

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 curso de la historia pero sobre todo, en razón de un desconocimiento profundo de los parámetros climáticos

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 sola 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.

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.

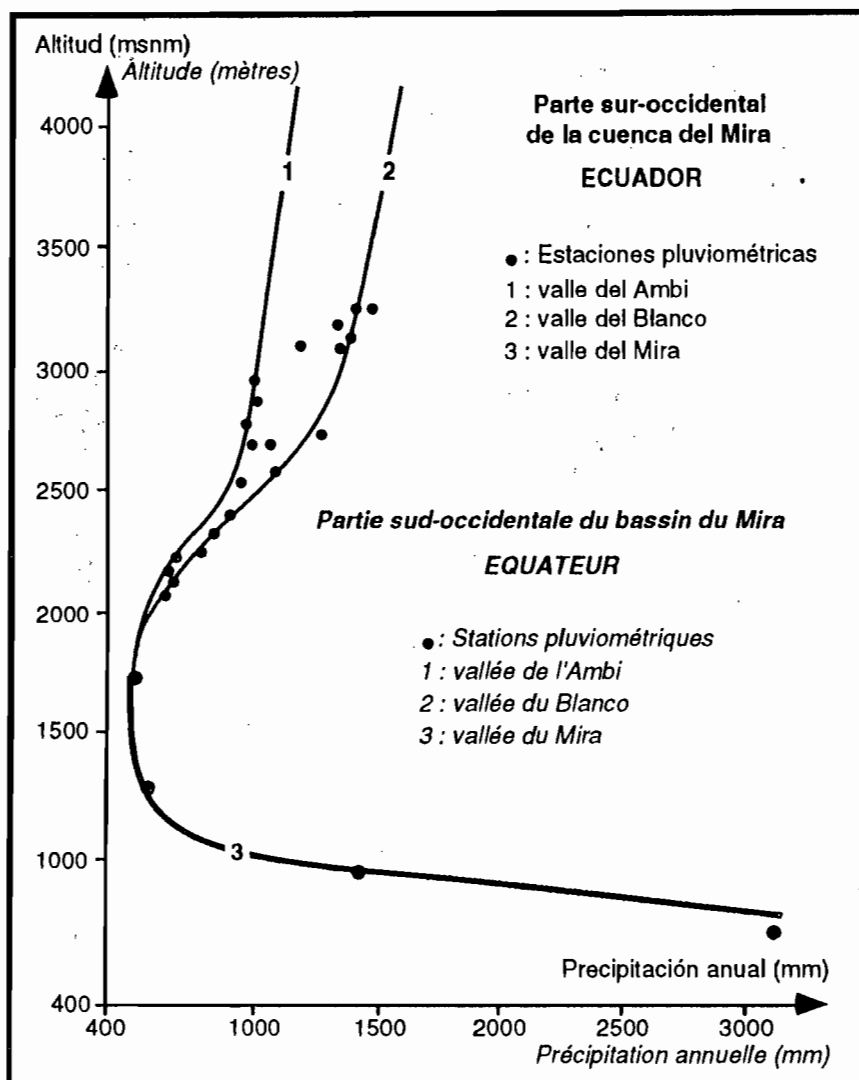


Figura 2b - Cuenca del Mira, parte sur-occidental. Relaciones entre lluvia y altitud.

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 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.

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).

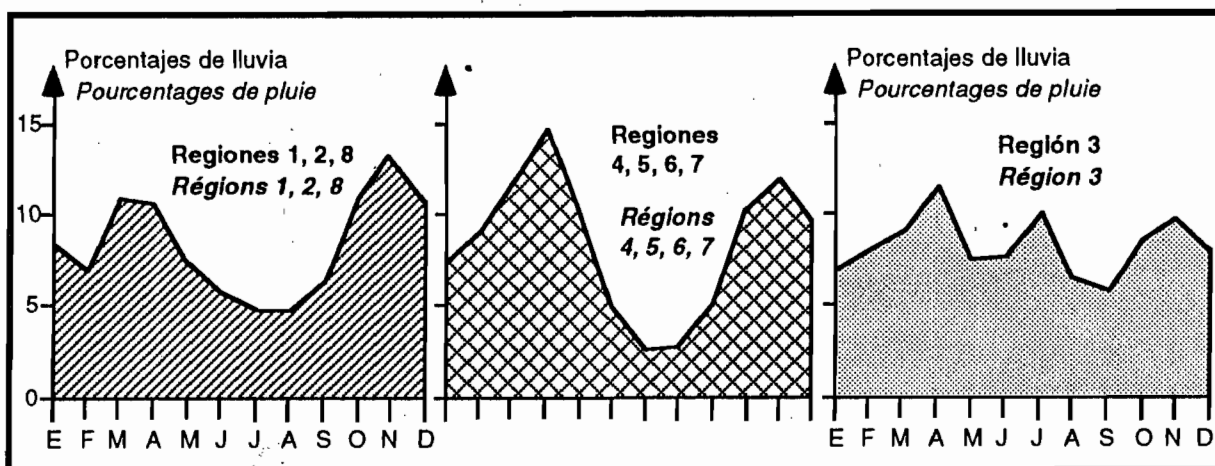


Figura 4 - Cuenca del Mira. Régimen de las precipitaciones en las 8 zonas pseudo-proporcionales.

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.

