

Capítulo 11

GEOMÁTICA APLICADA A LA RELACIÓN ENTRE CALIDAD DEL AGUA Y SALUD HUMANA EN LAS LOCALIDADES DEL ESTADO DE MÉXICO

Resumen

El crecimiento demográfico, industrial y agrícola de las últimas décadas ha producido contaminación por microorganismos en las aguas (bacterias, parásitos, hongos) y virus; compuestos orgánicos (hidrocarburos aromáticos policíclicos, compuestos fenólicos, hidrocarburos clorados y pesticidas organoclorados); compuestos inorgánicos (metales) y productos químicos agrícolas como plaguicidas (insecticidas, herbicidas, funguicidas) y fertilizantes. Esta situación puede ocasionar en la población enfermedades de tipo gastrointestinal, parasitarias, tóxicas, y hasta cancerígenas. Igualmente, la inadecuada distribución de la dotación de este vital líquido se convierte en un factor que puede favorecer la presencia y propagación de enfermedades en una región, particularmente en las pequeñas comunidades rurales.

Frente a este vínculo estrecho entre el agua y la salud, el análisis de las relaciones entre variables relativas al agua y estadísticas epidemiológicas se ve facilitado y aumentado por el uso de la hidrogeomática que utiliza los sistemas de información geográfica (SIG) para almacenar datos de cantidad y calidad del agua a fin de analizar y modelar los procesos hidrológicos que ocurren en el espacio geográfico. Efectivamente, los recientes avances en hidrogeomática y epidemiología se convierten en herramientas muy útiles para la toma de decisión en las instituciones de salud, y los resultados de estos estudios representan un apoyo adecuado a la solución de la problemática para los interventores en las áreas involucradas.

Ciertamente, los resultados preliminares de aplicación de la geomática a la relación entre calidad del agua y salud humana en las localidades del Estado de México permiten un análisis visual adecuado para el establecimiento de correlaciones espaciales entre varios parámetros y a la modelación de la transmisión de las enfermedades.

Palabras Clave: geomática, sistema de información geográfica, calidad del agua, epidemiología, Estado de México

Introducción

En septiembre de 2002, se publicó una noticia alarmante en un periódico de la ciudad de Toluca, Méx., cuyo título fue: "Contaminación y muerte en la presa Alzate". El reportaje se enfocaba sobre casos de animales; sin embargo, los pobladores de las 25 comunidades aledañas padecen de infecciones de la piel y la presencia de moscos es comprometedora para la salud humana (El Sol de Toluca, 2002). Este tipo de información se vuelve desgraciadamente más frecuente, sin mencionar los casos que se quedan escondidos, y pone de nuevo en relieve el vínculo ya conocido entre la calidad del agua de una zona y la salud de la población local.

Las enfermedades vinculadas al agua ocurren directamente por ingestión de agua contaminada o más sutilmente por vectores dependientes de los recursos hídricos. Las muchas formas indirectas de transmisión de enfermedades dificultan medir exactamente en cifras el tamaño del problema, ya que no todos los casos son notificados a los organismos de salud. Pero aún imprecisos, cabe mencionar los siguientes datos preocupantes relativos a los servicios en agua: 1 200 millones de personas no tienen acceso a una fuente de agua potable, 2 900 millones no tienen instalación sanitaria conveniente y 4 000 millones no disponen de alcantarillado. Así mismo, se pueden mencionar cifras que reflejan el efecto sobre la salud: 3.4 millones de personas mueren anualmente por enfermedades vinculadas al agua, de las cuales 2.2 millones son por enfermedades diarreicas (OMS, 2002).

En la actualidad, México tampoco escapa a serios problemas en cuanto a disponibilidad de agua potable que repercuten en la salud de las personas, sea por las fuentes de abastecimiento o por las infraestructuras de redes de almacenamiento, potabilización y distribución. Sólo para el año 2000, se presentaron 18 602 muertes por enfermedades infecciosas y parasitarias en el país (CENIDS-INSP-SSA, 2000). Dentro de las diez principales causas de morbilidad en 2001, figuran las infecciones intestinales (no especificadas), la amibiasis intestinal, las helmintiasis (no especificadas) y la ascariasis.

Son sobre todo las poblaciones con mayor marginación socioeconómica que presenten carencias en acceso a fuentes de abastecimiento adecuadas, así como a sistemas de saneamiento apropiados, y por consiguiente que estén más propensas a la presencia de enfermedades de origen hídrico. Es el caso en general de las localidades rurales que no tienen disponibles tantos servicios como las poblaciones urbanas.

