nuevos problemas : hay atomización y multiplicación de las asociaciones de regadores, con crecimiento de las tensiones entre agrupaciones que pertenecen a los mismos sistemas de riego. Este fenómeno puede ser avivado por las intervenciones públicas así como por las organizaciones no gubernamentales que actuan en el desarollo agrícola.
El crecimiento de las demandas en agua en las redes antiguas genera una frecuencia más importante de no respeto de los turnos de agua. Desde luego, la función de "Policía del agua" ya no está realmente asegurada por nadie. En algunos casos, el mantenimiento ya no está asegurado de manera correcta y regular, por falta de concenso entre las partes encargadas de organizar las mingas, y por falta de participantes. Una tendencia muy fuerte de numerosos campesinos es la de mandar en lugar de ellos a un jornalero, prefiriendo dedicar este tiempo de trabajo colectivo a sus actividades propias.
Aun, los graves incidentes con interrupciones de servicio no siempre son objeto de una mobilización rápida de una parte de los usuarios. Al final, las consecuencias pueden ir hasta interogarse sobre la utilidad de la red, con efectos económicos y sociales desastrosos.

Como ejemplo, presentamos a continuación la síntesis de los cambios que intervinieron en el piso templado de la cuenca del Mira. Un informe sistemático de todos los casos sería fastidioso. Además, este piso es el más representado en los sistemas de riego de la cuenca, con más de 12000 hectareas.

Analizaremos succesivamente las evoluciones desde los años 1950 para los cuatros grandes grupos de propriedad : las haciendas, las fincas, las pequeñas explotaciones campesinas y los minifundios. Claro, existen excepciones en estas trayectorias generales.

Las haciendas (más de 50 hectareas) se dedicaban antes al cultivo extensivo de cereales que utilizaba una mano de obra importante, bajo el estatuto de huasipungueros. Evolucionaron hacia sistemas de ganadería extensivos en pastos, no siempre regados en su totalidad cuando no cambiaron las disponibilidades en agua.
La carga en ganado varía de 0,5 a 1 Unidad Animal por hectarea forrajera. La explotación funciona con una mano de obra poca importante (8 a 15 hectarea por trabajador). La productividad expresada en litros de leche producido por hectarea forrajera es poco importante : 1500 a 3000 litros. El riego no generó un crecimiento de la productividad agrícola. Sirve para mantener una carga animal reducida a lo largo del año, a bajo costo y sin mobilización de mano de obra.

Este modelo provee un producto bruto de 300 a 400 dólares por hectarea para costos directos de 100 dólares por hectárea.

Las fincas (5-50 ha) pusieron a punto un sistema de policultivo ganadero intensivo, basado en una rotación agrícola de seis años donde la alfalfa alterna con tres años de cultivos anuales. La asociación de agricultura y ganadería es fuerte : las funciones de tracción animal, de fertilización y de ahorro de la ganadería bovina son primordiales.
El sistema funciona con una fuerza de trabajo mixto, familiar y exterior, el cual es claramente más importante que en las haciendas (3 a 5 ha por trabajador). La combinación de los medios disponibles, la tasa elevada del uso del suelo, la buena dotación de agua y la habilidad en la aplicación, la búsqueda de las semillas mejoradas, la fertilización razonada, orgánica y mineral, el control fitosanitario, permiten alcanzar un grado de cargamento animal importante (superior a dos Unidades Animales por hectarea forrajera) o sea, una productividad muy superior al promedio de las haciendas : 5000 a 6000 litros de leche por hectarea forrajera.

El producto bruto alcanzado por el modelo es cercano a 1000 dólares para cargas directas importantes de 400 dólares por hectarea.

Las pequeñas_explotaciones_campesinas (1-5 ha) cuya estrategia es de asegurar siempre la base alimenticia familiar, también tienen necesidades monetarias indispensables para cubrir los gastos de explotación y las cargas familiares habituales. Además del cultivo pluvial, el cual garantiza la alimentación, el maiz en este piso templado, se añadieron cultivos especulativos; en primer lugar figura el fréjol, cuyos beneficios están capitalizados en una micro-ganadería compuesta por una o varias cabezas de ganado si la explotación dispone una superficie de tierra suficiente.
El sistema se aproxima al anterior; mobiliza más fuerza de trabajo (1 ha por trabajador) de origen familiar a veces reforzada por jornaleros en período intensivo. A pesar de esto, por falta de tesorería y de crédito disponible para los cultivos, la combinación de los medios de producción es menos eficiente que en las fincas. Las semillas son tomadas en las cosechas anteriores, la fertilisación es reducida, la falta de medios de trabajo es general. Los que se las arreglan mejor son los que disponen en la familia de una actividad exterior remunerada mensualmente, y que se vuelve como recurso efectivo de la explotación. Cuando existe, la ganadería es intensiva, basada en la gestión de subproductos de los cultivos. Pero la producción lechera es cooperativa o privada.

El producto bruto alcanza 800 dólares por hectarea de los cuales, 300 en forma de consumo directo familiar.. Las cargas directas de 50 dólares por hectarea son reducidas ya que lo esencial del trabajo está cubierto por la familia sin remuneración.

Los minifundios (menos de un hectarea) se encuentran bajo el límite de la autonomía alimenticia, en las condiciones del Mira. Par subsistir, las familias deben conseguir ingresos externos bajo la forma de trabajo diario en las otras categorías de explotación agrícolas.

Aquí, la productividad agrícola es muy reducida y no monetarizada.

La situación general de las explotaciones agrícolas de este piso muestra como el riego permitió algunas evoluciones que no todas van en el sentido de un crecimiento notable de la producción agrícola.
Sólo las fincas y las pequeñas explotaciones campesinas incrementaron sensiblemente su productividad, a pesar de las dificultades económicas, de la ausencia de mercados organizados, de crédito.
La gran fragilidad de esta evolución proviene del carácter especulativo del cultivo del fréjol vendido a un precio elevado en el mercado colombiano vecino, en razón de tasas de cambio favorables para los campesinos ecuatorianos. Basta con que se invierta esta tasa para que se vuelva a discutir de este desarollo.
La ausencia de cultivo de renta, base de negociaciones entre productores y el Estado y el sistema de crédito, limita la productividad que estos sistemas podrían alcanzar y la capitalización bajo la forma de herramientas, de edificios, etc.

La escasez de agua tiene efectos variables según las categorías de explotación. Frena las estratégias establecidas, por ejemplo sin poner en cultivo todas las tierras durante la estación seca.

El crecimiento de las dotaciones en favor de las categorías extremas no tendría consecuencias macro-económicas importantes en las condiciones de esta cuenca hidrográfica y en este piso bioclimático.

CONCLUSIÓN. EL RIEGO : UN CAMPO DE ACCIÓN COMÚN EN LOS ANDES.

La comunidades campesinas andinas sont el objeto de una atención particular de parte de los organismos no gubernamentales de orígenes diferentes.
En la mayoría de los casos, las acciones acompañan las reivindicaciones de los campesinos, y se apoyan especialmente en las comunidades constituidas para administrar espacios colectivos. Las experiencias vinculadas con el riego fueron escasas hasta 1980. Luego, confrontadas con las demandas campesinas y ententiendo que la única institución realmente colectiva es la Junta del agua, unas tras otras, las ONG orientaron su intervención sobre las redes de riego, sea creando nuevas obras, como el CESA, sea apoyando la rehabilitación y la reapropiación de acequias antiguas, como el CAAP.

Los organismos parapúblicos y el mismo INERHI constituyeron programas de apoyo al pequeño riego, salpicando sus recursos financieros reducidos en forma poco acertada cier. Estas acciones puntuales pueden revelarse inadaptadas, costosas. Tienen consecuencias graves en la administración de conjunto de los recursos hídricos. Hoy en día, la reivindicación principal de los movimientos campesinos indígenas es evidentemente el acceso a la tierra. Pero inmediatamente después viene la resolución de los problemas del riego (lista de las reivindicaciones en 14 puntos del movimiento que empezó en Junio-Julio de 1990).

Continuarán las intervenciones puntuales o se piensa algún día llevar a cabo una rehabilitación completa en el marco de una gestión compleja a nivel de cuencas vertientes y de Zonas que integran toda la demanda en agua (ZARI) ?

BIBLIOGRAFÍA

Le Goulven P., 1986.
Elaboration du Plan Natioanl d'Irrigation; analyse de la situation et conception générale.
Quito, INERHI-ORSTOM, 04/86, 22p.

Ruf T., Le Goulven P., 1987.
L'exploitation des inventaires réalisés en Equateur pour une recherche sur les fonctionnements de l'irrigation.
in/: Bull. Liaison N°12 Equateur Dpt H Paris, Orstom, pp 30-47.

Le Goulven P., Ruf. T., Rivadeneira H., 1989.
Traditional irrigation in the Andes of Ecaudor; 1. Research and Planning; 2. Dysfunctions and rehabilitation.
Com. 7th Afro-asian Regional Conf. of International Commission of irrigation and drainage (ICID), Tokyo, 15-25/10/89, pp. 351-371.

Ruf T., Le Goulven P., Rivadeneira H., 1990.
Principales problemas del Diagnóstico sobre el riego tradicional andino en el Ecuador.
Com. Sem. Manejo del Riego Andino, Cajamarca, 20-27/01/90, 15p.

Com :
International Workshop " Performance measurement in farmer-managed irrigation systems "
International Irrigation Management Institute
IIMI/INCYTH, Mendoza (Argentine), 11-15/11/91, 10p.

HYDRAULIC'S FUNCTIONNING OF FARMER-MANAGED IRRIGATION SYSTEMS IN NORTHERN ECUADORIAN ANDES

par Patrick LE GOULVEN*, Thierry RUF**

ABSTRACT

In the Ecuadorian Andes, most of the irrigated areas (between 75% and 80%) are supplied by hydraulic systems managed by farmers organized in Water Councils.
After noting their specific characteristics, the autors describe the role of this "particular irrigation" in the national economy, its historical evolution, and the productivities obtained for the main crops. The low productions observed are mostly justified by the dysfunctions in the chain of water mobilization (water supply, transport, allocation between areas, distribution and application in the parcels).
The analysis is based on precise multidisciplinary studies in representative zones, studies completed by a systematic inventory (localization, organization and characteristics of each system) elaborated on watersheds.
The presented results are issued from the study on the Mira catchment (3,500 km2) situated in the northern part of the country:

* Hydrologist, Mission ORSTOM, P.O. Box 17.11.06596, Quito - Ecuador
** Agro-economist, Mission ORSTOM, P.O. Box 17.11.06596, Quito - Ecuador

FOREWORD

Most of the irrigated surface in the Ecuadorian Andes has been managed since centuries ago by peasants organized in Water Management Councils. Very little is known about the functioning of these "FMIS" (Farming Management Irrigation System), which are now being studied by a multidisciplinary team of the French Institute of Scientific Research for Development in Cooperation (ORSTOM) and the Ecuadorian Institute of Hydraulic Resources (INERHI). The project has several chapters:

- Inventory (location, organization and characterization) of all the FMIS of the Andean region, which includes hundreds of systems that provide water to 75% of the 500,000 hectares under irrigation. Characterization is done at climatic, hydraulic and technical levels as well as at social, agricultural and economic levels.

- Hydric balances at several scales (from the water intake points to the hydrographic basin) in order to find the most deficient sectors.

- Study of several FMIS in pilot zones (Zones of Analysis and Recommendations for Irrigation) in order to discover and quantify actual performance problems and their dynamics.

- Research about real productivity reached, both at the agricultural performance level and at the production systems level (gross and net products, benefits per hectare and per worker).

The objective is the proposal of technical references and realistic recommendations to INERHI, useful for the establishment of a Plan for the support and development of FMIS (called *private irrigation* in the Ecuadorian case). Results have been fully analized in the northern region of the country (Mira watershed) and only the integration of the conclusions is pending.

