



Investigaciones Geográficas (Mx)

ISSN: 0188-4611

edito@igg.unam.mx

Instituto de Geografía

México

Perevochtchikova, María; García Jiménez, Fermín
Análisis cualitativo de la red hidrométrica actual del estado de Guerrero, México
Investigaciones Geográficas (Mx), núm. 61, diciembre, 2006, pp. 24-37
Instituto de Geografía
Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56906103>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Análisis cualitativo de la red hidrométrica actual del estado de Guerrero, México

María Perevochtchikova*

Fermín García Jiménez**

Recibido: 3 de febrero de 2005

Aceptado en versión final: 15 de marzo de 2006

Resumen. El análisis y valoración correcta de una red de observación hidrométrica puede dar a los usuarios una visión clara del recurso hídrico en su territorio, de tal manera que les permita planear una mejor distribución y gestión del mismo. En el caso particular del estado de Guerrero, después de un análisis de la información hidrometeorológica disponible, se observó que el recurso agua a nivel superficial es abundante, aunque cabe la duda si es aprovechado de manera correcta y completa. Al hacer una revisión detallada de la base de datos observados de aguas superficiales se encontró que entre 1980 y 2000 hubo una disminución dramática en las estaciones en operación, en aproximadamente la mitad, al mismo tiempo que se encontraron in-coincidencias en las mismas bases de datos que dan un error en su manejo de un 4 a 7%. Todo esto conlleva a la dificultad de formar las isolíneas de escurrimiento superficial que permitan mostrar la disponibilidad real del recurso hídrico, así como la consecuencia de elaborar una estrategia incorrecta de planeación de su uso en interés del desarrollo económico y político del estado.

Palabras clave: Región hidrológica, cuenca hidrográfica, escurrimiento superficial, isolínea del escurrimiento, estación hidrométrica.

Qualitative analysis of the current hydrometric network in the State of Guerrero

Abstract. The correct analysis and valuation of the hydrometric observation network can give to the user a clear vision of the hydrological potential in their territory, this may allow them to plan a better administration of this resource. In the particular case of the State of Guerrero, the analysis of available hydrometeorological information suggest that this resource of surface water is abundant. Although there is the doubt if this resource it is taken advantage of complete and correct way. A detail revision of observed the surface water database, it was found that between 1980 to 2000 it was a dramatic decrease in the number operation stations, has been reduced approximately to the half, at same time we found some in-coincidences in the same database that show a error in its administration of 4 to 7%. All this leads to the difficulty to make isolines of surface runoff that would let show the real availability of the hydrological source, as well as the consequence to elaborate an correct strategy and planning of their use in interest of the social, economic and political development of the State.

Key words: Hydrology region, hydrology basin, surface runoff, isoline of flow, hydrometrical station.

*Instituto de Geografía, UNAM, Circuito Exterior, Cd. Universitaria, 04510, Coyoacán, México, D. F. E-mail: maria_perev@yahoo.com.mx

** Área de Riesgos Hidrometeorológicos, Dirección de Investigación, CENAPRED, Av. Delfín Madrigal 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, 04360, Coyoacán, México, D. F. E-mail: fgarcia@cenapred.unam.mx

INTRODUCCIÓN

Para un uso adecuado de los recursos naturales existentes en una región por la población, de acuerdo con sus actividades económicas locales específicas, es necesario establecer estrategias de planeación, control y gestión integral de estos recursos para que su distribución y explotación actual y a futuro sean las óptimas y eficientes. Para lograr esto se requiere, como primer paso, elaborar un análisis de evaluación correcta de los últimos, de tal manera que se cuente con información precisa de las cantidades disponibles.

El recurso hídrico, comprendido entre los recursos naturales y que se encuentra en forma superficial y subterránea, es uno de los más importantes para la vida cotidiana de la población. Su disponibilidad y extracción varían dependiendo de las características climatológicas, hidrogeológicas y geomorfológicas de la región y de las necesidades de la gente tanto para el uso doméstico, como para las actividades económicas de diferentes sectores. En lo que respecta a la calidad del agua, ésta dependerá del cambio de las características ambientales relacionadas con la contaminación del agua subterránea y de los cuerpos superficiales.

En el caso de México, el análisis y cuantificación de agua subterránea se basa metodológicamente en el cálculo del balance hídrico de un espacio limitado horizontalmente (por los intereses administrativos) y verticalmente (por la profundidad de los pozos), que incluye sólo manejo de cifras de la recarga y extracción del mismo y, por tanto, difícilmente refleja el comportamiento de todos los componentes del complejo proceso hidrológico. Es importante comentar que la delimitación por acuíferos, establecida por la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2004), está orientada más hacia la administración del recurso que a las características naturales del material geológico que lo constituye, como es su distribución espacial, espesor (INE, 2004) y

propiedades hidráulicas. Además, la red de monitoreo de los aprovechamientos del agua subterránea registrados en la CNA (manantiales, norias, pozos) es bastante reducida por el territorio del país y no cuenta con todos los puntos de extracción existentes, además, no está actualizada, ya que se encuentra a la disposición pública en forma impresa y digital sólo para el año 1983.

Por el contrario, la situación con el análisis cualitativo de agua superficial pudiera estar mejor que la del agua subterránea, ya que se cuenta con una red bastante amplia de observación hidrométrica de registro continuo (por lo menos en cada entidad federativa hay cerca de 100 estaciones hidrométricas, con excepción del estado de Yucatán, donde no existen corrientes perennes superficiales), y otra red de monitoreo de la calidad del agua superficial que cuenta con la información de 1983.

Pero, aquí cabe destacar que al momento de utilizar los datos estadísticos de las estaciones hidrométricas para distintos propósitos, ya sea pronósticos hidrológicos o cálculos del balance, se enfrenta uno con diferentes problemas: desde la distribución irregular de las estaciones por el territorio, diferentes periodos de observación, disminución drástica en la cantidad de estaciones en los últimos 30 años y hasta la ineficiencia de los datos presentados en los archivos de registro.