El aspecto geográfico, tanto en disponibilidad y contaminación del agua, como para cuestiones epidemiológicas, no se puede negar: por una parte, existe una variabilidad espacial en los datos de ambos temas y, por otra, la modelación del flujo del agua y de la transmisión de enfermedades requiere un espacio geográfico. Para facilitar el manejo de este tipo de datos georeferenciados, se desarrolló desde los años 1960 una disciplina nueva: la geomática, que pretende unir los conocimientos en ciencias de la tierra (geo) con los avances en computación (informática). Hasta ahora, dentro de las diversas aplicaciones, los recursos naturales como el agua se vuelven más comunes. Existen también Sistemas de Información Geográfica (SIG) enfocados a la salud.

El trabajo expuesto a continuación forma parte de una nueva línea de investigación a largo plazo, cuyo objetivo general es la utilización de la geomática para relacionar parámetros de cantidad y calidad del agua con datos epidemiológicos de salud humana. Las secciones siguientes exponen el estado actual del desarrollo del marco teórico y metodológico y algunos resultados preliminares de aplicación a las localidades del Estado de México.

Marco teórico

Dado que la problemática considerada necesita tomar en cuenta la calidad del agua, la salud humana y la geomática, hay que especificar para cada una de estas tres esferas de estudio, los parámetros o métodos disponibles y adecuados que se podrían juntar.

Calidad del agua. Dentro de los parámetros bacteriológicos realizados a muestras de agua, no puede faltar la determinación de coliformes totales y fecales. Otra de las determinaciones en los análisis microbiológicos es la cuantificación de huevos de helmintos por su relación tan grande con la presencia de enfermedades gastrointestinales. En cuanto a los parámetros fisicoquímicos que están en estrecha relación con la salud, se tienen que considerar principalmente los siguientes: plomo, mercurio, cadmio, arsénico, cromo, cobre, fósforo total, nitrógeno total, DBO₅.

Epidemiología. Como las enfermedades vinculadas al agua no tienen una letalidad muy alta, más que los datos de mortalidad aunque no despreciables, se debe considerar en primer lugar la información sobre morbilidad. En particular, dentro de las medidas epidemiológicas principales de la frecuencia de una enfermedad, la más común es la tasa de incidencia acumulada (Ecuación 1) que corresponde a la probabilidad o el riesgo de contraer la enfermedad.

$$\text{Incidencia acumulada} = \frac{\text{número de personas que contraen la enfermedad en un periodo determinado}}{\text{número de personas libres de la enfermedad en la población expuesta al riesgo en el inicio del estudio}} \times 10n \quad (1)$$

Los diseños de estudios epidemiológicos son de dos categorías principales: de observación o experimentales (Beaglehole *et al.*, 1994).

Los conceptos de epidemiología relevantes para aplicación con geomática, conciernen a la cadena de infección (ruta de exposición) y al establecimiento de causalidad entre exposición y enfermedad con la identificación de los factores ambientales modificables y la evaluación de dosis.

Geomática. La geomática permite, a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG), la integración, gestión, visualización, análisis, modelación y simulación de datos con referencia geográfica.

Las estructuras de base disponibles dentro de un SIG son por una parte los datos cartográficos que pueden tener una representación vectorial (como los planos), es decir, puntos (una pareja de coordenadas X y Y), líneas (una sucesión de puntos) o polígonos (un conjunto cerrado de líneas), así como una representación matricial (como las fotografías), constituida de celdas (pequeños cuadros). Por otra parte, existen tablas de atributos, conformadas por renglones, correspondiendo a un lugar (estación hidrométrica, unidad de salud) y columnas que son las variables medidas en cada lugar (caudal, incidencia).

La característica específica de este conjunto de información, llamado **geobase** de datos, es el vínculo dinámico entre las capas cartográficas y los atributos. Así que la actualización de los datos se refleja inmediatamente en los mapas.

Para conformar la geobase de datos de un SIG, se necesita establecer las listas de información requerida y escoger la forma de subdividirla en capas que tendrán un solo tipo de representación. Esto depende a menudo de la fuente que proporciona los datos. Por ejemplo, las imágenes de satélite son siempre de tipo matricial.