1. STATE OF PRIVATE IRRIGATION IN THE MIRA WATERSHED

In the northern Ecuadorian Andes, the Mira watershed embraces a total surface of 348,000 hectares (ranging from 1,800 mosl to 4,200 mosl), an agricultural area of 149,000 hectares and an irrigated surface of 50,340 hectares (86% by private irrigation, 9% by State-owned irrigation and 5% by a combination of the two systems); irrigation water benefits directly 15,900 users and indirectly 158,000 inhabitants (this means half the population of the basin).

Dispersion is a main characteristic of the "FMIS":

altitudinal dispersion
Perimeters occupy 3 bioclimatic levels: the cold level (>2,700 m with 970 mm of rainfall/year and ETP of 1,020 mm/year); the temperate level (2,300 m-2,700 m with 795 mm of rainfall/year and ETP of 1,165 mm/year); and the subtropical level (<2,300 m with 540 mm of rainfall/year and ETP of 1,400 mm/year).

spatial dispersion
A total of 274 irrigation systems dam more than 20 m^3/s from the rivers using 308 direct intakes (94% of a rustic construction) and take the water to 279 perimeters along 1,099 km of canals (96% over the soil).

A "mean" FMIS has an irrigation channel with 4 km of dead canal, transporting 75 l/s and irrigating a perimeter of 180 hectares where large farms, estates, small holdings and *minifundia* lie.

In the Mira River basin, the pilot zone of Urcuquí is one of 18 ZARI that have been historically affected by irrigation. It has 30 FMIS that irrigate 4,500 hectares in three bioclimatic levels. The oldest ZARI is the central peasant perimeter of Urcuquí-San Blas, with 320 hectares and 600 parcels. The *Big canal of Caciques* that feeds it was built in 1582. Currently its management is in the hands of three peasants' councils: Urcuquí, San Blas and Cáciques, the latter enjoying the benefit of a special tratment in the water distribution frequency.

2. ROLE, EVOLUTION AND PRODUCTIVITY OF THE FMIS

Depending on conditions for production, agriculture undergoes development or enters into crisis. It is subject to unstable and succesive balances that depend on prior balances as well as on posterior factors of change in the agricultural environment.

Agriculture under irrigation has a factor that modifies environment: water. Its distribution among several groups of producers has a preponderant influence over the abovementioned balances. If a net of irrigation channels allows, at the beginning, a stability of hydric conditions in agriculture, development problems or external interventions can occur along its history that act upon agricultural activities in a big scale. Every malfunctioning takes a major importance and ends up being a life-or-death factor for productive systems, and sometimes for the people involved.

Long ago, the main goal of small farming in the Ecuadorian Andes was to feed peasants, while some large estates produced foodstufs for the urban population that before 1970 represented a small part of the Ecuadorian population. The development of an economy based on agricultural exports in the Pacific Coast, new communications between Coast and Sierra (railroads since 1909, highways since 1930) and especially the development of a petroleum-based economy (since 1970) acted as factors of integration of the andean peasant economy to the national markets. Twentieth-century demographic explosion follows along these changes.

On the one side, land property of marginal zones went from the old large holding system (*hacienda*) to minifundia (which doesn't allow peasant families to earn a livelihood from agricultural work) while the central part of the *hacienda* stayed in the hands of the original owners and was put under extensive production systems (cattle raising on natural grass).

At the same time, part of the peasants started to build and develop new production systems, placing their products in the market as a means for payment of agricultural work.

On the other side, some *haciendas* were also turned into capitalist agricultural enterprises with important investments in machinery and buildings and changing production techniques in order to satisfy the new urban demands of the country.

And so it happened that in the fifties new productive systems appeared, a result of the prior, poorly specialized ones. Nowadays several specializations coexist in every ecologic level, sometimes contradicting one another.

In the cold level, agricultors can choose among 3 development trends: extensive cattle husbandry, stapple grain cultivation (wheat or barley) and cold-level horticulture with crops like potato, onion or others, that need sustained care and work.

In the temperate level, side by side with natural grasses grow corn (basic foodstuff since long ago), cereals (wheat, barley) as in the cold level, horticulture based on beans among others, and orchard-level agriculture with avocado.

In the subtropical level the specialization on sugar cane coexists with cattle husbandry, corn, mandioc, and vegetable gardens.

If production systems have changed in the last decades, agricultural productivity, on the contrary, hasn't varied to any extent: hopes for production are still low, with or without irrigation.

Table 1 reflects this premise: beans and the most important cereals have a mean performance between 500 and 800 kg per hectare and potato has a performance between 7,000 and 10,000 kg per hectare.

These performances are the same as those expected by the first agronomists of the country in the first years of the 20th century. The stability in the wages for agricultural work confirms the stagnation of productivity (the daily wage of an agricultural worker has been the equivalent of 1 US dollar since 1945).

Productivities	Activities	Corn	Beans	Potato	Wheat	Barley
NO IRRIGATION	extensive moderate intensive	200-300 350-500 550-650	50-100 150-250 450-550	1,000-1,200 3,000-6,000 7,000-13,000	250-350 400-500 800-900	250-350 500-600 1,100-1,200
IRRIGATION	extensive moderate intensive	300-400 550-650 1,000-1,100	200-300 500-600 1,000-1,100	3,000-5,000 7,000-10,000 11,000-22,000	450-550 600-800 1,300-1,500	450-550 600-800 1,300-1,500
POTENTIAL	agronomic	4,000-4,300	2,000-3,000	18,000-36,000	2,000-2,500	2,000-1,500

Table 1 - Performances of the main crops in pure arrangement in kg/ha

There are numerous elements that can explain this low productivity, factors unrelated to irrigation ranking first.

Species and varieties used by producers generally lack quality, their productive potentials are low and their repetitive cultivation, year by year, has ended in an impressive growth of plagues. Another problem is the lack of adequate fertilization with organic fertilizers (combined use of agriculture and cattle raising is poorly applied) or chemical fertilizers. This could be related to seeds of poor quality and the lack of response to the dosages of fertilizers as used under actual production conditions.

The marketing system also doesn't encourage agricultors to engage in more intensive production; economic risks are important in front of the absence of organized markets and in the context of a very high inflation. We won't talk about assistance to peasants investment because credit aids are not available to small agricultors.

But all these problems can be found in agriculture in general. Crops under irrigation have more specific problems related to intake, transport and utilization of water, that limit the increase in productivity to a reduced level, as can be seen from Table 1. Without a prior knowledge of the location of some important limiting factors, we shall now undertake an overall analysis of irrigation systems from intake to furrow.

3. MAIN OPERATIONAL PROBLEMS IN TRADITIONAL IRRIGATION

3.1. Water application in the parcels

Most users (68%) irrigate their parcels day and night; the main technique is the use of furrows or ditches (75% of the irrigated surface). This is followed by an almost uncontrolled flooding of pastures (13% of the surface), aspersion irrigation, mainly for sugar cane and only in the *haciendas* (10% of the surface) and finally, by means of quarrymen (2% of the surface).

Generally the parcel is divided into regular lots; the peasant distributes the flow entering the parcel between them to irrigate groups ("*entables*") of 6, 8 or 10 joined furrows (depending on the available module).

But there also exist zigzaging furrows, used in steep slopes (more than 50%) that can be more than 300 meters long.

Technical elements of water distribution are most variable:

- The module used in each furrow ranges from 1 to 60 l/s (zigzaging furrows), but usually lies between 4 and 7 l/s.

- Mean irrigation time is 8 hours per hectare but values oscillate between 2 and 72 hours per hectare (the periods for 15% of the irrigated surface are greater than 12 hours per hectare).

- Frequency of application varies between 3.5 and 70 days; the mean is 14 days. In the subtropical level, 40% of the surface is irrigated with a frequency greater than 8 days. Things get a little better in the other levels, because only 16% of the surface in the temperate level has a frequency higher than 14 days (6% higher than 30 days in the cold level).

It is almost impossible to get a precise diagnosis of every perimeter with so extreme variations, especially when climatic data don't show the required consistency or simply don't exist.

However, the project has been able to determine the main characteristics for each type of irrigation (crop systems, soil depth and capacity for useful retention, monthly chronological rainfall series and ETP) and to estimate the maximal admissible frequency. This calculation is complemented by the analysis of 7 parcels that were observed daily during more than a year and where water intakes (from rainfall and irrigation), as well as superficial losses were controlled. Recollected data have been processed with IRSIS (FAO) software.

From the abovementioned analysis, irrigation frequency as practiced by farmers appears to be the most inadecuate factor: it is almost always less than calculated.

Under these conditions intensive farming cannot be practiced, nor can short-cycle crops with shallow roots be used. So peasants are still adapting vegetative cicles to rainy seasons, using irrigation water only as a complement and to secure water supply.

This inadequate frequency of irrigation stems, not only from the lack of technical criteria, but also from a historic background.

3.2. Degeneration of water assignment turns

When water was nationalized in 1972, INERHI confronted the uneasy task of granting water concessions and in the majority of cases only legalized long ago-acquired rights. In those times, with only 6 years of life, the Institute did not have the institutional strength necessary to update water distribution without provoking serious protest. This means that most of the actual water assignments still obey technical criteria ellaborated in the first half of the century and reflect social, technical and legal rules of that time.

But socio-economic conditions, environment and production systems have evolved, while water distribution generally has followed an inverse evolution: application frequency has grown lower due to the increment of irrigation time per hectare (in Urcuqui, this time went from 3 to 5 hours/ha in 45 years), which is due in turn to land division (because of inheritance or transactions) or to the incorporation of new users.

Accumulated historical rights have created several types of users ("normal", "*cáciques*", "third parties") whose particular requirements cause weekly modifications in the distribution. Peasant inertia and the interests of each group paralize every idea of change, or simply the current complexity of distribution precludes water councils from clearly posing the adaptation problem.

Rehabilitation of water turns is a fundamental task of INERHI and the project is designing an adapted methodology to ease its calculation. But technical criteria must be supported by social consensus and the acceptance of peasant organizations in order to achieve success.

3.3. Water distribution

Fictitious flows also have big variations (from 0.1 l/s to 3.8 l/s) that not always follow technical criteria. In Figure 2 three big classes, uniformly distributed in the three ecological levels, can be seen. Two thirds of the irrigated surface have inadequate supply (33% with a low volume and 31% with a high volume). Only a third of perimeters have an adequate supply.

A higher water supply can be justified in the presence of salinized soils that need frequent flooding. But this situation has only been found in 5 or 6 perimeters.

Cases of defficient supply are more visible in the country and create different reactions depending on the type of production unit. A perimeter with minifundia will distribute deficit between all the users, while a big landowner will correctly irrigate part of his property, giving water to the rest only when there is a surplus. Tensions grow higher in perimeters where both types of unit coexist.

Altitudinal levels	Low dotation	Mean dotation	High dotation
Cold level > 2,700 m	0.1 l/s/ha (1,500 has) 26%	0.25 l/s/ha (2,200 has) 38%	0.4 l/s/ha (2,100 has) 36%
Temperate level 2,300 - 2,700 m	0.2 l/s/ha (5,000 has) 36%	0.45 l/s/ha (5,200 has) 37%	0.7 l/s/ha (3,800 has) 27%
Subtropical level < 2,300 m	0.3 l/s/ha (3,000 has) 33%	0.6 l/s/ha (2,900 has) 32%	1.0 l/s/ha (3,100 has) 35%

Table 2 - Fictitious flows observed in 200 irrigated perimeters and surfaces (has and %)

This lack of coincidence between alloted concessions and real needs can be explained, in the first place, by an overall lack of knowledge about private irrigation. INERHI actually knows little about irrigated surfaces (localization, extension, cultivation pattern, type of irrigation, soil characteristics, climatology). The project aims to update all these parameters with systematic inventories, mathematic modelling of cultivation and production systems, efficiency measurements and climatic regionalization. Under present conditions the Institute is technically able to readjust all the alloted volumes of the Mira watershed but will face difficulties in doing so.

