Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM
ISSN 0188-4611, núm. 86, 2015, pp. 38-52, dx.doi.org/10.14350/rig.41358

Un acercamiento histórico a las condiciones "originales" de funcionamiento del sistema hídrico subterráneo y su respuesta superficial en la microcuenca de la ciudad de Puebla

Recibido: 27 de agosto de 2013. Aceptado en versión final: 31 de enero de 2014.

Esther Galicia Hernández*

Resumen. En México, y en Puebla particularmente, ha sido muy común que cuando se han realizado planes-acciones en torno a la gestión del agua o intervenciones gubernamentales para el "ordenamiento territorial", se hayan hecho sin el conocimiento adecuado de los ecosistemas y espacios-entornos naturales afectados. Esto ha sido más palpable cuando se ha tratado de espacios asociados con el funcionamiento del sistema hídrico y particularmente con los flujos de agua subterránea.

Por ello es necesario avanzar hacia nuevas formas de gestión del agua y del territorio, para eso se propone como objetivo de este trabajo la construcción de un marco histórico-hídrico de referencia, que permita una mayor comprensión del funcionamiento y evolución del sistema hídrico (concebido como la interacción entre agua subterránea y superficial) y especialmente del reconocimiento de sus espacios-soporte en el territorio. Este marco histórico fue entendido y construido como una plataforma de información estructurada a partir de la teoría de Sistemas de Flujos de Agua Subterránea, con lo cual se logró una aproximación al conocimiento de las condiciones "originales" de funcionamiento del sistema hídrico subterráneo y sus manifestaciones ambientales superficiales en la microcuenca del río San Francisco, territorio en donde se estableció la Puebla Colonial. El objeto fue contar con la mayor cantidad de antecedentes históricos posibles por lo que el estudio abarcó, en general, de los siglos XVI a principios del XX.

Palabras clave: Sistema hídrico, sistemas de flujo, agua subterránea, zonas de descarga, territorio, soporte material-natural.

A historical approximation to the "original" conditions of functioning of the groundwater system and his superficial response in the microbasin of the city of Puebla

Abstract. In Mexico, specifically in Puebla, it has been very common that when action-plans about the management of the water or governmental interventions for the "territorial classification" are realized, they are done without the suitable knowledge of the ecosystems and natural affected spaces - environments. This has been more evident when it is about spaces associated with the functioning of the water system and particularly with the flows of groundwater.

Due to the previously established it is necessary to lead towards new forms of water and territory management; for this it is proposed as aim of this work the construction of an historical-water frame of reference that allows a major comprehension of the functionality and evolution of the water system (conceived as the interaction between underground and superficial water) and specially of the recognition of his spaces-supports in the territory. This historical frame was

* Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Calle 2 Oriente, No. 409, Edificio de la "Aduana Vieja", Centro Histórico, 72000 Puebla, Puebla. E-mail: ednadia1210@hotmail.com

understood and constructed as a platform of structured information from the system theory of Flows of Groundwater, whereby an approximation was made to the knowledge of the "original" conditions of functioning of the groundwater system and his environmental superficial manifestations in the microbasin of the San Francisco river, territory where Colonial Puebla was established. In order to possess the major quantity of historical precedents, the study included in general from the XVIth to the beginning of XXth century.

Key words: Water system, flow systems, underground water, unload zones, territory, support material - nature.

INTRODUCCIÓN

Anterior a la llegada de los españoles a la subcuenca Puebla Tlaxcala, de la cual forma parte la microcuenca del río San Francisco, ésta mantenía una condición natural que puede considerarse "original", dado que la interacción de los pueblos de aquel tiempo con la naturaleza dependía de formas de organización social colectivas (varios de ellos eran nómadas o semi-nómadas) y herramientas rudimentarias que no alteraron –no drásticamente al menos– dicha condición (Alcalá y Mendiola, 1992:34 y 35). En contraste, con la llegada de los españoles y la implantación de su economía novohispana sustentada en relaciones sociales y modos de producción que implicaban una explotación más intensiva de la fuerza de trabajo y recursos naturales, así como el uso de instrumentos de trabajo y, en general, de técnicas productivas más modernas, el panorama comenzó a ser otro. El mismo establecimiento de la ciudad colonial requirió de amplias extensiones de suelo para la edificación de viviendas, construcción de equipamiento urbano (escuelas, hospitales, iglesias, edificios públicos, etc.) e infraestructura (acueductos, calles, puentes, entre otros), producción de alimentos (actividades agropecuarias), además de grandes cantidades de materias primas y energéticos para las actividades productivas secundarias que hicieron posible el importante desarrollo de la naciente ciudad, dentro de las que destacaron la madera y el agua.

Avanzando en la línea de tiempo, en la microcuenca de Puebla las formas de desarrollo demográfico, económico, social, cultural, político y territorial (rural-urbano) que han predominado a lo largo de su historia y particularmente las que dominaron en la segunda mitad del siglo XX, producto del modelo de acumulación de capital por sustitución de importaciones, arrojaron resultados ambientales negativos que pueden calificarse de graves, de entre los más significativos destaca el deterioro y destrucción del medio natural y los ecosistemas asociados, particularmente de los espacios geográficos relacionados con el sistema hídrico (superficial y subterráneo).

A partir de la segunda mitad del siglo XX este sistema fue profundamente alterado por el rápido crecimiento industrial, demográfico y urbano. La franja norte de la ciudad de Puebla fue impactada por el acelerado crecimiento de la estructura urbana, producto del establecimiento de amplias zonas industriales (Fraccionamiento Industrial Resurrección, Parques industriales 5 de Mayo y Puebla 2000) y por la construcción de importantes obras de infraestructura vial, destacando la Autopista México-Puebla construida en la década de los sesenta. A través del tiempo han sido varias las modificaciones que ha sufrido el sistema hídrico general, sin embargo, el entubamiento del río San Francisco y la perforación masiva de pozos profundos en la misma década de los sesenta, constituyeron algunos de los más graves, no solo porque modificaron definitivamente su funcionamiento, sino porque alteraron de forma dramática los ecosistemas asociados a su existencia, entre ellos a la misma ciudad de Puebla (ecosistema "construido o edificado").

Debe reconocerse que en la actualidad el acceso al agua es ya y seguirá siendo en el futuro, un factor altamente limitante para el desarrollo social y la expansión de las actividades económicas-productivas en la capital del estado de Puebla, que es el polo de desarrollo más importante de la subcuenca, razón por la cual se han impactado-modificado rápidamente sus entornos-reservas naturales. Pero ¿qué y cuánto se ha modificado?, ¿cómo eran las condiciones naturales "originales" de esos entornos-espacios y que relación/papel tuvieron en el funcionamiento del sistema hídrico?, ¿cuáles fueron sus expresiones tangibles en la microcuenca de Puebla? En este contexto cobra

relevancia y se hace necesaria la construcción de un marco histórico-hídrico que se pretende contribuya al entendimiento del sistema y al rescate de una memoria hídrica, a partir de lo cual sea posible una adecuada-fundamentada toma de decisiones (que implicará un ejercicio de planeación rigurosa e incluyente) y por consiguiente la generación de acciones apropiadas (gestión integral) en torno al manejo del agua y el ordenamiento territorial en la microcuenca de la ciudad de Puebla.