En cuanto a las funciones disponibles dentro de los SIG, con aplicación posible a la hidrología y epidemiología, se podrá considerar:

- **Visualización** de los atributos de la base de datos por medio de mapas, en donde la intensidad de la variable cartografiada se representa con escala de colores o símbolos proporcionales; hay necesidad de establecer precisamente el tipo de representación cartográfica más apropiado para el análisis visual de los datos fuentes y de los resultados.
- **Distancias** entre sitios, y también cálculo de longitudes y áreas.
- **Vecindad**: a) Zona de influencia o de protección alrededor de lugares específicos, b) Padrón de difusión alrededor de un sitio particular; **Interpolación**: Procesos matemáticos para la estimación por ejemplo de la altitud de una serie de localizaciones (de altitud desconocida), en función de las altitudes (conocidas) de puntos de "control" próximos. Lo anterior es importante para conocer en cualquier punto el valor de un parámetro distribuido de manera continua en el espacio, pero medido en sólo algunos puntos; el método preciso depende del parámetro mismo
- **Estadísticas**, en particular espaciales: a fin de caracterizar la distribución o variabilidad espacial de un fenómeno (contaminante, incidencia de una enfermedad); por ejemplo, histogramas, o el cálculo de la autocorrelación espacial, que contempla la propensión de que los valores de los datos sean similares a los valores de los datos limítrofes.
- **Relación** entre varios mapas: estudios de correlación y regresión (múltiple).
- **Álgebra cartográfica**: permite calcular índices.
- **Evaluación multicriterios**: herramienta típicamente para Soporte a la decisión, permite identificar zonas apropiadas o vulnerables para un objetivo dado y en función de varios factores. En la Toma de Decisiones, una evaluación multicriterios es el proceso mediante el cual se evalúan varios criterios para la obtención de un

objetivo específico. De esta forma, una evaluación puede realizarse, por ejemplo, mediante combinación lineal ponderada o análisis de concordancia-discordancia.

- **Modelación** de parámetros con distribución espacial continua: en particular el flujo del agua y de los contaminantes, a partir de la altitud.
- **Análisis temporales** de cambios o de series de tiempo: Simulación de la progresión de una epidemia con los procesos de Markov (a partir de las probabilidades de pasar de un estado a otro).

El tipo de preguntas de base que se pueden contestar son:

- ¿Qué?:
 - ¿Qué fuente de abastecimiento o descarga de aguas residuales o tipo de plaguicidas hay en tal zona?
 - ¿Qué enfermedad hay en tal lugar?
- ¿Dónde?:
 - ¿Dónde incumple con los límites permisibles la calidad de agua, dónde están las localidades que no cuentan con una planta de tratamiento, dónde se presentan características de contaminación por plaguicidas ?
 - dónde se da tal enfermedad ?
- Repartición espacial :
 - Ubicación de las zonas con más o menos contaminación o uso de plaguicidas.
 - Ubicación de las zonas con más o menos incidencia de enfermedades dadas.
- Tendencia temporal: de esta repartición espacial.
- Relaciones entre variables: relación entre parámetros hidrológicos/epidemiológicos, así como otros factores.

Marco metodológico

El objetivo principal es describir y analizar la relación entre los datos de calidad del agua de las fuentes de abastecimiento, en particular proviniendo de los sistemas de potabilización, y los datos de salud de las comunidades rurales.

La primera etapa consiste en la recopilación de los datos disponibles tanto de análisis de agua como de morbilidad, y es esencial conseguir una forma de georeferenciarlos, precisando lo más posible las coordenadas. Si tanta precisión no se puede adquirir, la ubicación dentro de una entidad geográfica para la cual se tiene la cartografía puede ser suficiente para un estudio a escala general.

El diseño e implementación de una geobase de datos para integrar la información obtenida es una etapa fundamental para poder llevar a cabo los análisis subsecuentes.

Estos análisis se llevan a cabo primero con base en la visualización cartográfica de los datos: esta parte primordial necesita escoger representaciones adecuadas para cada tipo de parámetros, así como una sobre posición apropiada de los temas.

El atlas de la situación agua-salud así constituido, permite emitir hipótesis en cuanto a factores de causalidad y a consecuencia evaluar correlaciones y establecer ecuaciones de regresión.

Se suele también utilizar las funciones de distancia disponibles en los SIG para el establecimiento de zonas de riesgos dado que en general la exposición decrece con el alejamiento de la fuente de contaminación.

Finalmente, si se logra modelar la transmisión de enfermedad a partir de un origen hídrico, se pueden efectuar simulaciones aplicando el modelo a parámetros de entrada modificados según un escenario de remedio dado.

Resultados preliminares

De las 4841 localidades del Estado de México, 92% se pueden considerar como rurales tomando como criterio un número de habitantes menos de 2 500, pero representan 14% de la población total, dado que su tamaño promedio es de 403 personas (Tabla 1).

Tabla 1. Localidades del Estado de México (INEGI, 2000).