In the first place, concessions are granted for 10 years and cannot be modified during this period without first modifying the Water Law. This provision is unfavorable to dynamic agricultors that have achieved an intensive production system, thus increasing their water requirements.

In the second place, a good deal of concessions have been legalized taking into account old time rights or legal buys without considering the surface to be irrigated. At the time of legalization, many users prefered to buy rights higher than their real needs, in order to insure a satisfactory supply. In addition, a surplus supply enables a comfortable margin for its utilization: an approximate irrigation can be practiced without parcel adjustments and with minimum work, which means with less costs.

Users have nowadays 20 years of concession and think of the allotted flow as inalterable property. In order to establish balanced concessions within a technical criterion and in accordance to the evolution of agriculture, INERHI must show a firm political will to enlist social acceptance of the modifications and to achieve legal modifications without being afraid of electoral consequences.

3.4. Intake and transport infrastructure

Development of production in FMIS is closely related to the infrastructure of water intake, transport and distribution. A farmer won't try to intensify his production (improved seeds and fertilizers, summer crops,...) if he isn't sure of having water, at least in reasonable amounts and frequencies.

This depends heavily on the good performance of transport channels (mostly lying right on earth) and of places of intake which are mainly made by heaping stones in the shore (we call them rustic intakes).

Peformance estimates are done taking 2 fundamental aspects into account: the percentage of time that the channels provide the anticipated flow, and their efficiency in conducting water from the intake to the entrance of the perimeter. In both cases the goal is to find meaningful indicators so as to design adequate recommendations for a policy seeking the systematic rehabilitation of the traditional irrigation systems.

3.4.1 *Infrastructure performance*

Around 60 limnimetric reglets are placed in several representative irrigation systems along the interandean valley. Water levels are observed twice a day during at least one year and the causes of problems are registered. Although results vary from reglet to reglet, the following conclusions may be made:

- During 5% of the time (18 days per year) channels don't transport any flow.
- During 16% of the time (58 days per year) channels transport less than half the normal flow.
- During 32% of the time (117 days per year) the transported flow is less than 75% of the normal flow.

Detected problems stem from two main causes: landslides and destruction of intakes.

But a detailed analysis, supplemented with interviews to water-carriers, shows that, even if rustic intakes are destroyed several times a year, they can be fixed in only half a day (with the work of 2 persons), so their destruction disturbs the water turn but doesn't cause excessive damage to the farmer.

On the contrary, landslides upset water transportation for several days (sometimes more than 15 days) and are the real cause of lack of water.

These landslides are caused by (in order of importance):

- Excessive load and breaking of the irrigation channel due to the lack of control means (lateral relief) after the intake and along the course of the channel.
- Sliding of fragile parts that clog the flow, causing overflowing and rupture of the channel,
- Rupture of a channel at a higher altitude; its water destroys other channels lying down the way.

3.4.2 *Transport efficiency*

Several sections (25) of the channels have been selected based on their longitude and flow (more than 100 l/s). With a permanent regime, simultaneous gaugings are done at the start and end of the section and also before and after each alteration (superficial increase, located loss), in order to differenciate between global efficiency and strictly linear efficiency. Also the parts that need rehabilitation are registered.

Results are amazing!

Linear efficiency (without taking into account isolated modifications) has a mean value of 99,7%/km (ranging from 89% to 111%/km) and global efficiency has a mean value of 99,9%/km (ranging from 85% to 121%/km).

Efficiency values are not related with the type of soil traversed, nor with maintenance of the brook, but seem to have a slight relation with channel altitude (higher ones having a higher efficiency, always more than 1,005/km).

Results of the sample are confirmed all along the Mira watershed. In the legal concession process, INERHI technicians register their observations about the conditions of the channels. Only 11 veredicts make reference to important losses due to filtration in short sections. Besides, and taking into account the 274 existing systems, there is no correlation between the extension of conduction channels and transported flow; this means that any amount of water can be transported over any number of kilometers.

Although channels do lose water along their path (losses can be noticed by the heavy growth of vegetation along their borders), they do also receive sub-superficial increments that are not noticed.

There exists a heavy stratum of cemented volcanic ash –"*cangahua*" or "*talpetate*" in Central America– at shallow depths (several meters to several centimeters), impermeable except through cracks. The excess water that falls over higher parts (or "*páramos*"), where precipitation is higher, cannot penetrate deeply and flows over this hardened mass, entering the hydrographic net at lower altitudes.

So irrigation channels act as a draining net and dam a good deal of this sub-superficial drainage. In this case it is normal for higher portions to receive a larger volume of water, that step by step is later reintegrated to the hydrographic net.

In what refers to improvement works, it is estimated that only a mean of 5 meters by kilometer of channel need rehabilitation (dikes, embankments, small tunnels,..).

Studies about transport and intake infrastructure show that the building of modern inlets (generally of the "*caucasian*" type) and the systematic coating of traditional channels are expensive and have a limited interest. State should lower its inversion in these two items and concentrate it more on:

- the installment of lateral watersheds to avoid overloads;
- joining channels with similar paths;
- doing specific, small repair works to reinforce weak portions of the channels that can be easily located through water carriers.

3.5. Water supply

Lack of water in a third part of the irrigated surface not always obeys to an erroneous estimation of the demand, but also to lack of water from the river. It is evident that the State overestimates hydric resources, generally to justify the building of projects.

In private irrigation, this lack of coincidence between demands and resources stems from an ignorance of hydrologic characteristics that is a consequence of a bad distribution of the hydrometric net and of the lack of consistent studies. Before aproving a water concession, INERHI makes only one determination (during the summer) in the selected place of the river.

In order to have the best possible estimation of existing superficial hydric resources in any point of the hydrographic net, the project designed several basic operations:

- A spatial structuration distributed in demand zones (ZARI) and intake zones (hydrologically homogeneous microbasins). This zonification corresponds to a micro-regional level.

- A linear codification of the various intakes that places them exactly over the hydrographic net and estimates their mutual influences.

- A climatic regionalization (rains, ETP), based on the regional vector model that allows the generation of statistically possible monthly chronologic series in any point of the region.

- Simultaneous callibration of a rain-flow transformation model over the microbasins.

This methodological effort has achieved good results in the first three phases; the fourth is being completed. It also allows for the making of concrete diagnoses over hydroclimatic nets.

3.6. Structure of Water Councils

Water Councils sometimes exist since a century or more. They have always had several main functions:

- Determining the rules for the water turns

- Registering each family's rights

- Organizing distribution by sectors and watering places

- Administering daily distribution through paid water-carriers

- Reinforcing the application of rules and registers and penalizing infractors in several ways

- Organizing regular maintenance of the works and channel beds, generally through calls for working meetings (*mingas*), with the assistance of users, depending on their rights.

- Solving minor and major incidents

- Finantial administration of all these activities

Problems found at this level can be traced to a certain weakening in the power of the Councils.

On the one side, the Water Law gave part of the Councils' functions to the Regional Water Administration of INERHI. This particularly includes concessions (of water turns and particular intakes, in those times), control and sanctions (that now must go through a long administrative process).

On the other side, external interventions also contribute to an atomization of power; this means there exists a tendency to divide irrigation organizations into smaller ones that don't obey a central Council in problems related to water management and maintenance. Because of this, everyday conflicts ocurring in a water distribution system don't have an adequate and clear answer for both parties. On the contrary, these conflicts can degenerate and even end up in "water wars" between communities or groups of users.

Technical rehabilitation of FMIS must be joined with a structuration and "profesionalization" of peasant organizations, in order to establish a certain uniformity in water management.

4. CONCLUSION

Irrigation has not been able to substantially raise the productivity of traditional systems.

The rehabilitation of these systems requires first of a detailed knowledge of their functioning, based on multidisciplinary and precise scientific studies and not in aprioristic conclusions.

Modern techniques like satellite imaging can contribute with interesting information, although the scattering of small parcels in steep slopes difficults its use (an essay with the SPOT satellite is in process).

But, as has been proved, water management also obeys to inherited social rules that don't fit in the actual situation and that in many cases prevent any evolution of productive systems.

As a consequence, technical rehabilitation must be joined with a social change through the Water Councils, the only peasants' organizations able to introduce the necessary modifications.

This means reinforcing the Water Councils, therefore means modifying State intervention from the institutional and legal point of view.

5. BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- **LE GOULVEN, P. 1986**. *Elaboración del Plan Nacional de Riego; análisis de la situación y concepción general.* Quito, INERHI-ORSTOM, 04/86, 22 p. (Fr., Sp.).

- **RUF, T.; LE GOULVEN, P. 1987**. La utilización de los inventarios realizados en Ecuador para investigar el funcionamiento del riego particular, in *Bulletin de liaison* No. 12, "Equateur", Dpt. H, Paris, ORSTOM, 06/87, p. 30-47 (Fr., Sp.).

- **LE GOULVEN, P.; RUF, T.; RIVADENEIRA, H. 1987**. *Metodología general y detalles de las operaciones del proyecto INERHI-ORSTOM.*, Quito, INERHI-ORSTOM, 06/87, 91 p. plus annexa (Fr., Sp.).

- **RUF, T.; RIVADENEIRA, H. 1987**. *Selección de micro-cuencas representativas en la Sierra.* Quito, INERHI-ORSTOM, 30 p. plus annexa (Fr., Sp.).

- **RUF, T. 1987**. *Usted dijo "Sistemas de Producción", yo comprendí "Sistemas de Producción", Ensayo sobre el análisis de los conceptos y de los modos.* Conference, Seminar over Agrarian Systems in Peru, Lima, UNALM-ORSTOM, 10/87, 39 p.

- **LE GOULVEN, P. 1988**. *Homogeneización de los datos pluviométricos.* Conference to the National Institute of Meteorology and Hydrology of Ecuador (INAMHI), Quito, INERHI-ORSTOM, 17/03/88, 23 p.

- **LE GOULVEN, P. 1988**. *El vector Y.B.M., resumen metodológico; programas V1, V2, V3, manual del usuario*, Quito, INERHI-ORSTOM, 10/88, 14 p.

- **LE GOULVEN, P.; ALEMAN, M.; OSORNO, I. 1988**. *Homogeneización y regionalización pluviométrica por el método del vector regional*, Comm. V Ecuadorian Congress of Hydraulics, Quito, 23-26/11/88, p. 59-83.

- **LE GOULVEN, P.; RUF, T.; RIVADENEIRA, H. 1989**. *El Agua y el Campesino*, Conference to the Seminar of the International Center of Cooperation for Agricultural Development (CICDA), Cuenca, 17/06/89, 25 p.

- **LE GOULVEN, P.; RUF, T., RIVADENEIRA, H. 1989**. *Traditional irrigation in the Andes of Ecuador, (1) Research and Planning.* Comm. Seventh Afro-Asian Regional Conference of the International Commission on Irrigation and Drainage (ICID). Tokyo, 15-25/10/89, p. 351-361.

- **LE GOULVEN, P.; RUF, T., RIVADENEIRA, H. 1989**. *Traditional irrigation in the Andes of Ecuador, (2) Dysfunctions and Rehabilitation.* Comm. Seventh Afro-Asian Regional Conference of the International Commission on Irrigation and Drainage (ICID). Tokyo, 15-25/10/89, p. 362-371.

- **RUF, T.; LE GOULVEN, P., RIVADENEIRA, H. 1990**. *Principales problemas del diagnóstico sobre el riego tradicional andino en el Ecuador.* Seminar on Andean Irrigation Management, Cajamarca, 20-27/01/90, 15 p.

- **LE GOULVEN, P.; RUF, T. 1990**. *El agua y su manejo en la planificación del riego tradicional en los Andes ecuatorianos.* Comm to the Fifth Hydrologic Journeys of Montpellier, ORSTOM, Montpellier, 12-13/09/90, 22 p.

- **SABATIER, J.-L.; RUF, T.; LE GOULVEN, P., 1991**. Dinámica de los sistemas agrarios antiguos regados, representaciones sincrónicas y diacrónicas. El ejemplo de Urcuquí en Ecuador, in *Les Cahiers de la Recherche Développement*, August 1991, Montpellier, CIRAD/DSA.