Este trabajo se dividió en dos partes principales. En la primera se describió *grosso modo* el estado físico-natural de tres factores determinantes del funcionamiento del sistema hídrico de la microcuenca del río San Francisco: topografía, rasgos geológicos superficiales y clima (Tóth, 2000). En el segundo apartado se caracterizaron algunas de las manifestaciones ambientales en el territorio de los sistemas de flujo de agua subterránea (ubicación, caudal, composición físico-química de los manantiales de agua dulce y sulfurosa, y algunos de sus impactos en el suelo y vegetación) que convergían (convergen aunque muy disminuidos) en la microcuenca, así como algunos efectos generales sobre las formas de apropiación material-primaria.

EL SISTEMA HÍDRICO, SOPORTE MATERIAL-NATURAL DE LA PUEBLA COLONIAL: RASGOS GEOLÓGICOS SUPERFICIALES, TOPOGRÁFICOS Y CLIMÁTICOS

El agua, presente en el territorio-microcuenca como sistema hídrico, es un componente articulador del medio natural y constituye parte del "sistema de soportes materiales" (Pradilla, 1984:84-85) medulares que integraron/integran el espacio físico-geográfico en el que se estableció la ciudad de Puebla, formando de esa manera, parte de las condiciones materiales generales sobre las que se construyó una de las principales sociedades novohispanas, la poblana (Figura 1). Así la configuración de una importante red fluvial y la presencia de diferentes sistemas de flujo de agua subterránea, sus características y distribución espacial-territorial en la microcuenca, condicionaron las formas de apropiación material-primaria del agua y la organización de la estructura urbana de la Puebla colonial.

Se podría señalar que dicho condicionamiento se manifestó desde el origen de la ciudad si se consideran las causas principales que determinaron la elección del sitio en la que ésta se fundó. La primera fue su ubicación intermedia con respecto a las ciudades de Veracruz (puerto de acceso al territorio conquistado por la Corona Española) y México (principal centro económico y político de la Nueva España; Alcalá y Mendiola, 1992:29). La segunda razón, las condiciones naturales favorables para su desarrollo económico y social, esto es, su riqueza de flora y fauna; así como elementos hídricos, geológicos, edáficos, climáticos, como lo refieren Fernández de Echeverría (1962:46-47) y Alcalá y Mendiola (1992:36)

Rasgos de la hidrografía superficial

Desde su concepción, la ciudad de Puebla estuvo ligada a una importante presencia de agua, pues fue irrigada ricamente por diversos ríos y abundantes manantiales que generaron diversos ambientes acuáticos determinados por las condiciones geológicas, topográficas y climáticas locales (microcuenca) y subregionales (subcuenca). La microcuenca del río San Francisco, en la que se ubicó la naciente ciudad, forma parte de la subcuenca Puebla-Tlaxcala, que a su vez está inscrita en la cuenca denominada "Alto Atoyac" o "Atoyac-Zahuapan", nombre derivado de su corriente de agua superficial más importante: el río Atoyac, el cual ha sido alimentado desde tiempos inmemoriales por importantes afluentes como los ríos Zahuapan, San Francisco y Alseseca (Galicia, 2009).

Crónicas del periodo Colonial ofrecen descripciones detalladas de la red fluvial del sitio que proporcionan una buena perspectiva de las condiciones de funcionamiento del sistema hídrico superficial en aquellos tiempos:

> tres son los ríos que cortan su terreno como ya dije, de los cuales los dos más caudalosos la sirven de muralla, circunvalando casi todo el territorio en que está situada (Figura 2). El más rico de caudales es el que la rodea por la banda de poniente, llamado Atoyatetl, que quiere decir *río de piedras*

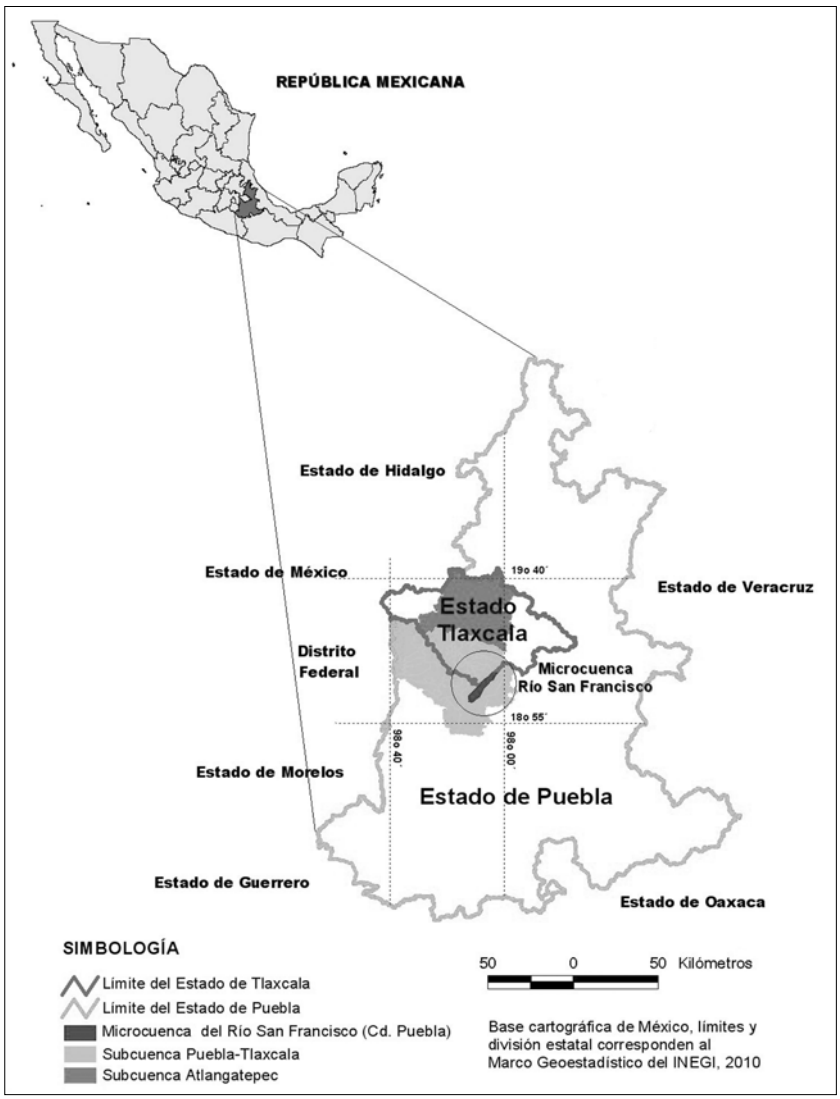

Figura 1. Ubicación de la microcuenca del río San Francisco en la ciudad de Puebla y su inserción en la subcuenca Puebla-Tlaxcala.

y corrompiendo la voz los españoles le llaman *Atoyaque*, que nace a las faldas de la Sierra Nevada que está al noreste [noroeste] de la Ciudad. Sus aguas, aunque delgadas y frescas de ordinario, están turbias cuando llega al territorio de esta Ciudad (Fernández de Echeverría, 1962:233).

El río Atoyac, como se le llama actualmente, se le consideraba un río muy caudaloso debido a la

> gran copia de aguas que lleva, pues por lo regular tiene una vara de hondo [aprox. 0.838 m] en diez [8.38 m], doce [10.056 m] y catorce [11.732 m] de ancho, y por consiguiente, donde más se estrecha su cauce aumenta su profundidad (*Ibid.*:234). Por la parte de oriente casi a la misma distancia la ciñe otro río menos caudaloso llamado Atlacececan [actualmente denominado Alseseca], que quiere decir agua dividida, porque se divide en dos brazos que vuelven luego a unirse (*Ibid.*:211). Corre por la banda de levante, es mucho menos caudaloso, pero sus aguas claras, frías y delgadas se estiman por unas de las mejores del reino para bebidas (*Ibid.*:241).[1]

[1] Las equivalencias en metros fueron calculadas a partir del valor tomado de Robelo (1908).