Es por eso que el interés de este estudio es analizar la red hidrométrica a nivel de un estado, en particular de Guerrero, con el objetivo principal de definir si el número de estaciones que se encuentran actualmente en operación y sus periodos de observación son suficientes para presentar un diagnóstico confiable sobre el recurso hídrico superficial del estado. Para esto se utilizará el análisis de diferentes estadísticas y la elaboración y comparación de los mapas de isolíneas de escurrimiento para tres periodos distintos de registro de datos.

METODOLOGÍA

Área en estudio

El estado de Guerrero se ubica en la costa central Mexicana del Océano Pacífico; entre los 16°18' y los 18°48' de latitud norte y los 98°03' y los 102°12' de longitud oeste (Figura 1).

La línea perimetral del estado mide aproximadamente 1 597 km, de los cuales 1 097 son terrestres y 500 litorales (5.9% de línea costera total del país) y su extensión superficial es de 64 282 km² (3.3% del territorio del país), que incluye 64 277 km² de tierra firme y cinco de islots. Se puede inferir que por su ubicación y extensión, Guerrero cuenta con una gran variedad de condiciones climáticas regidas por la fisiografía del mismo.

En la mayor parte de su territorio el clima es cálido subhúmedo y en las zonas montañosas es templado subhúmedo. La tempera-

tura media anual es de 18 a 26° C, la presión atmosférica promedio anual está cerca de los 1 011 mb, la humedad de 65 y 70% y la precipitación media anual histórica es de 1 106 mm (SMN: periodo 1941-2002). La mayor cantidad de lluvia en Guerrero ocurre en el verano entre los meses de mayo a octubre (Figura 2) debido a la presencia de las ondas tropicales cerca de las costas nacionales por el desplazamiento de la zona Intertropical de Convergencia hacia el norte.

La población total del estado de Guerrero para el 2003 consistía en cerca de tres millones de habitantes, de los cuales 55.3% se ubicaba en las áreas urbanas y otro 44.7% en los rurales, con densidad de población de 51 habitantes por un km². Las ciudades más grandes del estado son: Chilpancingo (la capital), Acapulco, Taxco y Zihuatanejo. Su principal actividad económica se divide entre agricultura (con un 62.2% de la población económi-

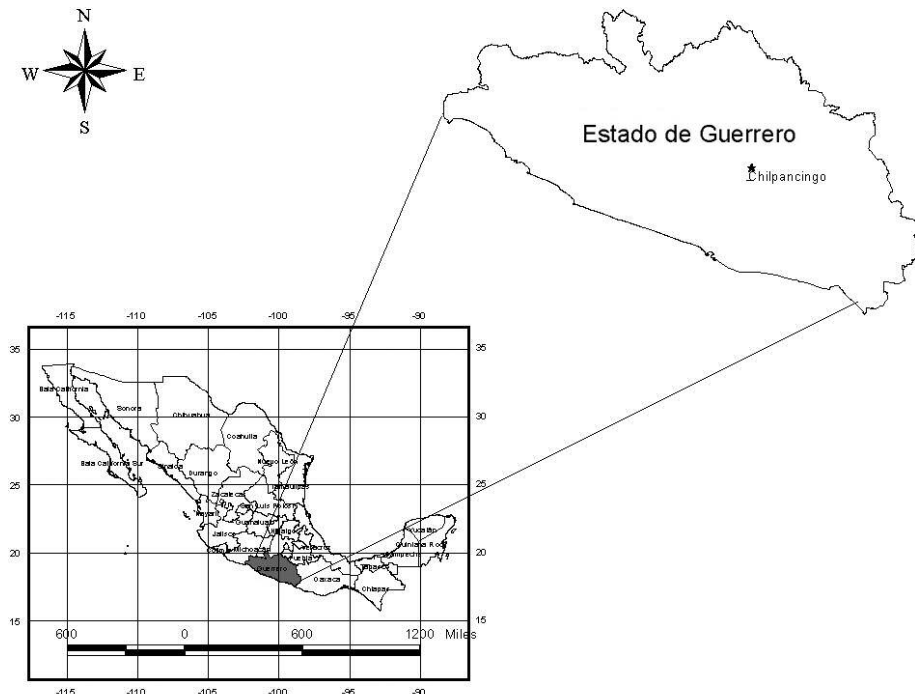


Figura 1. Ubicación del estado de Guerrero.

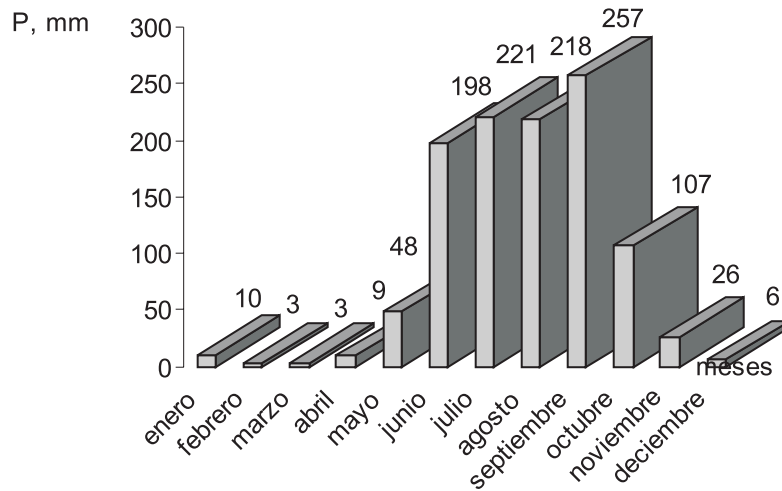


Figura 2. Precipitación media mensual histórica, en mm, del estado de Guerrero (1941-2002).

camente activa ocupada en este sector), ganadería, minería, explotación forestal y turismo (INEGI, 2003).

