

Com :
*VIIIavos Días Hidrológicos " 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, capaces 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 isolinneas promedios anuales y regiones climáticas homogéneas 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 desarrollo 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 jurisdicción propia (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 gestor 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 sobretudo, 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 quinquenio 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 desarrolla 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 sólo 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, desarrollados 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, pues, no se insistirá en este punto.

El proyecto INERHI-ORSTOM utiliza el programa CLIMAN desarrollado 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 preponderantes. El conocimiento del clima es imprescindible para localizar las zonas de validez de las relaciones encontradas, que cubren generalmente varias zonas pseudo-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 rápidamente 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 km² 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 secundarias 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 frío, 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, abajo 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.

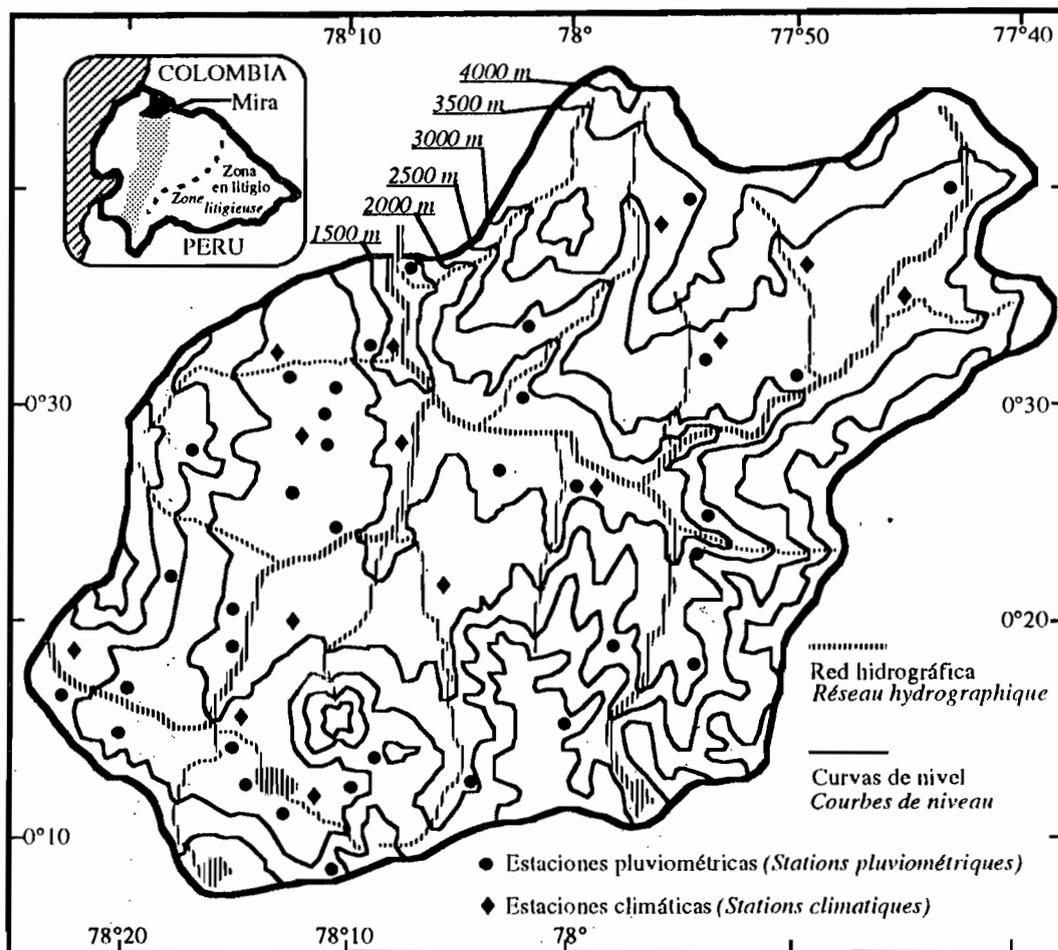


Figura 1 - Cuenca del Mira. Oro-hidrografía. Estaciones pluviométricas y climáticas.