	Total	Urbanas (≥ 2500 hab.)	Rurales (< 2500 hab.)
Número	4841	399	4442 (92%)
Población total.	13 096 686	11 304 410	1 792 276 (14%)
Población media	2705	28332	403

Para el Estado de México, había en el año 2000, 6.23% ocupantes en viviendas sin agua entubada y 8.14% ocupantes en viviendas sin drenaje ni servicio sanitario exclusivo (CONAPO, 2001). Más precisamente, en febrero de 2000, la población sin servicio de agua potable llegaba a 7.2% y sin servicio de alcantarillado era de 15.1% (CNA, 2000). Pero estas cifras esconden disparidades al nivel municipal y aún más a la escala de las localidades.

En cuanto a la morbilidad, dentro de las 20 principales causas de enfermedad para el Estado de México, cinco tienen vínculo con el agua (Tabla II).

Tabla 2. Principales causas de enfermedad para el Estado de México (SSA, 2001).

	Padecimiento	Tasa /100000
2	Infecciones intestinales por otros organismos y las mal definidas (bacterias)	3762.45
5	Amibiasis intestinal (protozoario)	749.05
6	Otras helmintiasis (helmintos)	724.33
19	Otras infecciones intestinales debidas a protozoarios	70.02
20	Ascariasis (helminto)	69.22

El trabajo está todavía en la etapa de recopilación y estructuración de los datos, los principales son los análisis del agua tanto de las fuentes de abastecimiento como de descargas industriales y urbanas, y los casos de enfermedades vinculadas con el agua de las unidades de salud.

Para este tipo de estudio, existe un problema de precisión de localización de los casos de enfermedad, así como de conocer la fuente de abastecimiento de éstos mismos. Los casos son reportados según las unidades médicas que todavía no están georeferenciadas precisamente, ni siquiera se tiene la localidad de ubicación. Además, tanto las bases de datos relativas al agua como la información epidemiológica, conlleva a cierta inexactitud e imprecisión. También la localización de la fuente potencial de contaminación, la ruta de transmisión y la ubicación de los casos necesita consideraciones de incertidumbre. Para resolver parcialmente este tipo de problema espacial, hay que estudiar a qué escala se puede trabajar según la confiabilidad de los datos conseguidos.

La *Figura 1* presenta un ejemplo de visualización de ambos tipos de datos para intentar ver si existe una relación entre la cobertura en agua y la incidencia de infecciones intestinales.