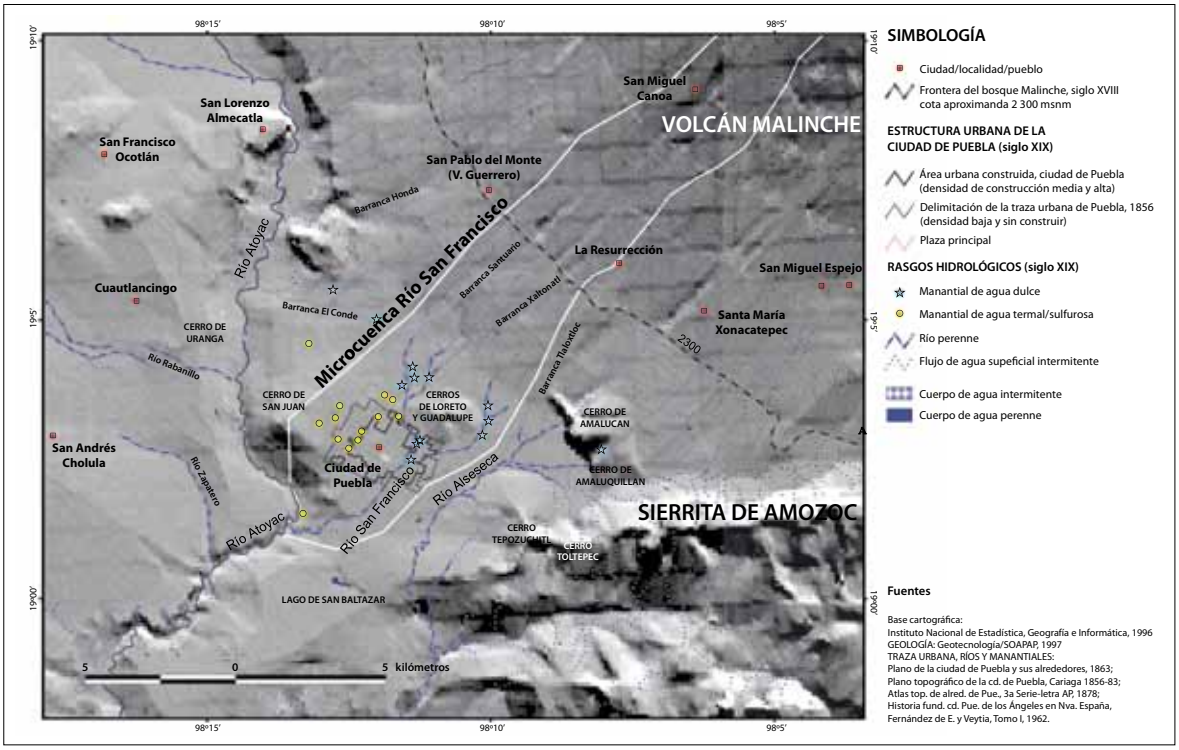

Figura 2. Rasgos topográficos y manifestaciones ambientales superficiales del sistema hídrico de la microcuenca del río San Francisco en la ciudad de Puebla. Frontera de bosque del volcán Malinche (siglo XVIII aproximadamente).

La estructura urbana de Puebla se extendió fundamentalmente sobre la planicie ubicada entre los ríos Atoyac y Alseseca y era atravesada por el río San Francisco, el que a su paso generó y articuló un peculiar paisaje acuático-urbano (Figura 2). Sin duda el río San Francisco fue el que tuvo mayor impacto en la vida de la Puebla colonial, su proximidad a la estructura urbana y la calidad/cantidad de sus aguas, influyeron directamente en su dinámica socioeconómica y en la organización espacial de la ciudad (configuración espacial-territorial), contribuyendo con ello a alcanzar un destacado desarrollo local, regional, nacional e internacional (Loreto, 2008:31).

Así, el sistema hídrico, especialmente el río San Francisco, constituyó uno de los soportes materiales vitales para dicho desarrollo,

> aunque la mayor parte del año es de tan cortos caudales, que no puede competir con alguno de los otros dos anteriores [El Atoyac y Alseseca], pero con todos ellos la sirve de tal modo que le es más útil y provechoso que aquéllos. Con sus aguas trabajan siete molinos y muchas casas de tenería o curtiduría y éstas dentro de las mismas traza y delineación de la Ciudad. Así como se acerca a ella, comienzan a engrosarle algunos arroyuelos que nacen en sus contornos y aun dentro de su planta. A beneficio de las presas que se han hecho en los parajes oportunos trabajan todas estas oficinas con unas mismas aguas, sirviendo primero a las más altas y después a las más bajas, según el suave declivio en que está situada la Ciudad, y se extiende a sus extramuros donde están situados los molinos, hasta salir a desaguar en el río Atoyaque por el que llaman de Amatlán, donde en el corto espacio de menos de medio cuarto de legua sirve sucesivamente a cuatro molinos; sin embargo, de llegar ya sus aguas diminutas por las sangrías que le hacen al paso para regar algunas huertas de tri-

> go y hortalizas, y finalmente con el corto residuo que corre por su espaciosa caja y los manantiales que brotan en su ribera lavan mucha ropa blanca y muchas pintadas los que las fabrican y se lavan y bruñen muchas pieles de las mismas tenerías o curtidurías (Fernández de Echeverría, 1962:245 y 246).

La Malinche como espacio-soporte del sistema hídrico

Ahora bien, la microcuenca del río San Francisco no ha existido ni funcionado en forma aislada, siempre ha operado como parte de un sistema hídrico más general (subcuenca Puebla-Tlaxcala) en donde el funcionamiento del sistema particular de la microcuenca (microsistema), ha estado estrechamente ligado al volcán Malinche (también conocido como Matlalcuéyatl), el cual ha constituido y sigue constituyendo su principal matriz. Ya Palacios afirmaba que "de no existir el Matlalcuéyatl, la comarca sería bastante seca" (Palacios, 1982:144) y ello se debe precisamente a que la Malinche a pesar de ser un "pico aislado", ha tenido una función esencial para el sistema hídrico y el clima de la subcuenca Puebla-Tlaxcala. Esta característica morfológica favoreció un alto nivel de condensación del agua en su cima formando "magníficas capas de nieve" y con ello permitió la retención y aportación de importantes cantidades de agua-humedad a los sistemas asociados (*Ibid.*:145). Tales condiciones son las que permitieron la existencia del río San Francisco el cual nacía en la ladera suroeste de la gran montaña y era alimentado por la escorrentía pluvial y deshielo de sus capas de nieve formando así grandes cárcavas (conocidas comúnmente como barrancas) que conducían el agua hasta el río.

Pero la envergadura de este magno relieve fue/va mucho más allá de la influencia que ejerció sobre la red hidrográfica de la microcuenca del río San Francisco. Este mismo autor, en sus trabajos sobre el territorio poblano realizados a finales del siglo XIX y principios del XX, analizó las afirmaciones que otros estudiosos hicieron en torno a la importancia de la Malinche en el funcionamiento de los flujos de agua subterránea, uno de ellos fue Francisco de Velasco el cual mencionó que:

> La Malintzin, cuya estructura superior es arenosa, y que está asentada en una capa arcillosa, impermeable, constituye un inmenso filtro; de manera que buena parte de la precipitación pluvial es absorbida por la primera capa, a través de la cual y siguiendo el perfil de la segunda, desciende hasta el valle de Puebla, en donde al encontrarse las protuberancias basálticas de los cerros de Amalucan, Guadalupe, etc., que la obligan a salir a la superficie, forma los manantiales que se encuentran en la base de la colina (*Ibid.*:157).