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 frío (prados, cebadas y papa) y en el piso subtropical (caña de azúcar, alfalfa y labores de huerta). El piso templado está en mayor parte ocupado por los minifundios (policultivos a base de maíz-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 restringido 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 estaciones-vector y el análisis de los parámetros de detección proveídos 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.

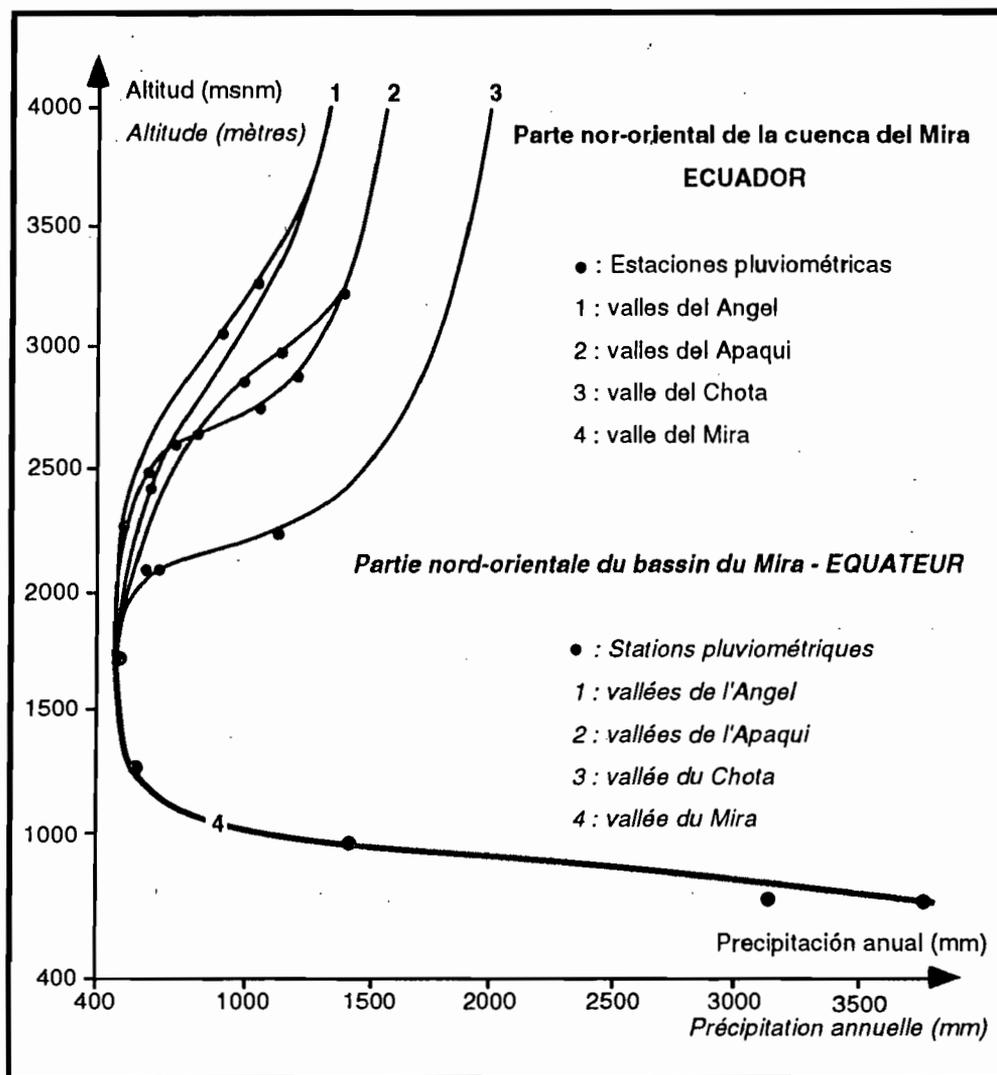


Figura 2a - Cuenca del Mira, parte nor-oriental. Relaciones entre lluvia y altitud.