Com :
VIIIavos Días Hidrologicos " Regionalización en Hidrología - Aplicación al Desarrollo "
ORSTOM, Montpellier, 22-23/09/92, 16 p.

REGIONALIZACION CLIMATICA (LLUVIA Y ETP) EN LOS ANDES DEL ECUADOR

Metodología, resultados y aplicaciones.

por Patrick LE GOULVEN*, Miguel ALEMAN**

RESUMEN

En el Ecuador, la mayoría de los proyectos hidroagrícolas padecen de una mala adecuación entre dotación en agua atribuida y necesidades reales. Obviamente, esto genera problemas de funcionamiento en los sistemas regados, pero también una competencia muy fuerte sobre el recurso en agua. Esta inadecuación se perpetuó por el peso de la historia pero sobre todo, en razón de un desconocimiento profundo de los parámetros climáticos que condicionan la estimación de los recursos como la de las necesidades.
Para remediar esto, el proyecto INERHI-ORSTOM se aplicó a la elaboración de una regionalización climática preliminar de las cuencas interandinas, capazes de generar series cronológicas mensuales de lluvias y de EPT en todos los puntos del espacio estudiado.
Para tal fin el equipo utiliza el método del vector regional a través del logicial CLIMAN construido a partir del algoritmo de cálculo de Y. Brunet-Moret. Los productos obtenidos consisten en mapas que contienen isolineas promedios anuales y regiones climáticas homógeneas con los vectores asociados.
Las series generadas son utilizadas en los cálculos de las necesidades y de los recursos en agua, para diagnosticar la red de estaciones y proponer una clasificación climática a niveles diferentes.
La comunicación trata de los resultados obtenidos en la cuenca del Mira.

* Hidrólogo, Misión ORSTOM, Apartado 17.11.06596, Quito - Ecuador
** Ingeniero Civil, INERHI, Juan Larrea 534, Quito - Ecuador

INTRODUCCION

La historia del agua en los Andes ecuatorianos está marcada por una larga serie de conflictos, claramente identificados gracias a los archivos dejados por la administración colonial desde el siglo XVI, pero que probablemente ya existían en tiempos de los Incas, dada la importancia de la gestión del agua en el vocabulario Quichua.

En el transcurso de los siglos XIX y XX, el desarollo demográfico empeora la situación : el parcelamiento de las tierras genera una división de los derechos de agua y pués, una presión todavía más fuerte sobre el recurso; la emergencia de concentraciones urbanas y la construcción de los primeros trabajos hidroeléctricos vienen creando otras necesidades que entran en competencia directa con una utilización hasta entonces agrícola.
Muy pronto el Estado intervino para tratar de armonizar la gestión del recurso hídrico, en primer lugar para tratar de imponer la legislación española (primeros decretos de Carlos Quinto en 1535), luego para implantar una juridicción propria (leyes de 1832, o sea solamente dos años después del advenimiento de la República), en fin, para nacionalizar el conjunto de los recursos en agua en 1972 y crear el Instituto Ecuatoriano de los Recursos Hídricos (INERHI), único gestionario capacitado.

A pesar de estas múltiples intervenciones, la repartición del agua permanece un problema de actualidad. Aunque los violentos enfrentamientos hayan disminuido, persisten los conflictos y no es extraño ver al INERHI asaltado por comunidades campesinas encolerizadas. En la agricultura regada, las desigualdades no desaparecieron, pues las dotaciones se multiplican por tres para perímetros ubicados en zonas climáticas idénticas y ocupadas por sistemas de cultivos similares.

Grandes ciudades carecen de agua y la producción hidroeléctrica no llega a satisfacer las necesidades cuando aparece una pequeña sequía.

De hecho, el Estado nunca logró aplicar una política de gestión razonada del recurso en agua y liberarse poco a poco del peso de las tradiciones vigentes, que en gran parte prorrogó, legalizándolas. Esto denota obviamente una falta de voluntad política frente a un tema tan sensible, pero también y sobretodo, una falta de datos de base precisos que permitirían elaborar proposiciones concretas e indiscutibles en vista de un acondicionamiento racional.

1. REGIONALIZACION CLIMATICA : OBJETIVOS Y METODO

Es para remediar estas carencias que, desde 1987, el ORSTOM y el INERHI se asociaron para lanzar estudios detallados sobre las características y el funcionamiento de los sistemas regado andinos, a fin de proveer una base científica y técnica que justifique y oriente la elaboración de un Plan Nacional de Riego a corto, mediano y largo plazo.

1.1 Objetivos

El aspecto puramente hidrológico está evidentemente basado sobre comparaciones entre necesidades y recursos, no sólo al nivel de las bocatomas actuales pero a lo largo de la red hidrográfica, para preveer diferentes escenarios de evolución.
Estas comparaciones están estructuradas sobre diferentes espacios encajados, definidos para satisfacer tanto los planificadores como el conjunto de las temáticas enfocadas :

- cuencas hidrográficas cerradas por una estación hidrométrica de control y que contienen todos los sistemas de riego (nivel regional).

- ZARI (Zonas de Análisis y de Recomendaciones para el Riego) que contienen toda la cadena de movilización, transporte, distribución y utilización del agua, y que son delimitadas en función de las infraestructuras existentes y de los accidentes de relieve (estudio de las características y de la evolución de los sistemas de producción y de la demanda en agua).

- cuencas vertientes de unos 50 km2 en las cuales los factores condicionales del escurrimiento (pendiente, permeabilidad, características y ocupación del suelo) son aproximadamente homogéneas (Dubreuil, 1972). Un modelo lluvia-caudal está ajustado sobre cada uno de ellos.

Dada la gran dispersión de los perímetros regados, repartidos en 3 pisos altitudinales sometidos a condiciones climáticas diferentes, es obvio que la elaboración (según las condiciones precedentes) de un esquema de gestión de los recursos en agua requiere un conocimiento preciso de la repartición espacial de las características hidrológicas.

Este conocimiento debe ser completado por una buena aprehensión de las variaciones cronológicas de los parámetros estudiados si se considera la gran variabilidad de la lluvia (estacional e interanual) y la existencia de propensiones a la sequía encontradas en las series pluviométricas de ciertas regiones (Pourrut, 1986), fenómeno que es lógico integrar en una planificación a largo plazo.
Se nota pues el interés de un estudio climático preliminar al nivel regional. Del punto de vista agronómico, el quinqueño o la década es un intervalo de tiempo adecuado para tal estudio, pero si se toma en cuenta los datos disponibles (y claro manuscritos), del volumen de información y del marco de planificación en el cual se desarolla el proyecto, la elección de un paso de tiempo mensual parece razonable.

La regionalización climática propuesta tiene pues como objetivo generar en todos los puntos del espacio estudiado, series cronológicas mensuales homogéneas de lluvia y de ETP.

1.2 Método utilizado

La red de estaciones pluviométricas y climáticas es reciente en su conjunto (numerosas estaciones fueron instaladas hacia 1965). Está administrada por más de 30 organismos públicos o privados con sus preocupaciones propias, lo que en parte explica su mala repartición tanto espacial como altitudinal.
La sóla utilización de los datos de la red no es suficiente para apreciar correctamente las variaciones espaciales de los parámetros seleccionados.

1.2.1. Zonas seudo-proporcionales y vectores

La metodología utilizada está basada en la delimitación de zonas homogéneas al interior de las cuales los valores de los parámetros climáticos son más o menos proporcionales en un intervalo de tiempo dado.
Al interior de una zona seudo-proporcional, cada parámetro puede ser caracterizado por una serie única representativa de su organización cronológica interna. El espacio delimitado se restringe si se disminuye el paso de tiempo (desde el año hasta el mes por ejemplo) o si se exige una unión seudo-proporcional más fuerte al interior de la zona.

Las definiciones anteriores constituyen la base teórica de los "vectores regionales" que son series cronológicas homogéneas generadas a partir de las medidas observadas en las estaciones que pertenecen a la zona climática considerada, medidas que pueden ser incompletas o erróneas sin que esto influya mucho en la elaboración del vector.

Actualmente, existen 2 algoritmos de cálculo, desarollados en el ORSTOM : el vector regional de G. Hiez (1977) y el vector de los índices anuales de precipitación de Y. Brunet-Moret (1979). Sus fundamentos teóricos están expuestos en los artículos citados en bibliografía, pués, no se insistirá en este punto.

El proyecto INERHI-ORSTOM utiliza el programa CLIMAN desarollado a partir del algoritmo de cálculo de Brunet-Moret. El programa funciona al paso de tiempo mensual (análisis y correcciones) y puede tratar todos los parámetros climáticos (lluvia, temperatura, insolación, humedad relativa, viento, evaporación de la cubeta) así como los caudales promedios.

Permite en primer lugar detectar, corregir o suprimir los errores sistemáticos de las series cronológicas estudiadas (fase de homogeneización), luego buscar los límites de las zonas climáticas homogéneas (fase de regionalización) para las cuales genera una serie cronológica representativa de índices mensuales y anuales.

La seudo-proporcionalidad de una zona se mide por el valor de los coeficientes de correlación promedios (anual y mensual) entre las estaciones y su vector. Después de varios intentos, se considera una zona como homogénea si estos coeficientes son superiores o iguales a 0,9 (o cuando son próximos de 0,9 cuando la baja densidad de la red no permite reducir la zona).

En teoría, es posible reunir la homogeneización y la regionalización en un solo paso. La visualización de las curvas de doble acumulación entre estaciones y vector permite determinar si una mala unión entre los dos (coef. de correlación reducido) proviene de errores sistemáticos o de no-pertenencia de la estación a la zona homogénea considerada.

Sin embargo, como el programa es manipulado por varias personas, preconizamos las 2 fases de análisis para evitar los errores de diagnóstico.
En la fase de homogeneización, se estrechan a lo máximo los espacios estudiados, para estar seguro de sólo tomar en cuenta las estaciones que pertenecen a la misma zona homogénea.

1.2.2 Clima y altura

Los cálculos anteriores permiten delimitar zonas climáticas homogéneas representadas por vectores de valores mensuales y anuales relativos, para la lluvia y el EPT, arbitrariamente ajustados en un valor promedio anual de 1000 mm.
Queda por determinar los valores absolutos, lo que se realiza gracias a un estudio detallado de las relaciones lluvia-altitud y ETP-altitud.

Estas relaciones están lejos de ser uniformes en una gran cuenca hidrográfica y dependen también de los mecanismos climáticos preponderentes. El conocimiento del clima es imprescindible para localizar las zonas de validez de las relaciones encontradas, que cubren generalmente varias zonas seudo-proporcionales.

En la práctica, hay vaivén entre los dos análisis.

El producto final es un mapa de isoyetas (o de isopletas) promedios anuales en el cual se añaden las zonas pluviométricas (o climáticas) homogéneas delimitadas, siendo cada una de ellas representada por un vector de índices mensuales y anuales.

A partir de esto, es posible generar rapidamente una serie cronológica mensual en cada punto del espacio estudiado.

2. REGIONALIZACION PLUVIOMETRICA EN LA CUENCA DEL MIRA

2.1 Presentación general de la cuenca (Fig. 1)

La parte superior de la cuenca está enteramente ubicada en el Callejón Interandino ecuatoriano. Contiene todos los sistemas de riego y está cerrada por una estación hidrométrica de buena factura (FF.CC. Carchi).
La altura de esta cuenca de 3500 km^2 varía entre 1500 y 4500 m, según 3 grandes cuencas principales bien diseñadas (Chota, Ambi, Apaqui), a las cuales se añaden un gran número de cuencas segundarias más o menos perpendiculares.

Obviamente, está sometida a la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical, a la (bien atenuada por la Cordillera Occidental) de las masas de aire provenientes del Pacífico hacia el cual está orientado, y a la (en parte bloqueada por la Cordillera Oriental) de los alisios del sureste durante el verano (julio-agosto). No hay que descuidar tampoco los movimientos de masas de aire locales cuya amplitud varía según la profundidad de las cuencas, su anchura y su exposición.
La combinación de estos diferentes fenómenos más o menos alterados por el relieve, genera un régimen pluviométrico bimodal, sobre el cual están ajustados los ciclos de cultivos.