De acuerdo con los usos específicos del agua a nivel nacional, Guerrero se coloca en el 11º lugar en el uso doméstico, el 16º en el uso público, ocupa el noveno sitio en el uso agrícola, el 15º en el industrial y el segundo en hidroeléctrico (después de Chiapas). La

distribución del porcentaje del uso de agua dentro del estado (de la cual 96% es superficial y sólo 4% subterránea) se presenta en la Figura 3. Cabe mencionar que la principal fuente de agua para el uso agrícola es precisamente la superficial, la cual se extrae directamente de los ríos o de las presas; la infraestructura hidráulica del estado comprende 14 presas importantes por su capacidad de al-

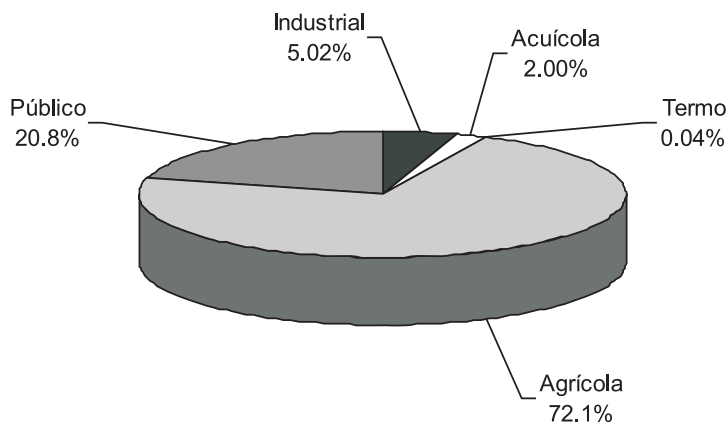


Figura 3. Uso del agua en el estado de Guerrero.

macenamiento, de las cuales diez son para riego y cuatro para generación de energía eléctrica (Bernabé, 2004).

Análisis del recurso hídrico

El sistema montañoso de la Sierra Madre del Sur divide a Guerrero en dos partes en la dirección NO-SE, formando un parteaguas entre las corrientes superficiales que vierten sus aguas directamente al Océano Pacífico y otros al río Balsas (Figura 4), que finalmente también lleva sus aguas al Pacífico. Separado por la misma divisoria superficial, el estado forma parte de dos Regiones Administrativas (RA), o Regiones Hidrológicas Administrativas, de la CNA, de un total de 13 en todo el país: la región IV Balsas al noroeste y la V Pacífico Sur al sureste (CNA, 2004).

La división por las zonas hidrológicas tiene dependencia igual de los cambios del relieve en el estado y, también, de las diferencias en las características climatológicas; así, se presentan las zonas *áridas* en la Cuenca del río

Balsas, las *sub-húmedas* en la parte abierta al océano del territorio y en el filo de la Sierra Madre del Sur, y las *húmedas*, que se ubican en las extensiones boscosas muy altas (Figueroa de Cotin, 1980).

A su vez, las trece RA de la CNA de todo el país se subdividen en 37 Regiones Hidrológicas (RH) de acuerdo con los criterios geográficos para delimitar cuencas hidrográficas, con la restricción de que ningún municipio puede pertenecer a dos o más RH; y de las cuales tres están presentes en el territorio del estado de Guerrero (Tabla 1).

De acuerdo con las cartas hidrológicas de aguas superficiales del INEGI (1981, 1983 y 1988) y la base de datos estadísticos del Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS, 1999), Guerrero cuenta con 15 cuencas hidrográficas (Figura 5) y un total de 155 estaciones climatológicas y 94 hidrométricas registradas en su territorio, cabe comentar que sólo 37 de estas últimas estaban en servicio en 1999 (Tabla 2). Además, en la misma base de datos BANDAS –que realmente es la

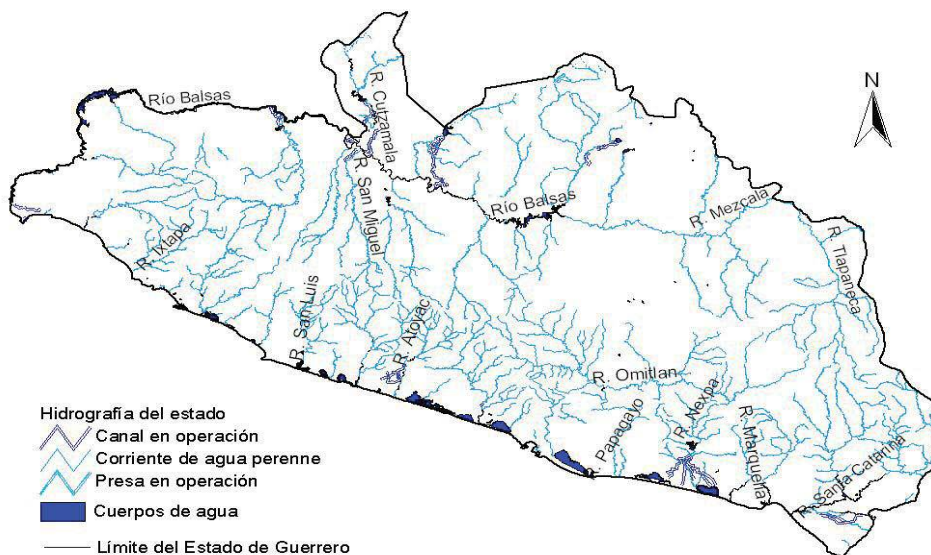


Figura 4. Red hidrográfica del estado de Guerrero.