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.

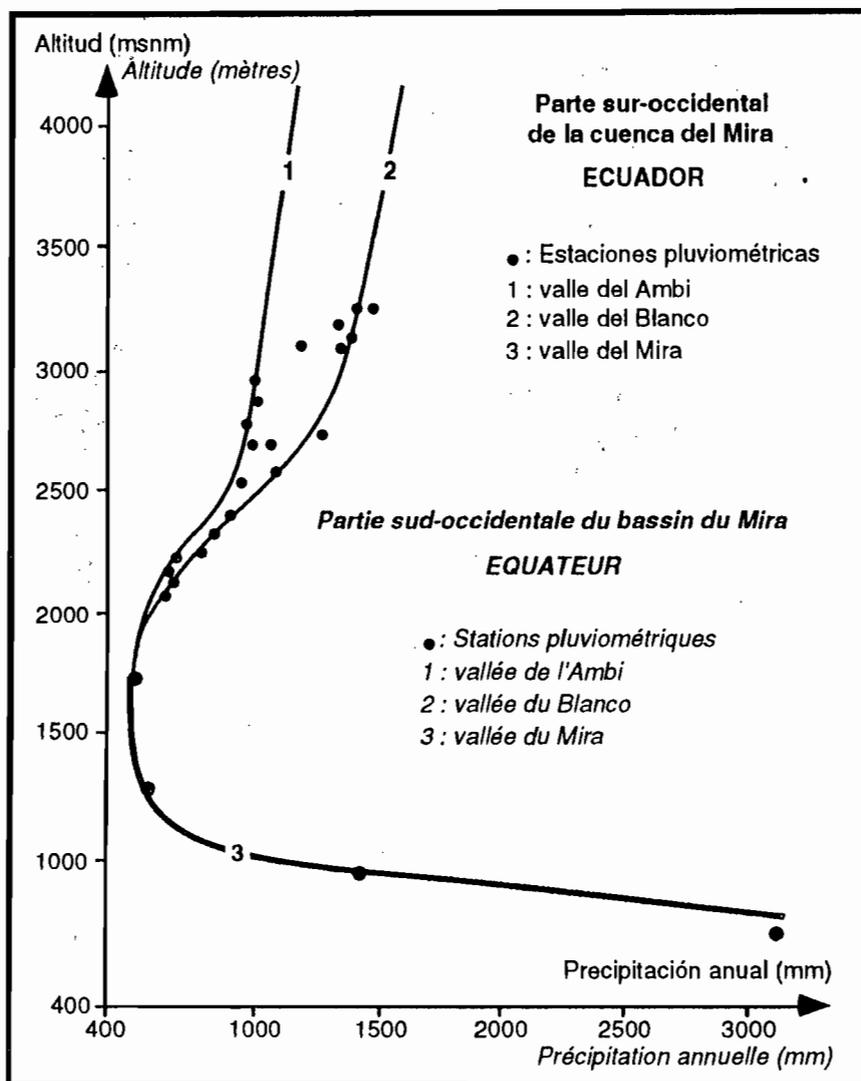


Figura 2b - Cuenca del Mira, parte sur-occidental. Relaciones entre lluvia y altitud.

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

Coefficientes 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 mensual 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 pseudo-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.