Esta explicación demuestra que ya había una idea aproximada del funcionamiento de los flujos de agua subterránea; aunque no con la información precisa en relación con el perfil litológico y con el comportamiento hidráulico de sus estratos.

Una aproximación al funcionamiento de los sistemas de flujo de agua subterránea

En esta perspectiva, entender el funcionamiento e importancia del sistema hídrico de la microcuenca y, particularmente del agua subterránea, es indispensable y para ello es necesario ubicarlo en un contexto-ambiente más amplio dentro del cual destaca el papel determinante que han tenido tres componentes del medio natural: topografía, geología y clima. De acuerdo con Tóth (2000:16) los parámetros de un régimen de agua subterránea están controlados esencialmente por estos tres componentes del ambiente hidrogeológico de los cuales se derivan en general tres escalas de funcionamiento de los sistemas de flujo: local, intermedio y regional. A cada uno de estos sistemas le corresponden tres zonas características: recarga, tránsito y descarga, las cuales tienen manifestaciones particulares y tangibles en el territorio-ambiente superficial (Tóth, 2000:12; Peñuela y Carrillo, 2013:22).

Estudios hidrogeológicos relativamente recientes permiten corroborar algunas de estas afirmaciones y profundizar en la comprensión del funcionamiento del sistema hídrico subterráneo de la microcuenca. Tomando como base algunos de ellos (Lesser/SAHOP, 1982 y Geotecnología/SOAPAP, 1997), se puede mencionar que en términos generales la ladera y piedemonte del suroeste de la Malinche conforman la zona alta de esta mi-

crocuenca, la cual está constituida por abanicos aluviales y piroclásticos conocidos como Formación Tarango (T) y están compuestos por extensos depósitos estratificados granulares, que también contienen suelos y gravas fluviales (Figura 3). Estas vulcanitas del Cuaternario son permeables y por su posición topográfica elevada por arriba del nivel de saturación, funcionan como zonas de recarga de las unidades acuíferas subyacentes (Geotecnología/SOAPAP, 1997:31 y 60), es decir, son las zonas en donde se produce la infiltración de agua pluvial y la que resulta del deshielo de la nieve acumulada en las partes más altas de la Malinche, infiltraciones que originaron los flujos de agua subterránea que descargaron en forma de manantiales en el piedemonte de este volcán (Figura 4).

Esos extensos abanicos piroclásticos y aluviales (T) impactaron de manera especial a la planicie en la que se ubica la ciudad de Puebla, pues una parte se prolongó hacia estas tierras bajas, más allá del piedemonte de la Malinche, cubriendo una gran área de dicha planicie dando así continuidad al estrato rocoso caracterizado por su buena conductividad hidráulica, por lo que se puede suponer, posibilitó la circulación de importantes flujos de agua subterránea de las partes altas y medias del volcán (en donde sucedió la recarga) hacia la planicie poblana (Figura 4). La presencia de pozos someros (norias) al oriente del río San Francisco en "el barrio de Analco que careció del beneficio de agua corriente hasta el año de 1757" (Fernández de Echeverría, 1962:269), es muy probable que hubiesen sido resultado de tal condición. Lo que refuerza este supuesto es el hecho de que el nivel freático somero predominó en varios sitios cercanos al río San Francisco y que su agua era identificada como "dulce, delgada y de buena calidad" (*Ibid.*:269), por lo cual, y a partir de tales indicadores, se puede afirmar que el agua

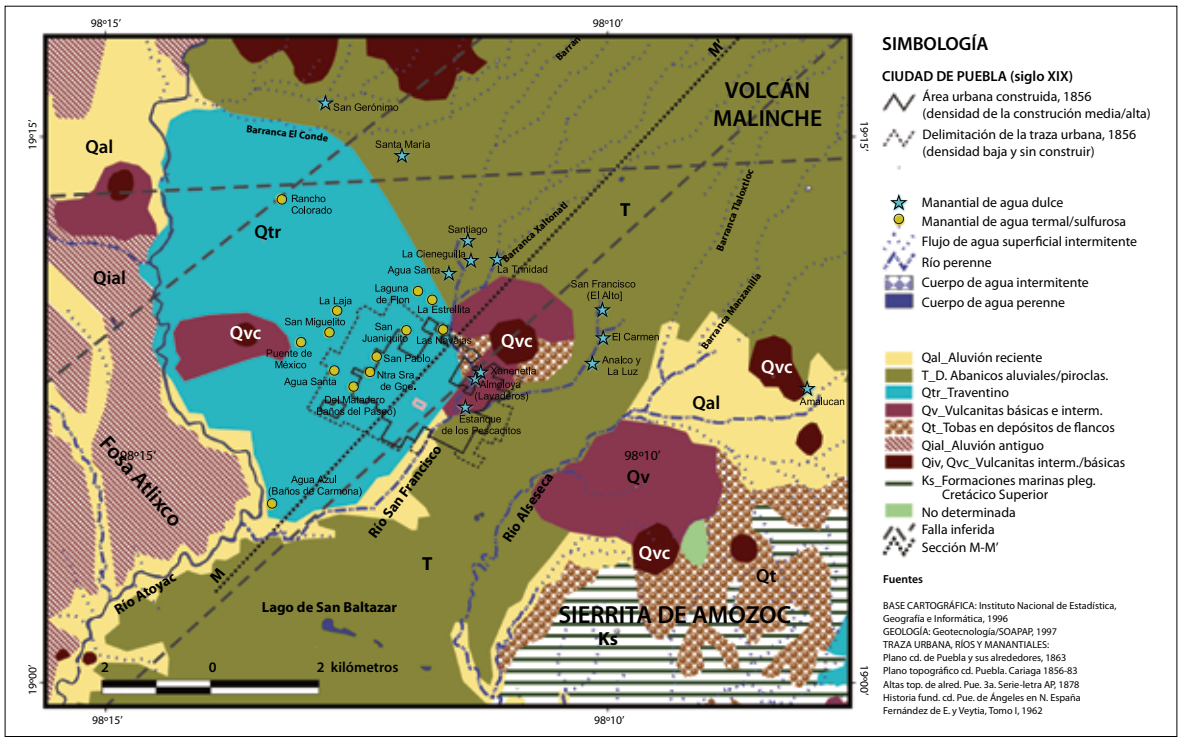

Figura 3. Rasgos geológicos y manifestaciones ambientales superficiales de los sistemas de flujo de agua subterránea en la microcuenca del río San Francisco. Ubicación y denominación de manantiales de agua dulce y termal/sulfurosa (siglos XVI-XIX).