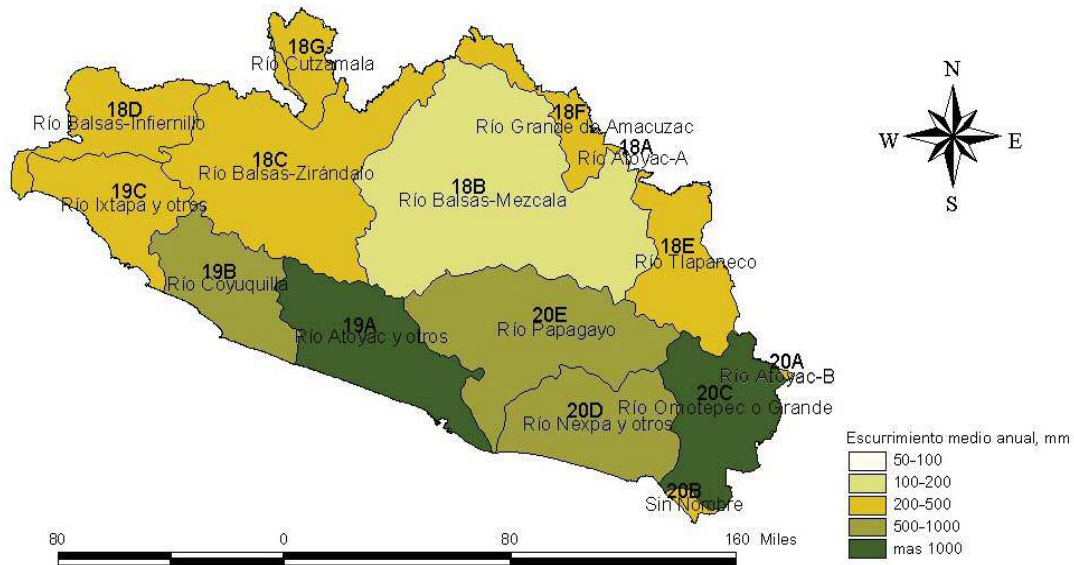


Figura 5. Cuencas hidrográficas y escurrimiento medio anual (en mm).

Tabla 1. División por regiones hidrológicas del estado de Guerrero

Región Administrativa	No. Región Hidrológica	Nombre de Región Hidrológica	Extensión territorial continental total, km ²	Porcentaje del estado, %	Precipitación media anual 1941-2002, mm	Escurreminto superficial medio anual, Mm ³
IV	18	Balsas	117 406	53.1	949	24,94
V	19	Costa Grande de Guerrero	12 132	18.9	1 243	6,05
V	20	Costa Chica de Guerrero	39 936	28.0	1 403	18,93

Tabla 2. Estaciones hidrométricas del estado de Guerrero

año	No. total de estaciones hidrométricas	No. de estaciones hidrométricas con cierto periodo de observación	No. de estaciones hidrométricas por región hidrológica		
			RH 18	RH 19	RH 20
1981	67	56 (15 años)	30	16	10
1994	55	34 (30 años)	16	14	4
1999	37	20 (30 años)	9	9	2

única fuente disponible para todo el público con la información hidrométrica hasta el año 1999 y en formato digital- a veces no es posible obtener algunos datos de las estaciones,

así como su descripción, ubicación, áreas drenadas y/o coordenadas, y para el caso del estado de Guerrero muchas veces se duplican los nombres de las estaciones con valores

de datos diferentes (como son las estaciones Palo Alto, San Cristóbal y Santo Tomás). Cabe destacar que hasta 1977 los datos estadísticos de observación hidrométrica se publicaban en forma impresa por parte de la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH) en los Boletines Hidrológicos (SRH, 1968, 1970, 1971, 1977).

En la Tabla 2 se presenta la dinámica de cambios en las cantidades de estaciones hidrométricas de Guerrero, de donde se puede inferir la primera sensación de que la situación actual de la red hidrométrica en este estado es bastante crítica, porque muchas estaciones que se encontraban en funcionamiento en el periodo 1960-1980 (cerca de un 74.2%), para 1999 fueron cerradas. Además, la distribución espacial de estas estaciones ya no es homogénea y presenta diferentes problemas en el momento de usar sus datos a escala con mayor detalle (1: 50-250 000), porque a esta escala se requería interpolar los datos hidrométricos a distancias largas que, a su vez, provocaría el aumento en el error estadístico de los recálculos de valores locales a partir del uso de un mapa elaborado. En Guerrero algunas estaciones cubren áreas grandes en su "servicio", por ejemplo, como en la parte oriental de la RH 18 y en la RH 20, donde en la actualidad hay sólo dos estaciones hidrométricas en un área de 18 000 km².

Marco teórico

Para mostrar la disponibilidad del agua superficial en un punto dado de cualquier territorio y presentar sus cambios en el tiempo y en el espacio, se usa una variedad de fórmulas, gráficos, tablas y mapas hidrológicos (mapas de isolíneas de escorrentía, m³s⁻¹; de capas promedio anuales, mm; de módulo de escurrimiento, ls⁻¹km⁻²), que se basan en la síntesis de los datos hidrométricos y climatológicos de los puntos de observación.

La elaboración de los mapas de isolíneas de escorrentía se basa en las leyes de la física, en particular en la visión de una cuenca hi-

drográfica como un campo hidrológico análogo al de la electromecánica con sus características particulares de potencial y tensión. El trabajo de transportación del agua de un punto de observación hacia otro dentro de esta cuenca se llama potencial y la tensión representa el desequilibrio de las fuerzas externas (gradientes). Cuando se presenta una inestabilidad de potenciales en el campo electromecánico aparece un fluido que va por las líneas de tensión mínima; en forma análoga, en el campo hidrológico lo representa el cauce del río. Es obvio que esta visión del campo hidrológico es condicional, porque en la realidad, en un territorio dado, pueden existir las zonas de baja humedad o sin escurrimiento que adquieren mayor importancia al aumentar la escala de la zona en estudio (Vladimirov, 1990).