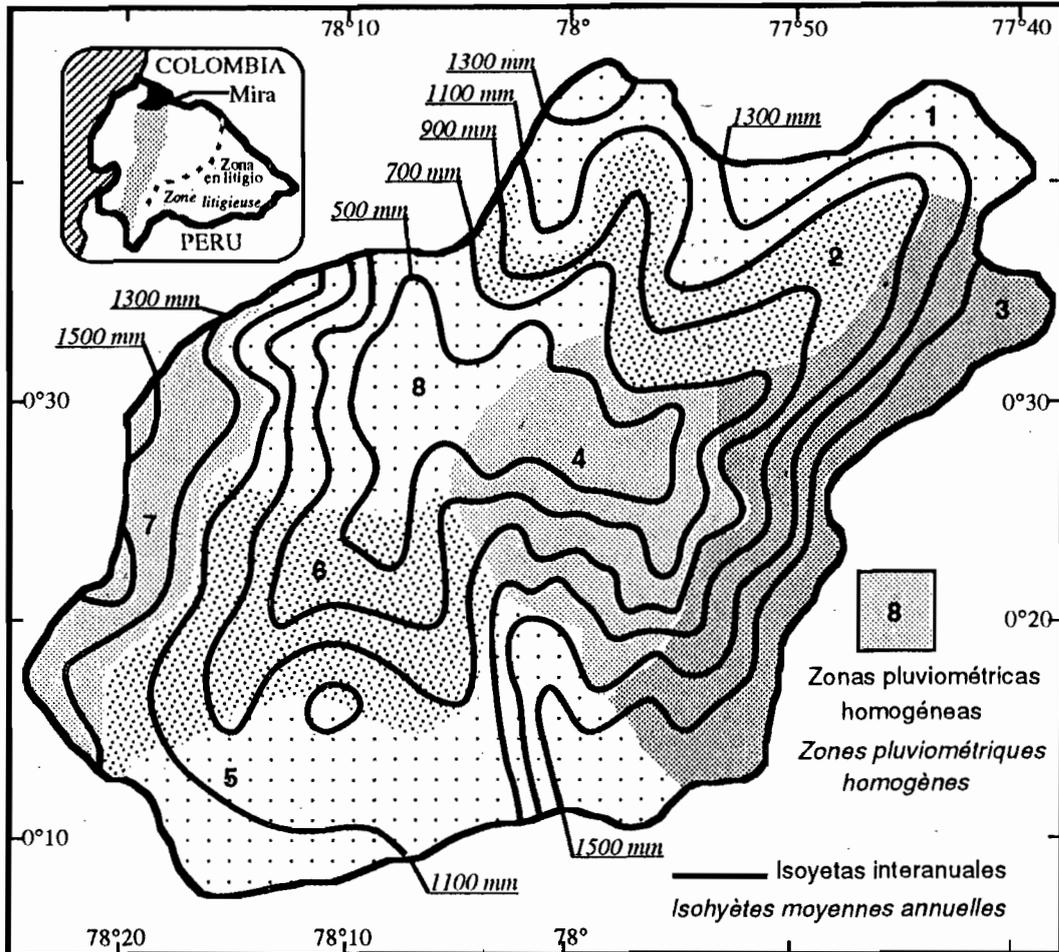


Figura 3 - Cuenca del Mira. Isoyetas medias anuales. Zonas pluviométricas pseudo proporcionales.

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 (entre 4/6). 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 ascensión 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 reducida del 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 estándar / 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).