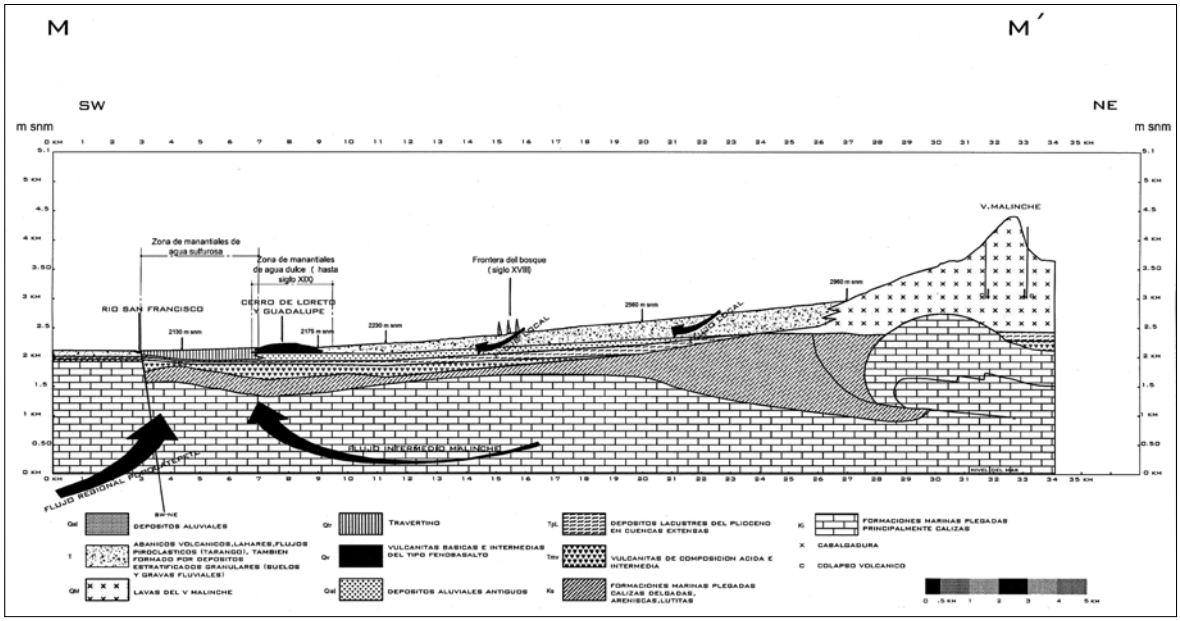

Figura 4. Sistemas de flujo de agua subterránea que convergen en la microcuenca del río San Francisco (modificado de Geotecnología…, 1997).

de esos pozos someros procedía de flujos locales o de reciente infiltración, de acuerdo con la teoría de Sistemas de Flujos (Tóth, 2000).

La presencia de algunos pequeños conos volcánicos formados durante el periodo Cuaternario rompen la continuidad de ese gran abanico (T), el cual se extiende hacia la planicie (Figura 2). Algunos de éstos son los popularmente conocidos como cerros de Loreto *(San Diego de los pobres)* y Guadalupe (*San Cristóbal, Bethlem, de las Canteras o de la Ermita*), cerro de Amalucan y, finalmente, el de San Juan (*Centepec o San Sebastián*), todos ellos ubicados en la parte más baja del piedemonte de la Malinche, excepto el cerro de San Juan que se localiza en la planicie cerca del río Atoyac. Constituidos fundamentalmente por vulcanitas básicas e intermedias (Qv, Qvc) del tipo fenobasalto y algunas tobas (Qt) en depósitos de flancos, estos pequeños relieves tienen la peculiaridad de funcionar, dada su posición geográfica, como barreras de contención que propiciaron el surgimiento de diversos manantiales en sus contornos y es posible que antes de que fueran deforestados y utilizados como canteras de rocas basálticas para extraer "piedra sillar de cantería" (Alcalá y Mendiola, 1992:38 y 48; Fernández de Echeverría, 1962:212- 214), también hubiesen contribuido-generado algunos manantiales de bajo caudal e intermitentes.

El ecosistema de bosque Malinche

Sobre la base de las condiciones naturales existentes, señaladas en los párrafos anteriores, se puede afirmar que lo que finalmente permitió y favoreció el funcionamiento del sistema hídrico de la microcuenca del río San Francisco fue la existencia de un robusto ecosistema de bosque en la Malinche. Las condiciones climáticas y la frontera de bosque que prevalecieron hasta finales del siglo XVIII (a pesar del impacto-deforestación sufrido por el establecimiento de la ciudad colonial) hicieron posible la infiltración y por tanto la existencia de caudalosos manantiales, como se detallará más adelante. Fernández de Echeverría (1962:215 y 216) describió algunas de estas condiciones y fronteras cuando señaló que:

> a dos leguas [8.38 Km] de la Ciudad, por el nordeste, comienzan las dilatadas faldas de la famosa

> sierra de Tlaxcala, pobladas de arboledas que como ya dije, es tradición constante que cuando se fundó la Ciudad se unían con las del cerro Bethlem […]. A siete leguas [29.33 Km] de la Ciudad, por el nordeste, está el monte del Pinal [parte alta de la Malinche], llamado así por estar poblado de pinos, y más inmediato a ella en distancia de poco de más de una legua [4.19 Km], por el este, están otros dos cerro llamados de Amaluca […]. Si estos cerros en lo antiguo, como es muy verosímil, abundaron de maderas, el día de hoy están despoblados (Figura 2).

Los manantiales originados en la Malinche y situados en los contornos de los cerros de Loreto y Guadalupe, preponderantemente en las riberas del río San Francisco y sus afluentes, aportaron un porcentaje importante del caudal base de dicho río pues sus aguas escurrían naturalmente hacia su cauce, nutriéndolo constantemente y en periodos de estiaje, posibilitaron que éste permaneciera fluyendo (Figura 4). Al norte de la ciudad, cerca del rancho la Trinidad, tomaba ya propiamente el nombre de río de San Francisco, debido a que en este lugar "aflora dentro del cauce un pequeño manantial a partir del cual principia a llevar aguas permanentes" (Archivo Histórico del Agua –AHA–, caja 4354, exp.57803, citado en Loreto, 2009:52).

Escalas de funcionamiento de los flujos subterráneos

Aunque el área principal de estudio la constituye la microcuenca en donde se estableció la ciudad de Puebla, es importante destacar que para el análisis-entendimiento del sistema subterráneo se consideró que existen varias escalas de funcionamiento, como fue señalado anteriormente (flujos locales, intermedios y regionales), que operan a nivel de la subcuenca Puebla-Tlaxcala y que tienen un impacto-manifestación en el área en estudio (microcuenca). En este sentido, es necesario mencionar que la subcuenca está flanqueada por tres importantes volcanes ubicados dentro de la Provincia Fisiográfica del Eje Neovolcánico Trasmexicano: Iztaccíhuatl, Popocatépetl y Malinche. Estos estratovolcanes, que físicamente están alejados de la ciudad de Puebla, con excepción de la Malinche que colinda al noreste con ella, han sido determinantes para la formación de algunos de los flujos de agua subterránea que convergen en esta porción del territorio poblano, la evidencia más significativa es la presencia de manantiales de agua termal o sulfurosa como se ha reconocido históricamente (Figura 3).

Situación similar ocurre con otras formaciones geológicas que afloran al este y sureste de la ciudad, pues aunque se encuentran fuera del área geográfica definida como microcuenca (delimitación que esencialmente corresponde a formas de escorrentía superficial, por lo que no siempre o necesariamente coincide con el funcionamiento del agua subterránea) su cercanía y mayor elevación con respecto a la planicie permiten suponer un nivel de impacto sobre el sistema hídrico de la ciudad de Puebla. Destacan los macizos de calizas del Cretácico que afloran en la sierrita de Amozoc y en diversas partes de la sierra del Tentzo, las cuales se extienden por debajo de la planicie de la ciudad de Puebla subyaciendo a los abanicos aluviales/piroclásticos (T) y travertino (Qtr) que cubren su superficie (Figura 4).

Explicar cómo funcionan los sistemas de flujo de agua subterránea a nivel de cuenca o de subcuenca, no es el objetivo de este trabajo; sin embargo, se ha mencionado brevemente y de manera muy general cómo el sistema hídrico subterráneo desde tiempos remotos ha sido determinado por distintas escalas del medio topográfico y geológico, todo ello con el propósito de profundizar en el conocimiento del funcionamiento de los diferentes sistemas de flujos de agua subterránea que convergieron/convergen en la planicie de la ciudad de Puebla. La contrastada topografía y diversidad geológica de la subcuenca han hecho manifiesto su impacto a través de los diferentes tipos de agua que han emergido en la microcuenca: termales-sulfurosas-duras y suaves-dulces-frías, las cuales, como ya se dijo, son expresión del funcionamiento jerárquico de los sistemas de flujo de agua subterránea.