De ese modo, la teoría del trazo de las isolíneas de escorrentía se basa en la conservación de la humedad del suelo de un territorio por el tiempo y en la regionalización del comportamiento hidrológico de los ríos. Eso quiere decir que el cambio del régimen fluvial de un territorio particular depende de su ubicación en cierta zona geográfica de la Tierra, como la consecuencia de la regionalización general del clima en el planeta, y porque el flujo superficial se encuentra en función directa con los factores meteorológicos.

Cabe mencionar que normalmente los mapas de escurrimiento se hacen con base en estudios muy regionales, por lo que no revelan los cambios de la escorrentía bajo factores físicos locales del terreno. Por el contrario, un estudio de la cantidad de escurrimiento a mayor escala depende de las singularidades del relieve y geología de la cuenca hidrográfica, su geomorfología, etc., y en su acción conjunta refleja mejor el régimen hidrológico del territorio en comparación con los estudios regionales.

Formación de isolíneas de escorrentía

El caudal de un río Q (m³s⁻¹), calculado en una estación hidrométrica por los datos de la ve-

locidad de corriente V (ms^{-1}) y área de la sección transversal de esta estación ω (m^2 ; ecuación 1), puede ser representado en forma de lámina Y (mm), de módulo q ($\text{ls}^{-1}\text{km}^{-2}$) o de volumen del agua W (m^3); los dos primeros caracterizan el flujo superficial que se distribuye en forma integral por toda el área de la cuenca hidrográfica (ecuación 2).

$$Q = V \cdot \omega \quad (1)$$

$$Q_p = \frac{Y \cdot F \cdot 10^3}{t} = \frac{q \cdot F}{10^3} = \frac{W}{t} \quad (2)$$

donde:

Q_p – caudal promedio diario, mensual o anual, calculado por los datos de Q medido en una estación hidrométrica (m^3s^{-1});

t – periodo de tiempo (segundos);

F – área drenada de la cuenca (km^2).

Para el trazo de isolíneas de escorrentía se toma como punto de ubicación del valor obtenido de Y , q , o Q_p - el centro de gravedad del área drenada de una cuenca. Para ubicar este centro en el mapa existen varias técnicas gráficas y analíticas; incluso, en las micro y sub-cuencas se pueden establecer visualmente. En áreas pequeñas con superficie plana la formación de isolíneas se hace mediante una interpolación recta entre los valores de escorrentía de los puntos centrales de las cuencas; en cuanto en zonas montañosas o con un área mayor (hasta miles de kilómetros cuadrados) para el proceso de interpolación, tiene que ser tomando en cuenta el cambio de gradiente de la escorrentía debido a la diferencia entre los puntos por la altura (Vladimirov, 1990).

La confiabilidad de un mapa temático sobre escorrentía superficial depende de varias variables, entre las cuales están:

- Errores de la medición de datos observados.

- Duración del periodo de observación hidrométrica, dependiendo del elemento físico usado para la elaboración del mapa.
- Cambios de flujo en el tiempo (coeficiente de variación).
- Densidad de la red de observación.
- Grado de homogeneidad en el relieve.
- Escala del mapa.
- Magnitud de escorrentía.

Debe recordarse que el objetivo final de una red de observación hidrometeorológica no es sólo el registro continuo de los datos físicos del ambiente o de una corriente del agua, sino también, la utilización de los datos obtenidos para elaboración de pronósticos hidrológicos, a corto y largo plazo, y balances del recurso hídrico que pueden ser útiles para diferentes propósitos.

Por ejemplo, los pronósticos hidrológicos juegan un papel muy importante en el desarrollo de distintos sectores económicos, cuyas actividades están relacionadas con el uso del agua; en particular, para la agricultura (en este caso riego), producción hidroeléctrica, transporte fluvial y, también, para la planeación de acciones en la protección civil (prevención de inundaciones). Por su parte, el error estadístico del pronóstico hidrológico dependerá siempre de la cantidad y ubicación correcta de los puntos de monitoreo y la duración del periodo de observación. En la literatura científica consultada sobre el tema (Apollov *et al.*, 1974; Georgievsky, 1982; Orlov y Sikan, 2003; Vladimirov, 1990) se propone contar con datos hidrométricos de un periodo promedio de 15 a 25 años en cada estación, si se trata de los cálculos de las características de caudal promedio anual o de extremos anuales. Aquí se considera importante comentar que entre mayor sea el periodo de observación es mejor para la calidad de pronósticos elaborados, porque en las bases de justificación de los últimos está establecida la designación de un *error permitido de pronóstico*, que tiene sentido de

acercamiento al conocimiento sobre la variación no inducida de un elemento natural y se expresa en la estadística con la característica de la *desviación cuadrática promedia del cambio de valores pronosticados en el tiempo de anticipación* (δ_Δ ; ecuación 3).

$$\delta_\Delta = \sqrt{\frac{\sum(\Delta - \Delta_n)^2}{n-1}} \quad (3)$$

donde:

Δ - la diferencia entre los valores de elemento natural pronosticado y real,
 Δ_n - norma de estas diferencias,
 Σ - suma,
 n - cantidad de los puntos calculados.

De la ecuación 3 se observa claramente que entre mayor sea el número de los puntos incluidos en el cálculo, menor será el valor de la desviación cuadrática promedia, que, por su parte, en relación con el *error estándar de pronóstico* S (ecuación 4), da la certeza de conocimiento obtenido sobre el elemento calculado en comparación con su variación natural (ecuaciones 5, 6, 7).

donde:

E_r - elemento natural real,
 E_{pr} - elemento natural pronosticado.

$$\text{con } n \leq 15 \quad \frac{S}{\delta_\Delta} \leq 0.70 \quad (5)$$

$$\text{con } 15 \leq n \leq 25 \quad \frac{S}{\delta_\Delta} \leq 0.75 \quad (6)$$

$$\text{con } n \geq 25 \quad \frac{S}{\delta_\Delta} \leq 0.80 \quad (7)$$

Los pronósticos ideales tendrán el valor de $S=0$, que significará el conocimiento perfecto sobre el elemento estudiado.