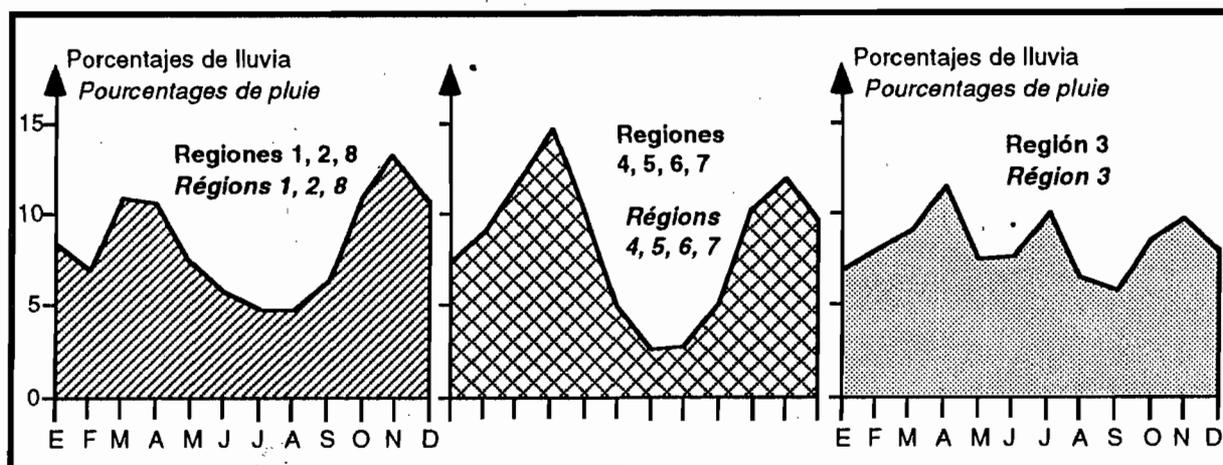


Figura 4 - Cuenca del Mira. Régimen de las precipitaciones en las 8 zonas pseudo-proporcionales.

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 prácticamente 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 también 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 fórmulas 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 efectúa 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-Yopez, 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)

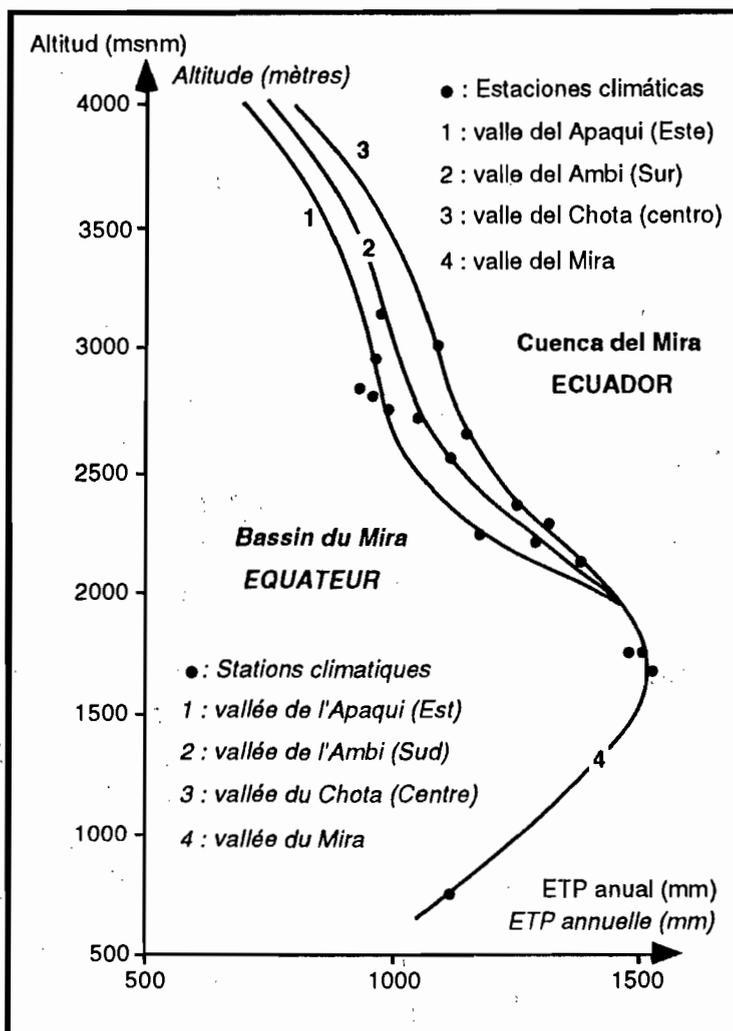


Figura 5 - Cuenca del Mira. Relaciones entre ETP y altitud.

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
Región 3	8 estaciones	coeficientes de correlación = 0.84

Coefficientes de correlación promedios entre estaciones y vectores de cada zona.

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.

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.