Se distinguen 3 pisos bioclimáticos :

- el piso frio, arriba de 2700 m (lluvia/ETP de 970/1025 mm al año),
- el piso templado situado entre 2300 y 2700 m (lluvia/ETP de 795/1025 mm al año),
- el piso subtropical, abjo de 2300 m (lluvia/ETP de 540/1405 mm al año).

El riego es utilizado como complemento para asegurar la producción de una región a vocación agrícola que exporta una gran parte de su producción hacia Colombia.

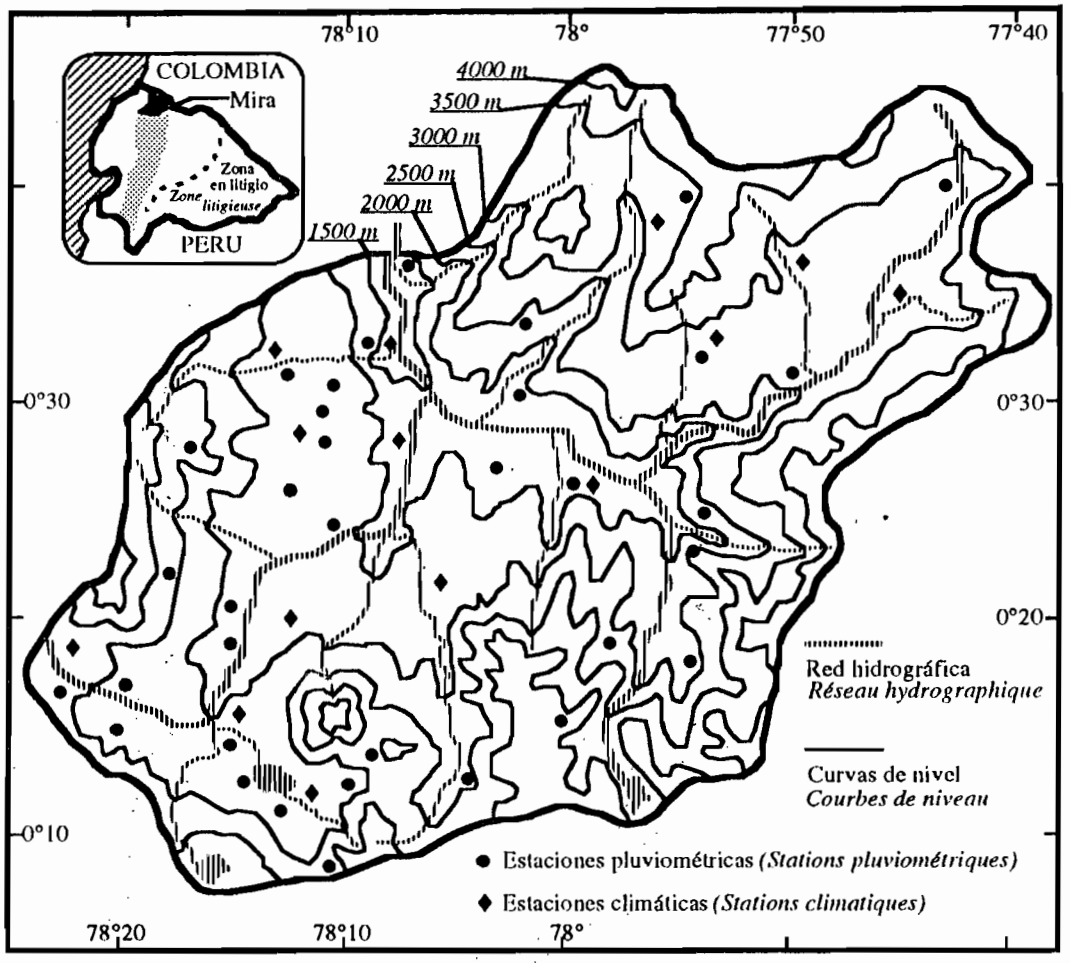


Figura 1 - Cuenca del Mira. Oro-hidrografía. Estaciones pluviométricas y climáticas.

Los 50 000 ha de tierras regadas (293 perímetros) están alimentados en agua por 270 sistemas, a través de 1164 kms de canales (91% en tierra) que derivan un caudal total de 26,2 m3/s. Las otras tomas (agua potable, abrevaderos...) sólo representan un caudal de 1,3m3/s. De los 295 000 habitantes de la cuenca, a 158 000 (51%) le concierne el riego.

Las haciendas predominan en el piso frio (prados, cebadas y papa) y en el piso subtropical (caña de azucar, alfalfa y labores de huerta). El piso templado está en mayor parte ocupado por los minifundios (policultivos a base de mais-fréjol).

2.2 Homogeneización de las series

En el caso del Mira, 76 estaciones presentan un interés para el análisis climático : 65 están ubicadas en la cuenca y 11 en las cuencas vecinas para aprehender mejor las influencias exteriores.

En realidad, sólo 54 estaciones están seleccionadas, presentando las otras demasiado lagunas en las observaciones; totalizan 1959 años completos, o sea un promedio de 20 años por estación (1966-1985).
Están reunidas en función de sus períodos de observación y de su pertenencia a una misma zona homogénea. Un grupo puede ser modificado y restingido en el transcurso de la fase de homogeneización si una duda se presenta en cuanto a la pertenencia a esta zona.

Los errores sistemáticos están detectados al nivel de cada grupo (en primer lugar en los valores anuales y luego en los mensuales), por el estudio de las dobles acumulaciones estaciónes-vector y el análisis de los parámetros de detección proveidos por CLIMAN.

Están entonces simplemente anotados (valores dudosos), o corregidos (substitución o desplazamientos de aparatos) o suprimidos (valores incoherentes).

Se verifica el diagnóstico en el mismo sitio o en los registros históricos de las estaciones. Una vez validada, CLIMAN muestra el aspecto de las dobles acumulaciones estación-vector antes y después de la corrección, y da una nota de calidad de observación escalonada de 0 a 10.

En el conjunto de las estaciones, 11 599 valores mensuales de lluvia han sido examinados, 192 están anotados como dudosos, 1443 están corregidos y 666 eliminados como incoherentes. Se obtienen 50% de las estaciones con una nota superior a 9 y 20% con una nota inferior a 5.

La corrección de largos períodos (debidos a los cambios de ubicación de las estaciones) es responsable de las notas más bajas, con la excepción de las 2 peores, donde los valores están globalmente incoherentes.

2.3 Relación entre lluvia y altitud (ig 2a y 2b)
La altitud es considerada como el factor preponderante de las variaciones climáticas (Le Goulven, 1984). Las relaciones lluvia-altitud son estudiadas subiendo los valles principales desde la parte baja de las cuencas. Luego, nos interesamos por los valles secundarios.

Este análisis está acompañado de un buen conocimiento del clima local y de la dirección general de las masas de aire. No se vacila en tener en cuenta las características de la vegetación natural cuando la densidad de las estaciones no es suficiente o que su repartición espacial es inadecuada.

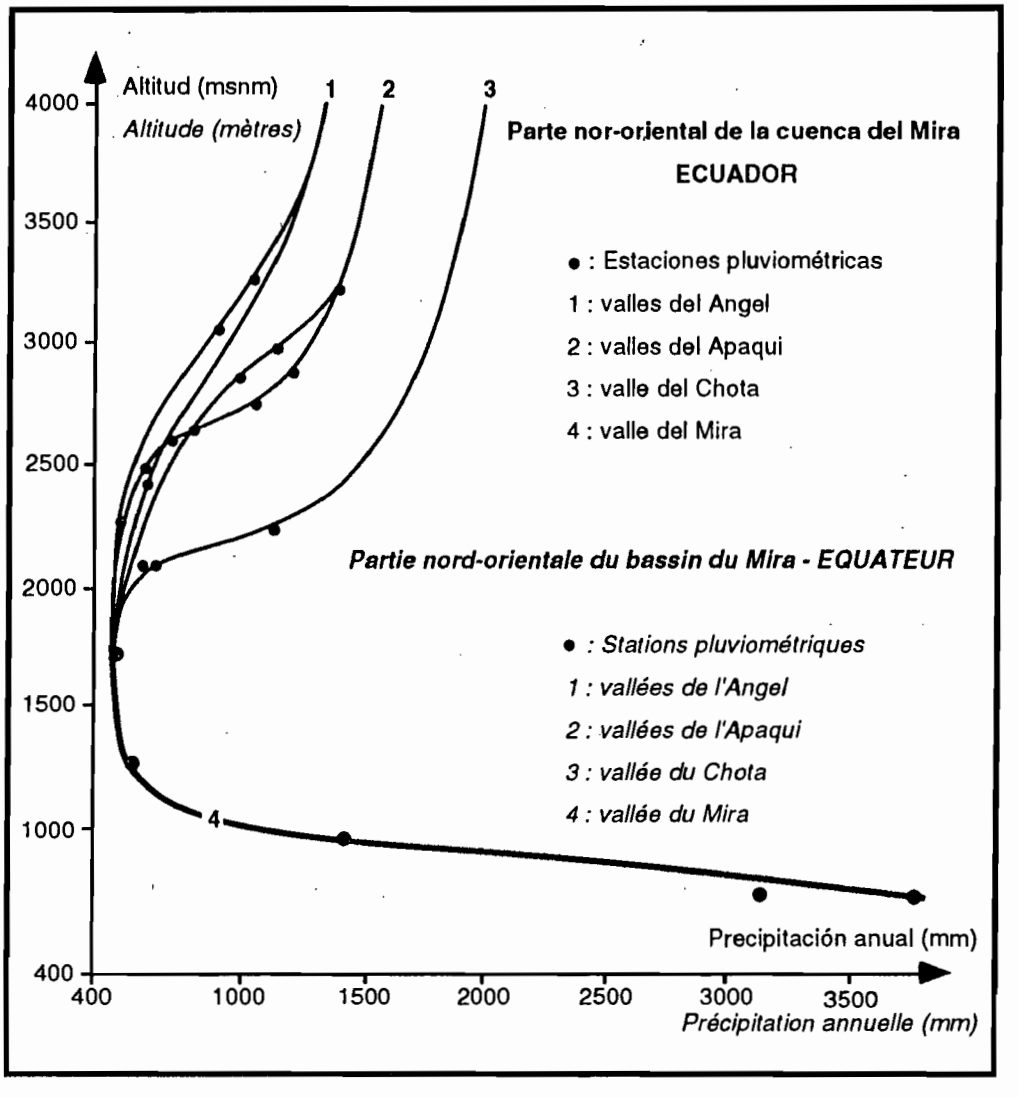


Figura 2a - Cuenca del Mira, parte nor-oriental. Relaciones entre lluvia y altitud.

En el caso del Mira (fig. 2a y 2b), llegamos a tendencias principales que corresponden a los 3 grandes valles señalados en la descripción general de la cuenca hidrográfica, con variaciones de gradientes según los valles secundarios transversales.

La parte baja de la cuenca (valle del Chota) corresponde al mínimo pluviométrico (menos de 500 mm de lluvia anual). La parte Este y Norte de la cuenca (valle de Apaqui) contiene 4 curvas de igual tendencia pero desplazadas según los diferentes valles transversales (valles del Angel en el caso presente).
La parte oeste y suroeste (fig. 2b) que corresponde al valle principal del Ambi y a un valle secundario bastante importante (Blanco) es mejor abrigada.
Está pues sometida a gradientes más bajos.