LOS MANANTIALES DE AGUA DULCE Y TERMAL (SULFUROSA) EN LA MICROCUENCA DE LA CIUDAD DE PUEBLA (SIGLO XVI - PRINCIPIOS DEL SIGLO XX)

A partir de la presencia de manantiales con características diferenciadas, producto y manifestación de la convergencia de diferentes sistemas de flujo de agua subterránea en este territorio-microcuenca, se distinguen en general dos zonas de descarga con rasgos particulares asociados principalmente con su posición topográfica, rasgos geológicos superficiales y composición geoquímica del agua. La primera es la zona de manantiales de agua dulce, localizada al final del piedemonte suroeste de la Malinche, sobre el eje en donde se ubican los cerros de Loreto, Guadalupe y Amalucan; la segunda es la de manantiales de agua termal o sulfurosa que se ubica al poniente de la ciudad, extendiéndose aproximadamente entre los ríos Atoyac y San Francisco, en la porción de la planicie poblana en la que aflora travertino (Qtr) (Figura 3). Tal zonificación definida por dichas condiciones natural particulares dentro de la microcuenca conllevó formas diferenciadas de apropiación material y uso del agua que se manifestaron de maneras específicas y tangibles en el proceso de construcción de la naciente ciudad novohispana.

Manantiales de agua dulce

Durante los primeros siglos de construcción de la ciudad de Puebla, los procesos de apropiación material del agua, tanto de la que emanaba del subsuelo en forma de manantiales como de la que circulaba por su superficie en forma de ríos, estuvo fuertemente condicionada por la ubicación (accesibilidad/distancia y altitud), cantidad y calidad del agua. En esos primeros años los manantiales de agua dulce del norte y noreste de la traza urbana constituyeron los principales surtidores de agua dulce (considerada como "potable") para consumo humano debido fundamentalmente a su mayor elevación con respecto al nivel de la estructura urbana, su importante número y caudal, y sobre todo, la excelente calidad del agua. Generalmente el vital líquido se tenía que canalizar desde los lugares en donde brotaba, hasta los distintos inmuebles y fuentes (públicos y privados) ubicados en la ciudad para abastecer a los diversos grupos y sectores sociales que la integraban. En las primeras etapas de construcción de la ciudad, hubo una marcada preferencia por cubrir las necesidades de agua de los grupos-estratos socioeconómicos privilegiados (Loreto, 1994:25 y 28), lo cual se combinó con las diferentes condicionantes naturales mencionadas para definir políticas públicas de abasto-distribución del agua durante el periodo Colonial.

Debido a dichas condicionantes naturales, no todos los manantiales de agua dulce fueron utilizados con el mismo fin, ni al mismo tiempo. En su crónica, Mariano Fernández de Echeverría refería que la primera agua con la cual se abasteció a la ciudad se ubicaba en el barrio del Alto, específicamente en la placeta del convento de San Francisco en donde se ubicó una fuente que sirvió para dotar de agua a los primeros pobladores, aunque el manantial que la alimentó se localizaba tierras arriba, al noreste del cerro de Guadalupe. El autor aclaró en diversas oportunidades que

> esta agua del Alto nunca se introdujo en la plaza mayor y así he puesto en primer lugar la que se introdujo en ella por Luis de León Romano el año de 1556, a que se agregó el año de 1586 la de los ojos nuevamente descubiertos [manantiales Agua Santa], los cuales nacen por el nordeste hacia el camino de Tlaxcala (Fernández de Echeverría, 1962:254-258 y 264-266).

Así como en los casos arriba señalados, diversas características naturales y socioeconómicas condicionaron la apropiación-uso del agua dulce del resto de los manantiales que sirvieron para el abasto de la población (por lo menos hasta mediados del siglo XIX). De acuerdo con el estudio que realizó Toxqui (2011) y que abarcó de 1855 a 1883, había seis manantiales (generalmente fueron sitios o lugares con más de un manantial) administrados por el Ayuntamiento destinados para uso público-urbano: Cieneguilla, Agua Santa o Trinidad (nueve pequeños "ojos de agua"), Santiago (dos manantiales), El Carmen o Rementería, La Luz-Analco y San Francisco (cuatro "ojos de agua"), (Figura 3). Para finales del siglo XIX y principios del XX,

Enrique Palacios (1982) también señalaba seis manantiales que "abastecen de aguas potables a la capital del estado, aprovechados de tiempo antiguo los de la Cieneguilla, Trinidad, La Luz, el Carmen, Amalucan y San Francisco" (Palacios, 1982:125). En esta última lista no aparece el de Santiago (que eran dos manantiales de acuerdo con el estudio de Toxqui) y siguiendo a Fernández de Echeverría (1962:262 y 263) es muy probable que estas emanaciones (Santiago) fueran parte de un sitio-grupo reconocido con el nombre de uno de sus principales manantiales "Cieneguilla", grupo al que también parecen estar asociados los manantiales de Agua Santa (los documentos históricos presentan algunas imprecisiones en relación con el lugar y nombre de los manantiales lo que hace difícil tener una certeza al respecto).

En cuanto a ubicación, origen y producción de estos manantiales Palacios (1982:125 y 126) afirmaba que:

> casi todos estos veneros aparecen en la zona Norte de la ciudad, detenida la corriente subterránea que los alimenta y la cual procede de las infiltraciones de la Malinche, por el dique basáltico de Amalucan, Loreto y Guadalupe […]. Su rendimiento no pasó de cien litros por segundo, durante largos años; de los cuales 76.50 correspondían a Trinidad y la Cieneguilla (con mucho, los más ricos de los veneros), según mediciones de los ingenieros Pedro Sentíes y Miguel Espino […]. Los manantiales de Rementería, adquiridos por el Ayuntamiento posteriormente, aumentaron en 65 litros por segundo el caudal de las antiguas aguas. Las nuevas obras de abasto (1907-1910) elevaron a 340 litros por segundo la cantidad rendida por todos los veneros, es decir, algo más de 29,000 metros cúbicos diarios, dotación actual del municipio.

Los manantiales generalmente fueron reconocidos con los nombres de los barrios o inmuebles a los que abastecían, o bien, por el lugar en el que se localizaban. Estos manantiales de agua dulce se ubicaban en las "faldas de los cerros" de Loreto y Guadalupe, como se explicó anteriormente (Figura 3). Dentro de esta zona se distinguieron dos secciones o sitios de manantiales (Loreto, 1994:18): la primera "El Alto o San Francisco" y la segunda "La Cieneguilla".

1ª) "El Alto o San Francisco": conformada por los manantiales que se hallaban al oriente del cerro de Guadalupe o Bethlém. Algunos de éstos fueron aprovechados para abastecer los barrios del Alto y Xanenetla (manantiales de San Francisco, ubicados en el Rancho Rementería) y otros canalizados para dotar de agua al oriente de la ciudad, principalmente los barrios de Analco, La Luz y El Carmen.

2ª) "La Cieneguilla": situada al oeste del cerro de Loreto cerca del camino a Tlaxcala, abastecía a la ciudad por declive desde el norte. Los más importantes fueron los de La Cieneguilla (al poniente de la Garita de San Pablo) y Agua Santa o Trinidad (localizados en tierras del Rancho Calderón, cerca de la garita de Tlaxcala, éstos se unían al acueducto de la Cieneguilla).