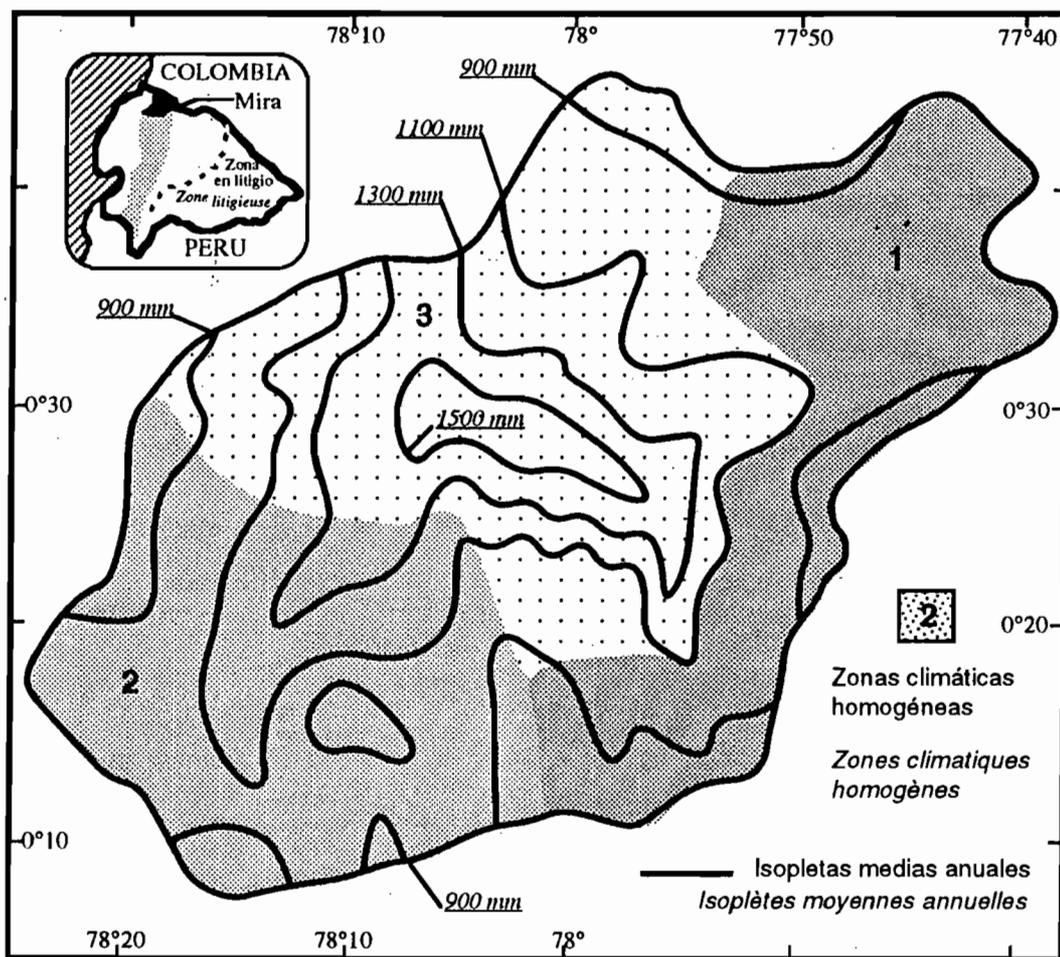


Figura 6 - Cuenca del Mira. Isoplethas medias anuales. Zonas homogéneas de ETP.

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 transporte y de distribución (largos, pendientes, eficiencias, etc...) y perímetros (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 puede evaluar las dotaciones necesarias de cada perímetro 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 producción 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 promedio por cuenca, que tome exactamente cuenta de los diferentes impactos (porcentajes de superficie ocupados por los diferentes vectores, lluvia promedio 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 hidrológicamente homogénea y por su posición en la red hidrográfica, gracias a una codificación lineal 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 azúcar.

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 estaciones 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 reúne las regiones 1, 2 y 8 con coeficientes de correlación promedios de 0,94 en mensual y 0,93 en anual.
- la segunda reúne 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 proyecto 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 pseudo-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 pseudo-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 distinción entre regiones pseudo-proporcionales requiere todavía un cierto conocimiento del medio.

Pero la metodología propuesta encierra otras posibilidades rápidamente 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 (Climatic Monthly Analysis) de traitement des données climatiques mensuelles, écrit en langage FORTRAN.