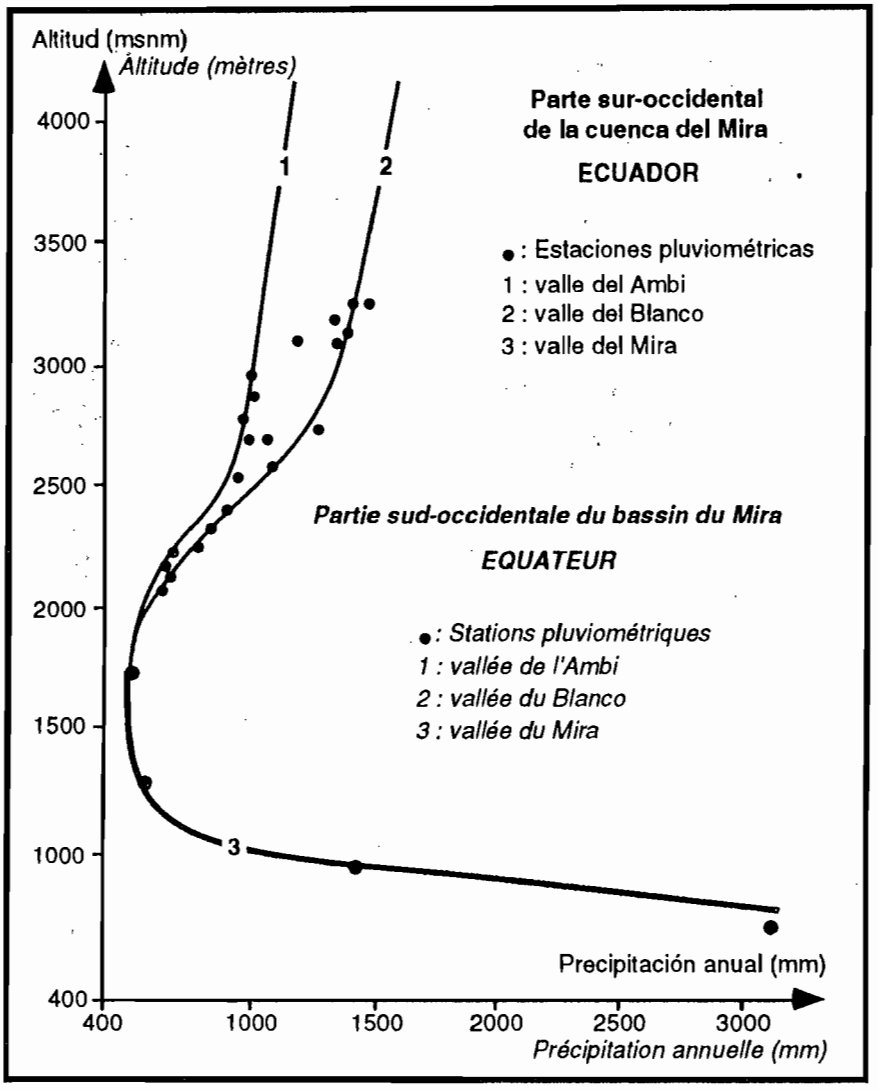


Figura 2b - Cuenca del Mira, parte sur-occidental. Relaciones entre lluvia y altitud.

En los 2 casos, se notará que arriba de 300 m de altura, las curvas no son muy precisas en razón de la falta de estación. Fueron trazadas tomando en cuenta la vegetación natural y curvas calculadas en cuencas vecinas.
La superficie ubicada abajo de 300 m ocupa unos 30% de la superficie total de la cuenca y recibe la mayor parte de la lluvia. Cualquier error en cuanto a los totales pluviométricos de esta zona generará pues imprecisiones mucho más grandes en el cálculo de los recursos hídricos.

La parte inferior común a las dos curvas corresponde a la bajada del Mira en la falda occidental de la cordillera. Está bien expuesta a las masas de aire del Pacífico que generan gradientes pluviométricos muy importantes.

Si extendemos el análisis hasta las estaciones costeras, se encuentra un máximo pluviométrico de 4000 mm de lluvia anual alrededor de 700 m (cuando este máximo estaba ubicado entre 1200 y 1800m de altura en Colombia).

Estas curvas permiten trazar con bastante precisión los isoyetas promedios anuales, valle por valle (cf. Fig.3).

2.4 Regionalización (Fig.3 y 4)
El módulo de regionalización de CLIMAN utiliza los registros de datos corregidos. Después de la fase de homogeneización, sólo quedan 48 estaciones de calidad suficiente.

Estas estaciones están reunidas según la proporcionalidad de sus valores (anuales luego mensuales) respectivos, tratando de constituir regiones climáticas en las cuales el coeficiente de correlación promedio entre estaciones y vector esté próximo o superior a 0.9. Las curvas lluvia-altitud son utilizadas para desembrollar el problema.

El tratamiento de las estaciones restantes conduce a la constitución de 8 grupos homogéneos y pues, de 8 vectores. Se constata en primer lugar que el objetivo propuesto está logrado, ya que el coeficiente de correlación promedio más pequeño es de 0,87.

El grupo 1 obtiene los resultados más bajos. Sólo dos estaciones pertenecen a la cuenca propiamente dicha, las dos otras están ubicadas un poco más arriba, en una cuenca vecina dividido por la frontera con Colombia y en una vertiente orientada hacia el norte. Las 4 estaciones están dispersas e insuficientes para definir un vector más representativo.

Región 1 coef mensual = 0.87	*4 estaciones* anual = 0.88	**Región 5** coef mensual = 0.91	*8 estaciones* anual = 0.90
Región 2 coef mensual = 0.91	*4 estaciones* anual = 0.91	**Región 6** coef mensual = 0.90	*5 estaciones* anual = 0.91
Región 3 coef mensual = 0.88	*3 estaciones* anual = 0.93	**Región 7** coef mensual = 0.97	*10 estaciones* anual = 0.95
Región 4 coef mensual = 0.89	*4 estaciones* anual = 0.91	**Región 8** coef mensual = 0.89	*10 estaciones* anual = 0.93

Coeficientes de correlación promedios entre estaciones y vectores de cada zona.

El grupo 3 obtiene resultados promedios, pero el vector de esta región es calculado a partir de solamente 3 estaciones (valor límite) bastante alejadas.

En cambio, se notará la muy buena homogeneidad del grupo 7, del cual la mayoría de las estaciones hacen parte de un valle secundario (río Blanco) en la cual el Instituto Meteorológico Nacional administra una gran cuenca vertiente experimental. Las estaciones son más numerosas que en otra parte, bastante reunidas y mejor observadas, ya que 8 de ellas tienen una nota de calidad igual a 10.

En este grupo, sólo 2 estaciones presentan coeficientes inferiores a 0,9 : la estación 323 en correlación anual y la estación 875 en correlación anual.
En la primera, 76 meses están corregidos y 12 meses eliminados, lo que genera cierta duda en cuanto a la calidad de estos datos; la segunda tiene el período de observación más corto (6 años), lo que da poco significado al valor de su coeficiente de correlación.

De manera general, nos damos cuenta que los resultados de un grupo son tanto más desiguales cuanto que el número de estaciones es reducido. Las zonas en las cuales los fenómenos climáticos son más complejos son también y desgraciadamente, los menos cubiertos por la red.

Los límites de las regiones pluviométricas seudo-proporcionales (figura 3) son trazados en función de los grupos constituidos y tomando en cuenta los límites altitudinales y los accidentes de relieve que separan los diferentes valles.

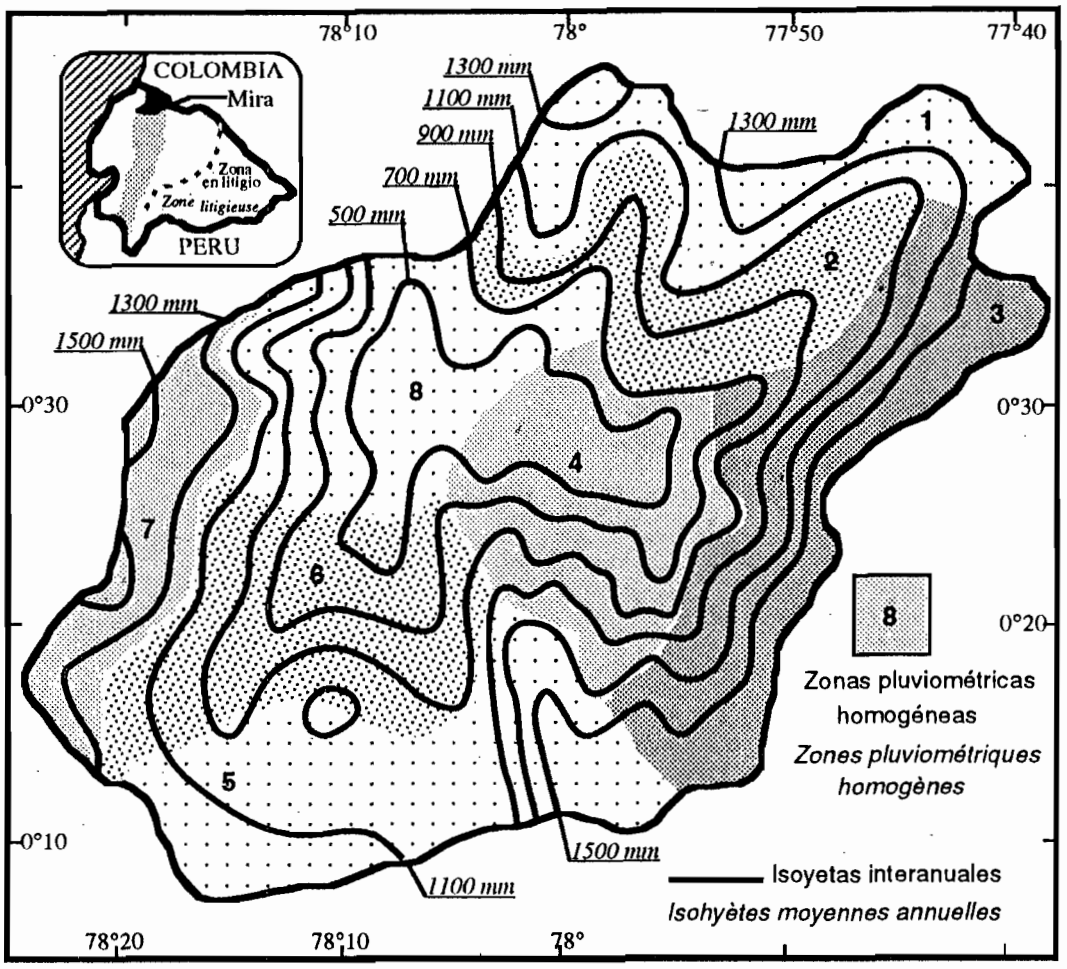


Figura 3 - Cuenca del Mira. Isoyetas medias anuales. Zonas pluviométricas seudo proporcionales.

Las regiones 8, 4 y 6 corresponden a la parte baja de los tres valles principales (Chota, Apaqui y Ambi) separados por estrechamientos bien marcados (entre 8/4 y entre 8/6) o por líneas de cresta importantes (entre4/6). La región 5 corresponde a la parte superior del valle del Ambi separado de la cuenca inferior por el volcán Imbabura. Estos accidentes de relieve modifican la circulación de las masas de aire locales y el impacto de los fenómenos climáticos continentales.

Las regiones 1, 2, 3 y 7 están separadas de sus regiones vecinas por un límite altitudinal. Están bien expuestas a las precipitaciones provocadas por la ascención de las masas de aire locales y pueden igualmente estar sometidas a la influencia de las cuencas vecinas (influencia amazónica en la región 3 por ejemplo).

Según el análisis de las series mensuales representativas de cada región (vectores generados en el período 1965-1985), se constata en primer lugar que la organización cronológica de las lluvias anuales no es fundamentalmente diferente de una región a otra. Se encuentran allí algunas constancias :

años (muy) fuertes :	69, 70, 71, 74, 75, 82, 84
años (muy) bajos :	67, 73, 77, 78, 79, 85

Se notará la influencia reducidadel Niño en la cuenca del Mira : el año 1983 que corresponde a un Niño excepcional, es superior al promedio, solamente en algunas estaciones.
Existe una cierta diferencia en los coeficientes de variación (CV = desviación estandár / promedio), en función de la altitud. Los CV son más reducidos (de 0,15 a 0,17) en las regiones altas (nº 1, 2, 5 et 7) cuando se elevan a 0,22 - 0,23 para los fondos de valles (nº 4, 6 et 8). Tenemos un valor promedio (0,20) en la región intermedia nº 2.