Hablando de la cantidad óptima de los puntos incluidos en el cálculo de caudal, se sugiere que sea de al menos dos estaciones hidrométricas aguas arriba y dos aguas abajo en el cauce del río principal y una o dos estaciones en cada uno de sus afluentes, dependiendo de la escala de estudio y necesidades específicas de cálculo (Figura 6). Por todo lo anterior, se recalca la importancia de contar con una red hidrométrica amplia y con periodos largos de observación.

Trazo de mapas de isolíneas de escorrentía

- (4) En este trabajo, después de analizar la red hidrométrica del estado de Guerrero y la po-

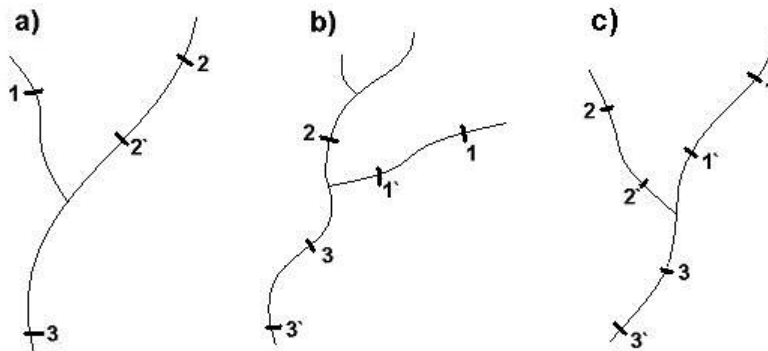


Figura 6. Esquemas teóricos de la ubicación de estaciones hidrométricas para propósitos de pronósticos hidrológicos.

sibilidad de obtener los datos estadísticos sobre las características hidrológicas de las estaciones registradas, se decidió elaborar tres mapas de isolíneas de escorrentía media anual para tres periodos diferentes de observación hidrométrica:

- Periodo de 1966 a 1981 (total de 15 años, que también representa el número mínimo estadísticamente significativo para los cálculos hidrológicos) que se justifica por cubrir la mayor cantidad de las estaciones hidrométricas del estado. Además, en 1981 fue editada la primer Carta de Aguas Superficiales a escala nacional en México, así que el mapa elaborado serviría para la comparación de los datos de escorrentía, calculados por el BANDAS, y del mapa oficial (INEGI, 1981, 1983, 1988).
- Periodo de observación de 1964 a 1994 (30 años), que fue escogido porque en 1994 dejó de funcionar una gran cantidad de estaciones hidrométricas en Guerrero (después del 1985).
- Periodo de 1969 a 1999 (30 años), por considerar importante incluir un periodo de observación que termine en el año del último registro del BANDAS.

Para la elaboración de los mapas de escorrentía media anual para 1981 se usaron los datos estadísticos de 56 estaciones hidrométricas, para 1994 de 34 y para 1999 de 20 estaciones, que representa la menor cantidad de estaciones de todo el periodo de observación hidrométrica en el estado de Guerrero (de 1950 a 1999).

Técnicamente, para los tres periodos de observación el flujo superficial fue recalculado con la fórmula (1) a caudal Q (m^3s^{-1}), donde los volúmenes del agua W (m^3) se obtuvieron del BANDAS, y se consideró que el tiempo $t=1$ año (en segundos). La interpolación entre los va-

lores de caudal de los puntos de observación hidrométrica se hizo en forma recta con el programa "Surfer_8" en ambiente Windows 2000 de PC, que también facilitó el trazo de las isolíneas de escorrentía en forma automática. Aquí es necesario comentar que no fue utilizado el método de interpolación entre los centros de gravedad de las cuencas hidrográficas por dos razones: primero, porque los valores de caudal usados fueron calculados en las unidades de m^3s^{-1} , que físicamente significan el valor de caudal en el punto preciso de observación y, segundo, por trabajar a una escala pequeña del mapa (aproximadamente 1:500 000). Los resultados del trazo de los mapas para tres periodos se presentan en la Figura 7a, b y c, respectivamente. Además, fueron comparados los mapas del INEGI (1981) y de isolíneas de escorrentía, elaborados para este mismo año. Para facilitar este proceso, el escurrimiento medio anual fue recalculado a partir de la ecuación 1 en valores de lámina Y (mm), utilizando los datos estadísticos sobre las áreas drenadas F (km^2) y del caudal Q (m^3s^{-1}) de estaciones hidrométricas, obtenidos del BANDAS, con el fin de tener valores de escurrimiento a la misma escala. Hay que destacar que durante estos cálculos se encontró un error aproximado de un 4 - 7% entre los valores de caudal Q , obtenidos por la ecuación 1, utilizando volúmenes del agua W (m^3) del BANDAS y volúmenes del agua, recalculados a partir de los datos sobre los caudales de la misma base de datos. Esto en realidad muestra un problema de la confiabilidad en esta base de datos oficial de escurrimiento superficial, ya que se admite tener un error máximo de un 5%, como el error permitido en las mediciones de caudal.

Finalmente, al comparar los tres mapas elaborados, se observó lo siguiente:

- Insuficiencia en la cantidad de estaciones hidrométricas en los años 1994 y 1999 en la parte este del estado de Guerrero, lo que lleva a una interpola-