Se decía que el agua de todos esos manaderos era de excelente calidad, por ello se le consideraba "potable" y fue altamente valorada en ese tiempo. Estudiosos de la química de finales del siglo XIX, a partir de los análisis realizados a muestras de agua de varios de los manantiales mencionados, reportaron que

> su temperatura es variable y no muy inferior a la atmosférica (en la ciudad de Puebla la temperatura media anual es de aproximadamente 17° C). Uno de ellos fue el doctor Manuel Vergara, "quien halló sus aguas notablemente puras". Otro fue el profesor Mariano Cal, químico de Puebla, quien con fecha 14 de marzo de 1850 practicó un análisis a las aguas de La Cieneguilla y "repútalas muy notables". "Análisis más completos, de fechas recientes, confirman la potabilidad de las aguas, pues su residuo fijo es menor de 0.30, su porción de ácido sulfúrico inferior a 0.03; más baja que 0.04 la de cloro y que 25 el grado hidrotimétrico (Palacios, 1982:125).

Estas características físicas y químicas del agua son parámetros importantes que permiten señalar que dichos manantiales fueron producto de infiltra-

ciones "recientes" de agua de lluvia (flujos locales), esto es, que el tiempo de recorrido y permanencia en el subsuelo fue corto, por tal motivo se caracterizaron por sus temperaturas de frías a templadas, con baja salinidad o dulces (pocos sólidos totales disueltos) y suaves (bajo contenido de carbonato de calcio), etc. (Tóth 2000:12) A partir de estos parámetros se puede afirmar que los sitios alrededor de dichos cerros conformaron la zona de descarga de flujos locales-recientes de agua subterránea más importante de la microcuenca durante el periodo Colonial (Figura 4).

Un indicador más que confirma que fue una zona de descarga (en este caso se refiere particularmente a la primera sección: "El Alto o San Francisco") fue la vegetación predominante en ella, se decía que:

> cualquier planta prevalece muy bien y se propaga en este terreno y de ello tengo repetidas experiencias, especialmente a la banda oriental del río en los barrios de Analco y el Alto donde se hizo la primer población. Lo mismo sucede con los árboles infructíferos, porque el fresno, al álamo, el ciprés, el sauce y otros muchos subsisten en todo este territorio y se gozan muy bien en cualquiera parte que se planten, y yo he alcanzado en los patios de los conventos de San Francisco y Santa Bárbara, que es de descalzos franciscanos, muchos y muy corpulentos y frondosos árboles de estas especies, que no ha muchos años que se quitaron por que habían extendido tanto sus raíces, que ya perjudicaban a las paredes de este convento (Fernández de Echeverría, 1962:283).

En especial el álamo y sauce han sido árboles asociados con la existencia de elevados niveles de humedad del suelo, es decir, característicos de zonas de descarga de agua subterránea (Tóth, 2000:17).

Durante esta etapa histórica, las diferencias en cuanto a ubicación (distancia y altitud) y caudal de los manantiales de agua dulce determinaron que no todos ellos fueran utilizados para suministro público-urbano, sin embargo, dada la excelente calidad de su agua fueron aprovechados para otros usos-actividades. Ejemplos representativos del impacto de estas condicionantes naturales sobre las formas de apropiación material del agua fueron los manantiales de Agua Santa (Xanenetla), Almoloya (Los Lavaderos) y el conocido como El Estanque de los Pescaditos localizados al sur de los cerros de Loreto y Guadalupe, en tierras bajas al oriente de la ribera del río San Francisco, aproximadamente en donde se unía con su principal afluente/tributario y se formaba un solo cauce (Figura 3). Este fue un sitio de convergencia de escurrimientos superficiales y también un lugar que albergó estos productivos manantiales, es decir, fue la parte baja de la zona de descarga de flujos de agua subterránea que formaron/incrementaron el flujo base del entonces importante río San Francisco.

Manantiales de agua termal (sulfurosa)

Al poniente de la ciudad, tomando como eje de referencia al río San Francisco, dominaron en el paisaje poblano ambientes acuáticos caracterizados por la presencia de abundantes manantiales de agua termal o sulfurosa como comúnmente fue conocida. Todos ellos emanaban en la zona de travertino (Qtr) al poniente de la ciudad, siendo resultado y expresión de uno de los sistemas de flujo de agua subterránea que convergían (convergen) en una parte de la microcuenca de la ciudad de Puebla (Figura 3).

Históricamente han existido posiciones diferentes entre diversos especialistas con respecto al origen de estos manantiales de agua termal/sulfurosa. Una de las hipótesis sostenidas en el pasado fue la de Dollfus, Montserrat y Pavie, miembros de la Comisión Geológica francesa designada por el gobierno de Napoléon III, quienes afirmaban que dichos manantiales "forman una cintura de aguas mineralizadas debida a la acción del Popocatépetl y de los centros eruptivos relacionados". Otro estudioso del agua, al que hace referencia Palacios, es el doctor Vergara, este especialista sostenía que el agua sulfurosa tenía "un origen puramente químico" y su temperatura (25 a 28° C, por término medio), no le parecía suficientemente elevada para incluirlos entre los propiamente sulfurosos (Palacios, 1982:126-128).

Todo parece apuntar a que estos manantiales termales tuvieron y siguen teniendo su origen en las laderas de la Sierra Nevada en donde se ha

producido la infiltración del agua de lluvia o producto del deshielo, prosiguiendo su movimiento en línea descendente hasta alcanzar estratos rocosos profundos compuestos por formaciones marinas del Cretácico (Ks, Ki) y circulando por ellos hasta volver a salir a la superficie. Un rasgo particular que posiblemente favoreció el importante ascenso de flujos de agua sulfurosa o termal, fue la presencia de ejes de falla (formando la Fosa Atlixco) que cruzan la microcuenca poblana y que constituyen los flancos de la zona que contiene este tipo de agua (Figura 4). Se tendrán que realizar estudios multidisciplinarios para corroborar este planteamiento, en los que se contemple la obtención e interpretación de la información hidrogeoquímica e isotópica del agua y de las propiedades hidráulicas de los estratos litológicos, entre otros.

Los manantiales y cuerpos de agua sulfurosa más nombrados-conocidos durante el periodo Colonial fueron: San Matías, San José o de las Navajas, Nuestra Señora de Guadalupe, Garita de México, San Pablo (Ojo de San Pablo o Baños de San Pablo), La Estrella o Estrellita, El Matadero (Baños del Paseo Bravo o de Santiago), La Calera o Rancho Colorado, Agua Azul (Baños la Carmona), Agua Santa (en Parroquia de San Sebastián) y Lago de Flon (Fernández de Echeverría, 1962:274-277; Loreto, 2008:23), (Figura 3). En el pasado, algunos de estos manantiales fueron objeto de estudio por parte de diferentes especialistas (geólogos, ingenieros, químicos, entre otros) quienes, aunque no reportaron datos precisos sobre su caudal o producción, ofrecieron varias descripciones técnicas sobre la composición química y física de estas aguas, estableciendo algunas diferencias entre ellas. Por ejemplo,

> Dollfus, Montserrat y Pavie las dividen en dos clases: muy límpidas, con mayor proporción de azufre y gran desprendimiento de ácido carbónico; y menos límpidas, de color azul a causa de un depósito de azufre. A su juicio, parecen haber atravesado capas subterráneas en las cuales el hidrógeno sulfurado es sometido a descomposición parcial, y el azufre libre, resultado de ella, arrastrado por el agua, viene a depositarse en los vasos donde salta el venero […] (Palacios, 1982:130).