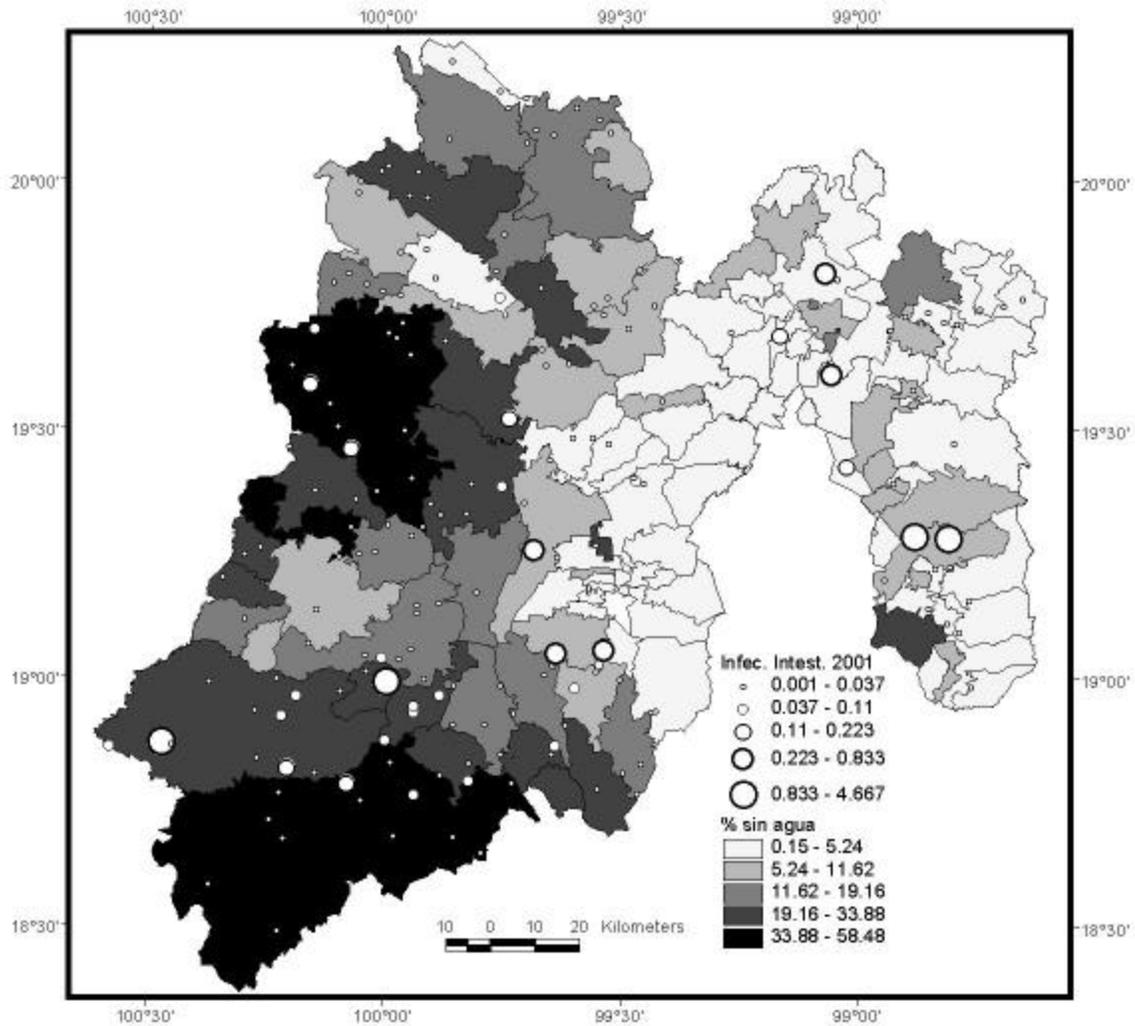


Figura 1. Cobertura en agua e infecciones intestinales en el Estado de México.

Conclusiones

La conformación de los datos de calidad del agua y de salud humana, así como su representación en los SIG se revela útil para el desarrollo de modelos que evalúen la dispersión de los contaminantes en el ambiente y evitar sus posibles consecuencias a la salud de las poblaciones cercanas a las zonas vulnerables.

Según el reparto espacial de los datos, se podrá establecer una relación entre calidad, salud y otros parámetros explicativos naturales como la altitud, el tipo de suelo o antrópicos. Además, hay que considerar ulteriormente la realización de un estudio espacio-temporal.

Finalmente, un SIG se revela una herramienta indispensable para la toma de decisión en cuanto a una problemática espacial como es el impacto de la contaminación del agua sobre la salud humana. En particular puede ser de gran utilidad para ubicar la zonas con mayores incidencias de enfermedades donde sería necesario añadir sistemas de potabilización de agua, y con simulaciones evaluar el impacto de varias tecnologías disponibles sobre la salud de pequeñas comunidades rurales.

***Agradecimientos.** Para la obtención de los datos requeridos en esta investigación, hay que subrayar el valioso apoyo del Instituto de Salud del Estado de México (ISEM) y de la Comisión Nacional del Agua (CNA). Además esta investigación fue iniciada gracias a la Cátedra Patrimonial de Nivel II del CONACYT (2000-2002).*

Bibliografía

- Beaglehole, R.; Bonita, R. y Kjellström, T. (1994). *Epidemiología básica*. Publicación Científica. No. 551. OPS. Washington, D.C. 186 p.
- El Sol de Toluca (2002). "Contaminación y muerte en la presa Alzate". *El Sol de Toluca*, Domingo 15 de septiembre de 2002, Año LV, No. 19295, p.1, 4/A
- CENIDS-INSP-SSA (2000). *Biblioteca Virtual en Salud (BVS) México*. <http://bvs.insp.mx/>.
- CNA - Comisión Nacional del Agua (2001). *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a diciembre de 2000*. CNA. México. <http://www.cna.gob.mx>.
- CONAPO – Consejo Nacional de Población (2001). *Índices de desarrollo humano, 2000*. <http://www.conapo.gob.mx/publicaciones/principal.html> (archivos .pdf).
- CONAPO – Consejo Nacional de Población (2001). *Índices de marginación, 2000*. <http://www.conapo.gob.mx/publicaciones/principal.html> (archivos .pdf).
- OMS – Organización Mundial de la Salud (2002a). *Water and Sanitation*. http://www.who.int/water_sanitation_health/index.html.
- INEGI (2000). Censo de población y vivienda 2000. Resultados definitivos. Tabulados básicos. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- SSA – Secretaría de Salud (2001). Anuario 2001. Sistema Único de Información para la Vigilancia Epidemiológica, Dirección General de Epidemiología, SSA. CD-ROM.