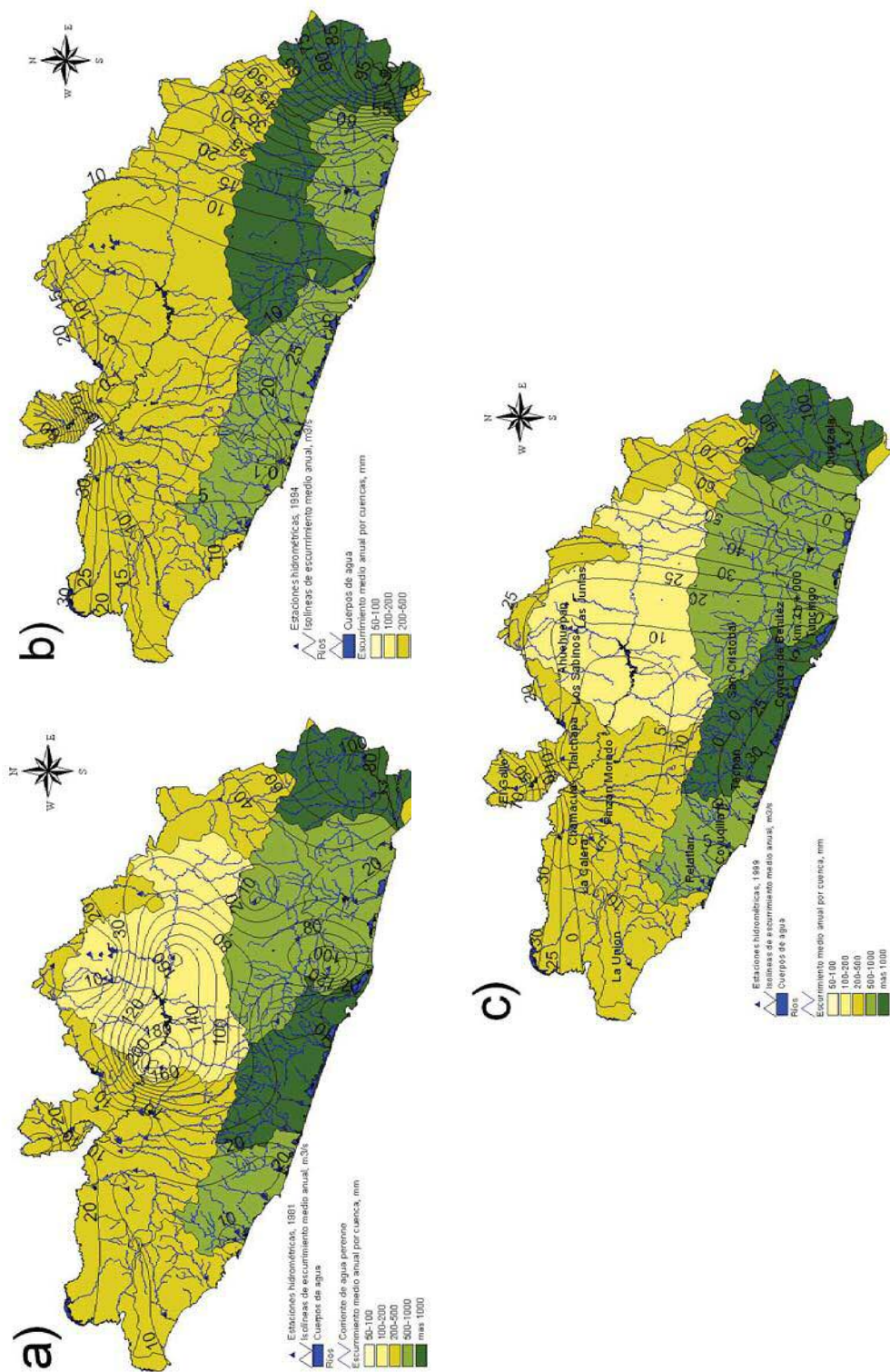


Figura 7. a) Ecurrimiento medio anual en 1981 (en mm); b) escurrimiento medio anual en 1994 (en mm); c) escurrimiento medio anual en 1999 (en mm).

ción incorrecta de los datos de caudal obtenidos del BANDAS.

- Diferencia absoluta entre el trazo de isolíneas de escurrimiento de los años 1994, 1999 y 1981; con mayor detalle en el de 1981, cuando había mucho más estaciones hidrométricas y donde, se supone, el mapa elaborado tendría mayor detalle.
- Diferencia entre valores de escurrimiento medio anual (en láminas) por cuenca hidrográfica del mapa oficial del INEGI de 1981 y del mapa elaborado, usando los datos del BANDAS (Figuras 5 y 7).

CONCLUSIONES

De acuerdo con lo observado en el estudio, la red hidrográfica del estado de Guerrero está bastante desarrollada, con la presencia de muchos ríos que llevan caudales muy importantes, como el Balsas, San Miguel, Ixtapa, Atoyac, etc. Debido a las características geomorfológicas, el estado está dividido por la Sierra Madre del Sur en dos vertientes de agua, del Pacífico y del río Balsas. Las 15 cuencas hidrográficas del estado forman parte de dos Regiones Administrativas y por valores de escurrimiento superficial (de 200 a 1 000 mm promedio anual) se puede decir que el recurso hídrico aquí es abundante. Cabe comentar que el recurso del agua en el estado de Guerrero puede satisfacer no sólo las diferentes necesidades de sus propios pobladores, como abastecimiento, riego, transporte, protección civil, sino también, contribuir al desarrollo de estados vecinos a través de la exportación de productos agrícolas y energía hidroeléctrica.

El problema más importante relacionado con la evaluación de las dinámicas y procesos hídricos, que presenta el estado, es la falta de una red amplia y bien distribuida de monitoreo hidrométrico continuo a escala local y regional que permita obtener datos estadísticos, necesarios para diferentes cálculos

los hidrológicos. Esto se hace más evidente viendo la dinámica de los cambios en las cantidades de estaciones en el estado por el tiempo y en el caso de algunas estaciones, que deben cubrir actualmente varios miles de kilómetros cuadrados en su "servicio", como dos estaciones en la parte oriental de la RH 18 y en la RH 20.

Por la comparación de los mapas de isolíneas de escurrimiento elaborados para tres periodos de observación, también fue justificada la ineficiencia de la red de observación hidrométrica actual, que no sirve para los análisis estadísticos, ni para los pronósticos hidrológicos a escala local, a corto y largo plazo. Los pronósticos de este tipo son muy necesarios en esta región por la afectación frecuente de grandes y rápidas inundaciones de los ríos, provocadas por las precipitaciones extremas en la temporada de lluvia.