En cambio, esta diferencia está más marcada al nivel de la repartición estacional de las precipitaciones (regímenes pluviométricos).

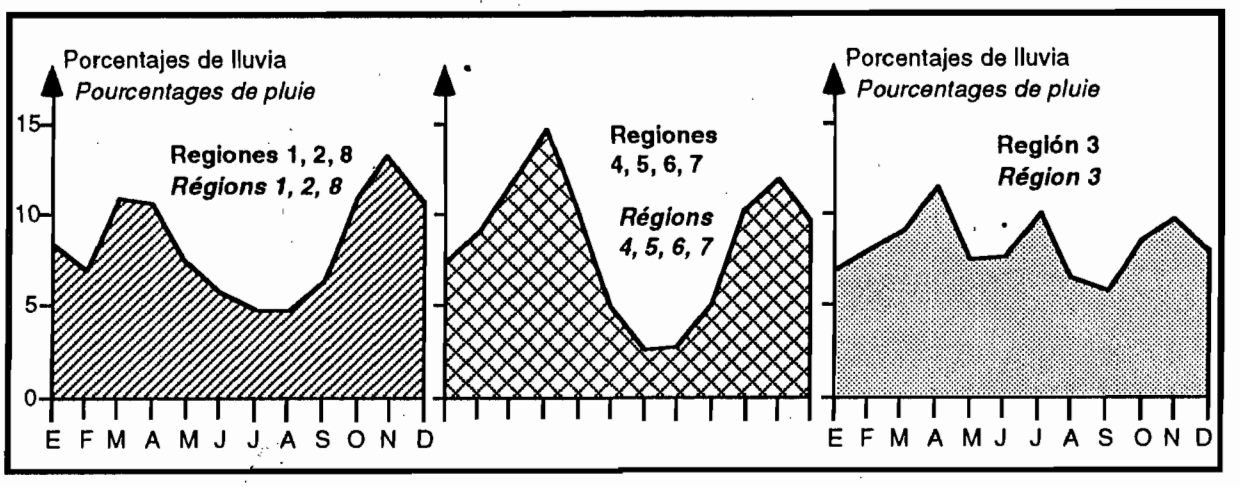


Figura 4 - Cuenca del Mira. Régimen de las precipitaciones en las 8 zonas seudo-proporcionales.

Las vertientes expuestas al sur-sureste (1, 2, 8) tienen una pluviometría más fuerte durante la segunda estación de lluvias (octubre-noviembre-diciembre) cuando la Zona de convergencia Intertropical sube hacia el norte.
Sucede exactamente lo contrario para las vertientes expuestas al norte (4, 4, 6 y 7).

La región 3 muestra bien la influencia de los alisios del sureste que llegan a pasar la barrera de la cordillera. No tiene practicamente estación seca y recibe más lluvia en el mes de julio que en el mes de noviembre.

3. REGIONALISATION DEL ETP EN LA CUENCA DEL MIRA

3.1 Homogeneización de las series

El módulo de homogeneización de CLINAN tambien es utilizado para el análisis de los parámetros climáticos necesarios para cálculo del ETP (temperatura, viento, insolación, humedad relativa, evaporación de la cubeta).
En la mayoría de los casos, nos contentaremos con los tests de simples masas que resultan suficientes en razón de la poca amplitud de la organización interna de las series cronológicas estudiadas.

3.2 Cálculo del ETP

Antes de pasar a la fase de cálculo del ETP, es necesario determinar la o las fómulas adaptadas a la posición geográficas y altitudinales de la cuenca, pues los estudios anteriores llevados en Colombia muestran una deriva de ciertas fórmulas en función de la altura.

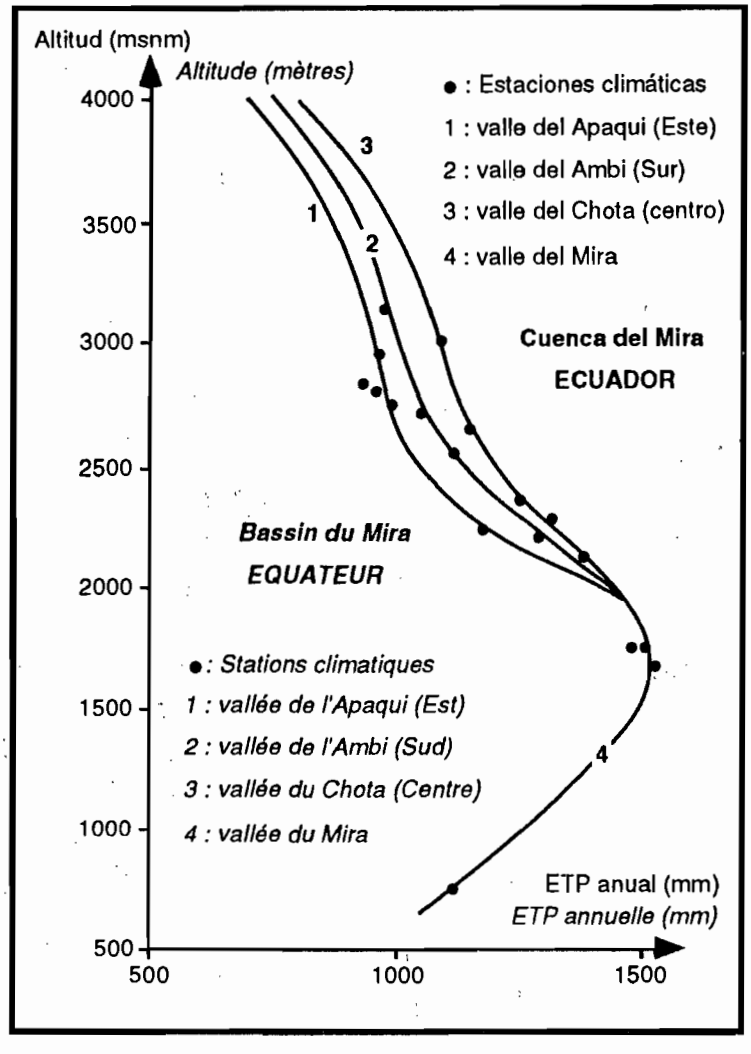
Dada la ausencia de lisímetros, la comparación se efectua con respecto a la evaporación medida en las estaciones que poseen un cubeta de clase A.
La ETP es calculado según 7 fórmulas (Blaney-Criddle con la corrección de Phelan, Thornthwaite, Christiansen-Yepez, Hargreaves, Penman original, Turc y Penman modificada).

La comparación es efectuada al nivel de los valores absolutos y de las variaciones temporales y permite sacar las fórmulas mejor adaptadas según la región concernida.

En la cuenca del Mira, la fórmula de Penman modificada obtiene los mejores resultados en las 7 estaciones que poseen una cubeta.

Pues, esta fórmula es aplicada en las 18 estaciones climáticas que pertenecen a la cuenca.

3.3 Relación entre ETP y altura (Fig.5)



Como en el análisis pluviométrico, se notan 3 tendencias principales que corresponden a los tres valles principales.

En este caso, las curvas están menos dispersas.

Esto es normal dada las mejores correlaciones entre parámetros climáticos y altitud y el número reducido de estaciones que no permiten apreciar las variaciones particulares de cada valle transversal.

El valor máximo del ETP se sitúa hacia 1700 m, altura similar al mínimo pluviométrico encontrado en las figuras 2.

Estos 2 extremos corresponden al fondo del valle del Chota.

Sólo 2 estaciones sobrepasan los 3000 metros.

Las curvas fueron prologadas hasta 4000 metros después de haber cuidadosamente estudiado las relaciones entre cada parámetro climático y la altitud.

Figura 5 - Cuenca del Mira. Relaciones entre ETP y altitud.

3.4 Regionalización (Fig.6)

A partir del módulo de regionalización de CLIMAN aplicado a los valores del ETP, calculados por la fórmula de Penman modificada, se obtienen 3 grupos de estaciones que concuerdan con las tres tendencias de la figura 5.
Los coeficientes de correlación entre estación y vector correspondiente tienen valores similares cuando se pasa del nivel mensual al nivel anual. En cambio, sus valores son inferiores a los valores calculados en el análisis pluviométrico.

Región 1	4 estaciones	coeficientes de correlación = 0.88
Región 2	6 estaciones	coeficientes de correlación = 0.88
Reglón 3	8 estaciones	coeficientes de correlación = 0.84

Coeficientes de correlación promedios entre estaciones y vectores de cada zona.

Si se divide la región 3, las correlaciones mejoran de manera significativa, pero el período de cálculo de los vectores se reduce, dada las pocas observaciones de algunas estaciones. Aunque las correlaciones promedias sean bastante bajas en este grupo, las diferencias observadas entre estaciones y vectores no son demasiado fuertes.

Es posible que este resultado moderado provenga de una falta de rigor en la fase de homogeneización de los parámetros climáticos y en particular de la velocidad del viento. Este dato está registrado según diversas unidades de medidas y a diferentes altitudes, sin que esto esté siempre anotado en los anuarios.

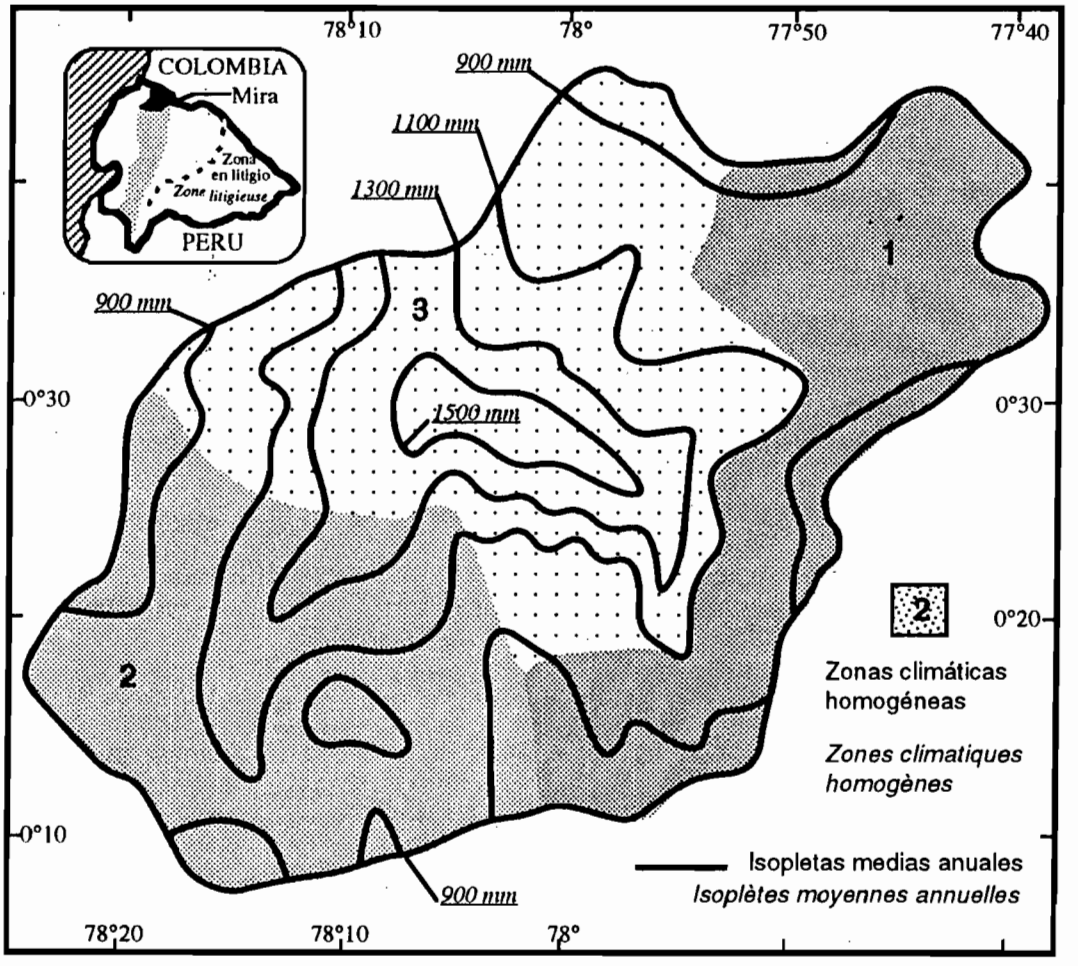


Figura 6 - Cuenca del Mira. Isopletas medias anuales. Zonas homogéneas de ETP.