Por todo lo anterior, se puede concluir que la red hidrométrica actual del estado de Guerrero resulta insuficiente para cubrir todas las necesidades de una buena planeación a futuro del recurso hídrico, como es la utilización del gran potencial hidroeléctrico de la zona y conservación de la calidad del agua.

DISCUSIÓN

Actualmente se habla mucho en México, como en todo el mundo, de distintos problemas relacionados con el recurso del agua, desde su falta en la cantidad y calidad requerida para el abastecimiento de población, hasta las discusiones sobre su propiedad y costo. Pero, hay que anotar que cualquier tipo de manejo o planeación de un recurso natural, en particular del agua, debe empezar desde un análisis de las características físicas que lo representan (como escurrimiento). Los cálculos de estas características se basan en la utilización de los datos observados de las estaciones hidrométricas (de caudal, velocidad de la corriente, etc.) y su interpretación estadística. De la eficiencia de la red hidrométrica, que

incluye la cantidad de estaciones, su distribución por el territorio y el periodo de observación, depende el error de los cálculos para balances y pronósticos hidrológicos que, finalmente, puede llevar a una estrategia equivocada en la gestión del recurso hídrico del estado. Es por eso, que se considera importante justificar con los números precisos (y no sólo con palabras) la insuficiencia (o lo contrario) de una red de observación hidrométrica a diferente escala.

También, se entiende que existen otras técnicas, distintas a las realizadas, del análisis de la eficiencia de una red de monitoreo y propuestas para su mejoramiento; como por ejemplo, por la correlación entre los datos de escurrimiento y precipitación, donde se propone un esquema óptimo de la distribución de estaciones climatológicas e hidrométricas por el territorio (Perevochtchikova, 1996).

REFERENCIAS

- Apollov, B. A. et. al. (1974), *Curso de los pronósticos hidrológicos*, Gidrometeoizdat, Leningrado (en ruso).
- BANDAS (1999), Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales, Regiones Hidrológicas 13 a 18 y 19 a 25, volúmenes 1,3,4, México, IMTA, CNA, archivo digital.
- Bernabé, P. C. (2004), *Estado de Guerrero, resumen histórico*, CNA, México.
- CNA, SEMARNAP (1995), *Presas de México 1982-1994*, volumen VII, México.
- CNA (2004), *Estadísticas del agua en México*, Comisión Nacional del Agua, México.
- CFE (2003), *Revisión y propuesta de ampliación de la red hidrometeorológica actual del estado de Guerrero*, México, Comisión Federal de Electricidad, México.
- Figuroa de Cotin, E. (1980), *Atlas geográfico e histórico del estado de Guerrero*, FONAPAS Guerrero, Gobierno del Estado, México.
- Georgievsky, Y. M. (1982), *Pronósticos hidrológicos de tiempos cortos*, Manual, Gidrometeoizdat, Leningrado (en ruso).
- INE (2004), "Definición de indicadores de impacto al recurso hídrico en las zonas receptoras de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos 2003/2004", Informe final del Instituto de Geografía, UNAM, México.
- INEGI, SPP (1981), *Cartas Hidrológicas de Aguas Superficiales*, Hojas México y Guadalajara, escala 1:1 000 000, México.
- INEGI, SPP (1983, 1988), *Cartas Hidrológicas de Aguas Superficiales*, Hojas Acapulco y Cuernavaca, escala 1:250 000, México.
- INEGI (2003), *Atlas del medio físico*, México [CD].
- Orlov, V. G. y A. V. Sikan (2003), *Bases de hidrología ingenieril*, Manual, Ed. RGGMU, San Petersburgo, Federación de Rusia (en ruso).
- Oswald Spring, U. (2003), *El recurso agua en el Alto Balsas*, UNAM, Cuernavaca, Morelos, México.
- Perevochtchikova, M. (1996), *Utilización del modelo "precipitación-escurrimiento" para el aseguramiento de la gestión del agua*, tesis de Ingeniero-Hidrólogo, RGGMU, San Petersburgo (en ruso).
- SARH (1980), *Estudio geológico-estructural y de prospección geohidrológica en la zona de Chilpancingo, Guerrero*, Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica, México.
- SRH (1968), "Regiones Hidrológicas No 19, 20, 21, 22. Zona de Costas de Guerrero y Oaxaca", *Boletines Hidrológicos*, núm. 31, tomos I-II, IV-V, Jefatura de Irrigación y Control de Ríos, Secretaría de Recursos Hidráulicos, México.
- SRH (1971 y 1977), "Región Hidrológica No. 18 (Parcial), Región Medio y Bajo Balsas", *Boletines Hidrológicos*, núm. 49, tomos I-VIII, Secretaría de Recursos Hidráulicos, México.
- SRH (1970), "Región Hidrológica No. 18 (Parcial), Cuenca del Río Amacuzac", *Boletines Hidrológicos*, núm. 47, tomos I-II, Secretaría de Recursos Hidráulicos, México.

SRH (1970), "Región Hidrológica No. 18 (Parcial), Cuenca de los ríos Atoyac y Mixteco", *Boletines Hidrológicos*, núm. 48, tomos I-III, Secretaría de Recursos Hidráulicos, México.

SRH (1976), *Atlas del Agua de la República Mexicana*, Secretaría de Recursos Hidráulicos, México.

Shelutko, V. A. (1983), *Métodos de cálculos en hidrología*, Manual, Ed. LPI, Leningrado (en ruso).

The Nippon Foundation (2003), *El recurso hídrico en México, Análisis de la situación actual y perspectivas futuras*, Centro del Tercer Mundo para el Manejo del Agua, México.

Vladimirov, A. M. (1990), *Cálculos hidrológicos*, Gidrometeoizdat, Leningrado (en ruso).