La región 1 corresponde a la parte oriental de la cuenca que está sometida a una cierta influencia amazónica, cuando la región 3 está bajo influencia de las masas de aire provenientes del Pacífico.

4. UTILIZACION DE LOS VECTORES

4.1. Cálculo de las necesidades actuales

Los productos obtenidos por la regionalización climática, son mapas al 1/200 000, similares a las figuras 4 y 7. A cada zona homogénea está asociado un vector de índices mensuales y anuales, ajustado en un vector promedio anual de 1000 mm.

Si según el mapa de los isoyetas, un punto recibe 570 mm de lluvia anual y pertenece a la región climática 3, basta multiplicar el vector pluviométrico de la región 3 por 0,570 para obtener una serie cronológica mensual probable del punto considerado.

Se procede de la misma manera para el ETP. Superponiendo los mapas de regionalización y los de los perímetros, se generan así las series climáticas asociadas a cada perímetro.

Estos datos están registrados en el Banco general del riego donde figura una descripción precisa de la infraestructura de transpote y de distribución (largo, pendientes, eficiencias, etc...) y perimetros (sistemas de producción, características hidrodinámicas de los suelos, superficies equipadas y regadas, etc...) determinada a partir de las otras operaciones del proyecto.

A partir de allí, se pueve evaluar las dotaciones necesarias de cada perimetro en función de los riesgos a los que estamos expuestos : satisfacción de las necesidades 1 año sobre 2, 3 años sobre 4, etc... Se comparan los resultados con las concesiones legales y con los caudales realmente derivados (que pueden ser diferentes) para establecer un primer diagnóstico sobre la movilización del agua para el uso agrícola.

4.2 Cálculo de las necesidades eventuales

En varios casos, los sistemas de poducción se adaptaron al recurso en agua disponible. Su evolución hacia sistemas más intensivos depende pues en parte de una mejor distribución del recurso.

El proyecto procedió en la modelización de la economía agrícola en los espacios regados sobre la base del programa GAMS del Banco Mundial, a fin de simular diversos escenarios probables de evolución de los sistemas de producción y de las superficies regadas según los tipos de intervención propuestos.

Los resultados de la regionalización climática son utilizados como parámetros de entrada del modelo GAMS para evaluar las futuras necesidades en agua, según los diversos esquemas seleccionados.

4.3 Modelo lluvia-caudal

Los vectores y sus regiones, también son utilizados para calibrar un modelo de transformación lluvia-caudal en cuencas hidrológicamente homogéneas.

La delimitación de las zonas climáticas homogéneas permite aprehender mejor el impacto de los diferentes regímenes climáticos en el recurso hídrico, a fin de calcular un vector pomedio por cuenca, que tome exactamente cuenta de los diferentes impactos (porcentages de superficie ocupados por los diferentes vectores, lluvia promedia correspondiente a las regiones climáticas concernidas).

Unos intentos están pendientes en 3 cuencas vertientes controladas por estaciones hidrométricas y en las cuales interfieren varias zonas climáticas. Las mejores correlaciones entre clima (lluvia, ETP) y caudales mensuales son obtenidas con los vectores, pero todavía no son satisfactorias (alrededor de 0,6) en razón de la falta de confiabilidad de los datos hidrométricos que necesitan una buena verificación.

4.4 Cálculo de los recursos disponibles en las tomas

A cada toma corresponde una cuenca vertiente. Cada una de las tomas está identificada por su pertenencia a una cuenca hidrologicamente homogénea y por su posición en la red hidrográfica, gracias a una codificación linear que permite determinar los caudales derivados río arriba y el impacto que tiene esta toma río abajo.

Su cuenca vertiente está caracterizada por su superficie, sus valores promedios anuales de lluvia y de ETP y los vectores promedios correspondientes.

Una vez terminado el ajuste definitivo del modelo de transformación lluvia-caudal, es posible estimar los caudales disponibles (mes por mes y año por año) al nivel de cada toma, y simular los cambios propuestos por la simulación agroeconómica para evaluar la factibilidad.

4.5 Diagnóstico de la red

La metodología seguida permite analizar las estaciones de la red según 3 criterios : la calidad de observación, la repartición altitudinal y la distribución espacial.

Las curvas entre lluvia y altitud muestran bien la falta de estaciones arriba de 3000 metros.

Los grupos 1, 2 y 3 tienen muy poca consistencia por la falta de estaciones; en algunos casos, tuvimos que introducir puestos pluviométricos pertenecientes a cuencas vecinas para construir el vector.

En el grupo 7, las estaciones están demasiado localizadas en la cuenca vertiente experimental, lo que genera una falta de precisión en el trazado de los límites de región.

En cambio, en el fondo del valle (región 8 principalmente), otros organismos (públicos o privados) instalaron estaciones climáticas para mejorar la gestión de los grandes perímetros de caña de azucar.

A veces, estas estaciones son contadas como partida doble con las estaciones del Instituto Meteorológico, INAMHI. Este último podría pues liberar algunos puestos pluviométricos recientes (107 y 902) o muy mal observados (603) para reequilibrar la red hacia las regiones señaladas.

Estas recomendaciones prácticas y precisas podrán ser completadas por criterios de gestión de la red más elaborados (densidad mínima según el tipo de región) cuando se dispondrá de datos más completos sobre las otras cuencas del Callejón Interandino, para proponer una red óptima.

4.6 Clasificación y características climáticas

La mayor parte del tiempo, la clasificación al nivel de un país está basada sobre el análisis de estaciónes dichas representativas : desgraciadamente, la representatividad espacial de las estaciones elegidas no es muy demostrada.
La regionalización climática tiene la ventaja de delimitar espacios al interior de los cuales el vector generado ofrece una representatividad cifrada : es pues un instrumento interesante para elaborar una clasificación climática precisa.
También se pueden utilizar los vectores de segundo orden : conduce entonces a una clasificación más basta, pero a menudo suficiente. Se puede también repetir la operación varias veces para llegar a los grandes tipos de clima.

El intento realizado en el Mira permite reunir la 8 regiones originales en 3 categorías :

- la primera reune las regiones 1, 2 y 8 con coeficientes de correlación promedios de 0,94 en mensual y 0,93 en anual.
- la segunda reune las regiones 4, 5, 6 y 7 con coeficientes de 0,93 y 0,90
- la tercera queda aislada.

Gracias al cálculo, se vuelve pues a encontrar las reagrupaciones hechas al nivel de los regímenes pluviométricos (fig.4).

CONCLUSION

En el marco del poyecto INERHI-ORSTOM (Riego tradicional en los Andes ecuatorianos), vimos la importancia de un buen conocimiento preliminar de las características principales del clima (lluvia y ETP) para establecer diagnósticos al nivel de perímetros y de sistemas muy dispersos en el espacio. El método del vector regional permite responder a esta necesidad.
El algoritmo utilizado (vector de Y. Brunet-Moret) y el programa asociado a éste (CLIMAN), son instrumentos prácticos y eficientes para homogeneizar las series cronológicas mensuales (casi todos los errores detectados fueron confirmados por las visitas de campo). Permiten también delimitar zonas seudo-proporcionales representadas por vectores, que luego son utilizados para calcular necesidades y recursos en todo punto del espacio, lo que corresponde a los objetivos fijados por el proyecto.
Claro, todavía falta mejorar algunas cosas al nivel de los vínculos que caracterizan una zona homogénea. En efecto, el coeficiente de correlación quizás no sea el mejor indicador de la seudo-proporcionalidad de las series cronológicas dentro de una misma región. El índice utilizado por el programa MVR (vector de G. HIEZ) fue probado en 14 estaciones de los Galápagos y allí tampoco, los resultados no son convincentes.
Por ahora, la distincción entre regiones seudo-proporcionales requiere todavía un cierto conocimiento del medio.
Pero la metodología propuesta encierra otras posibilidades rapidamente expuestas, que tendrían que generalizar su empleo, principalmente en los medios andinos, donde las variaciones climáticas son particularmente importantes en razón de un relieve muy contrastado.

BIBLIOGRAFIA

ALEMAN M., 1992 - Utilización de vectores climáticos para generación de caudales. *Montpellier, INERHI-ORSTOM, 10 p.*

BOULET J., LE GOULVEN P., POUPON H., 1984 - Metodologías aplicadas. *In : Estudio integrado del Altiplano Cundiboyacense, Bogotá, éditions de l'IGAC, 437 p., 17 fig., 20 tab., 9 annexes.*

BRUNET-MORET Y., 1979 - Homogénéisation des précipitations. *In : Cahiers ORSTOM, série Hydrologie, vol XVI, n° 3 et 4, pp. 147-170.*

CADIER E., POURRUT P., CRUZ R., & al., 1978 - Estudio hidro-meteorológico e hidrogeológico de la cuenca del río Esmeraldas y del norte ecuatoriano. *Quito, MAG-ORSTOM, 2 vol.*

CADIER E., POURRUT P., 1979 - Inventaire et détermination des données nécessaires à l'utilisation rationnelle des ressources en eau dans le cadre d'une planification globale des ressources naturelles renouvelables. L'expérience de l'Equateur. *In : Cahiers ORSTOM, série Hydrologie, vol XVI, n° 3 et 4, pp. 171-207.*

HIEZ G., 1977 - L'homogénéité des données pluviométriques. *In : Cahiers ORSTOM, série Hydrologie, vol XIV, n° 2, pp. 129-172.*

LE GOULVEN P., GARCIA R., 1980 - Proposición metodológica de un estudio climatológico para el desarrollo, ejemplo del Altiplano Cundiboyacense. *Bogotá, IGAC, 15 p. multigr.*

LE GOULVEN P., RUF T., RIVADENEIRA H., 1987 - Méthodologie générale et détails des opérations du projet INERHI-ORSTOM.- *Quito, INERHI-ORSTOM, 06/87, 91p + an. (Français, Espagnol).*

LE GOULVEN P., 1987 - Caracterización climática, metodología de la operación D3. *Quito, INERHI-ORSTOM, 20 p. multigr.*

LE GOULVEN P., 1988 - El vector Y. B. M., resumen metodológico; programas V1, V2, V3, manual del usuario.- *Quito, INERHI-ORSTOM, 10/88, 14p.*

LE GOULVEN P., 1988.- Homogeneización de los datos pluviométricos.- Conferencia al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI).- *Quito, INERHI-ORSTOM, 17/03/88, 23p.*

LE GOULVEN P., SEGOVIA A., ALEMAN M., 1988 - Banque des données climatiques mensuelles (pluie, évaporation, température, insolation, humidité relative, vent) pour l'ensemble du réseau (un peu plus de 900 stations).

LE GOULVEN P., ALEMAN M., OSORNO I., 1988 - Homogeneización y regionalización pluviométrica por el método del vector regional.- *Com. V Congrès Equatorien d'Hydraulique, Quito, 23-26/11/88, pp 59-83, (Espagnol, Français).*

LE GOULVEN P., ALEMAN M., 1990 - Logiciel CLIMAN (Climantic Monthly Analysis) de traitement des données climatiques mensuelles, écrit en langage FORTRAN.