Estos estudiosos afirmaron que la

> diferencia de temperatura y de composición de los veneros se debe a las del terreno y a las varias profundidades de la emersión. Todo el rumbo encierra una vasta cuenca subterránea, cuyos caracteres constantes son la gran cantidad de ácido carbónico, el poco azufre; trazas de hidrógeno sulfurado libre y gran cantidad de bicarbonato calcáreo en disolución. Clasificadas nuevamente, conforme a los métodos modernos, acaso no resulten aguas sulfurosas propiamente dichas; esto apoyaría la teoría química de la presencia del azufre en ellas (*Ibid.*:132).

En términos generales se podría afirmar, tomando como base las variables observadas y comparadas con mayor frecuencia en dichos estudios (temperatura y composición química), que se trataba de diferentes flujos de agua termal; posiblemente originados en zonas de recarga totalmente diferentes (en los volcanes Popocatépetl y Malinche). La constante fue que todos ellos circularon por las calizas del Cretácico, aunque evidentemente a profundidades y tiempos de residencia-recorrido diferentes (Figura 4).

Dadas las especiales características físicas y químicas de este tipo de agua fue aprovechada-apropiada por los pobladores de formas también particulares. En general el hallazgo de los manantiales de agua termal/sulfurosa era atribuido a los vecinos, quienes solicitaban permiso a las autoridades para su aprovechamiento pues tenían en "alta estima" sus propiedades curativas para el tratamiento de diversas enfermedades, razón por la que fueron requeridas en diversas ocasiones para ser empleadas en baños termales, balnearios o para regar importantes superficies de huertas ubicadas en esta zona (Loreto, 2008:38). Los manantiales que llaman de San Pablo y San José o de las Navajas son ejemplos de los diversos usos que tuvo este tipo de agua (Fernández de Echeverría, 1962:275 y 277).

CONCLUSIONES

El trabajo tuvo como finalidad profundizar y apoyar en la comprensión del funcionamiento

del sistema hídrico de la microcuenca del río San Francisco a partir de seguir (aplicar) la teoría de Sistemas de Flujo de Agua Subterránea, retomando algunas de sus categorías centrales para el análisis y construcción de un marco histórico-hídrico. Para la construcción de este marco de referencia a través del largo periodo de estudio propuesto, se reconoció el estado/condición de tres factores naturales determinantes del funcionamiento de los sistemas de flujo: topografía, geología y clima, y se identificaron *grosso modo* algunos de sus impactos/manifestaciones ambientales en la superficie del territorio-microcuenca, a partir de los cuales se "reconstruyeron", en general, las condiciones "originales" de funcionamiento del sistema hídrico (flujos subterráneos y red fluvial), permitiendo con ello el reconocimiento de sus espacios-soporte y las funciones vitales de los ecosistemas asociadas.

Especialmente se identificaron las principales zonas de descarga de agua subterránea en la microcuenca, territorio físico-natural en el que se construyó la ciudad de Puebla, la cual se caracterizó por la concurrencia de diferentes sistemas de flujo subterráneos. Sus diversas manifestaciones: presencia de manantiales de agua dulce y sulfurosa, ciénegas/humedales, niveles freáticos someros, vegetación hidrófita, suelo de aluvión, afloramiento de travertino, etc., permiten afirmar la existencia de dos importantes zonas de descarga de agua subterránea (aún en la actualidad conservan varias de las condiciones esenciales de ese funcionamiento "original"). La convergencia de estos diferentes sistemas de flujos de agua subterránea definió las características ambientales particulares de estas zonas. La primera, la de manantiales de agua dulce, localizada al final del piedemonte suroeste de la Malinche; la segunda la de los manantiales de agua sulfurosa ubicada al poniente del río San Francisco, en la porción de la planicie en la que aflora travertino (Qtr).

Tales características del medio natural afectaron los procesos y formas de habitar la ciudad en general, y en particular, definieron formas diferenciadas de apropiación material-primaria del agua. Los diversos rasgos y matices ambientales entre estas zonas, principalmente en relación con su ubicación geográfica (altitud, cercanía a la ciudad y al río San Francisco), composición físico-química del agua de sus manantiales y las características de su suelo y subsuelo, conllevaron a modelos de ocupación territorial diferenciados, reflejados en la distribución de los usos del suelo y en las diversas formas y tiempos de acceso al agua por parte de la población, entre sus principales manifestaciones.

Con este seguimiento histórico, se reconoció la función vital del volcán Malinche como parte esencial de los espacios-soporte de este sistema y en general la importancia de los entornos-ecosistemas naturales en el desarrollo que tuvo la ciudad colonial, los cuales siguen conformando o deberían seguir conformando, a pesar de su estado fuertemente alterado, los soportes materiales-naturales fundamentales para el desarrollo de la Puebla actual. En este sentido, el recuperar una memoria hídrica no es para lamentar lo perdido o alterado sino para visualizar desde una perspectiva histórica las oportunidades que la sociedad actual tiene para integrar una nueva forma de gestión del agua, de manera tal que le permita contar con ella en los próximos años/décadas, garantizando su desarrollo/sobrevivencia y la de los ecosistemas asociados. Para ello será imprescindible ligar la gestión del agua con una nueva forma de planeación-gestión territorial en la cual se entienda y reconozca la importancia de los entornos naturales y la función primordial de los espacios-soporte y ecosistemas asociados en el funcionamiento del sistema hídrico.

REFERENCIAS

Alcalá y Mendiola, M. (1992), *Descripción en bosquejo de la imperial cesarea, muy noble y muy leal ciudad de Puebla de los Ángeles,* Junta de Mejoramiento Moral, Cívico y Material del municipio de Puebla, México.

Fernández de Echeverría y Veytia, M. (1962), *Historia de la fundación de la ciudad de Puebla de los Ángeles en la Nueva España, su descripción y presente estado*, Tomo 1, Ediciones Altiplano, México.

Galicia Hernández, E. (2009), "Topografía, geología y clima en la cuenca Alto Atoyac. Factores determinantes del funcionamiento de los sistema de flujo de agua subterránea", en Loreto, R. (coord.), *Agua, poder urbano y metabolismo social,* Colección Estudios Urbanos y Ambientales/1, México, Instituto de Ciencias

Sociales y Humanidades "Alfonso Vélez Pliego"/B, Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), pp. 25-46.

Geotecnología, S.A./SOAPAP (1997), *Actualización del estudio geohidrológico de los acuíferos del Valle de Puebla*, informe final, tomo I, Sistema Operador de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Puebla (SOAPAP), mecanuscrito, México.

INEGI (1996), Cartas Topográficas E14B43 y E14B53, escala 1: 50 000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), México.

Lesser y Asociados/SAHOP (1982), *Estudio geohidrológico en la zona Río Atoyac, estado de Puebla*, Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, mecanuscrito, México.

Loreto López, R. (1994), "De aguas dulces y amargas o de cómo se distribuía el agua en la ciudad de Puebla durante los siglos XVIII y XIX", en Loreto, R. y F. J. Cervantes B. (coords.), *Limpiar y obedecer. La basura, el agua y la muerte en la Puebla de los Ángeles. 1650-192,* Claves Latinoamericanas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México, pp. 11-68.

Loreto López, R. (2008), *Una vista de ojos a una ciudad Novohispana. La Puebla de los Ángeles del siglo XVIII*, Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.

Loreto López, R. (2009), "Agua, acequias, heridos y molinos. Un ejemplo de dinámica ambiental urbana. Puebla de los Ángeles, siglos XVI-XIX", en Loreto, R. (coord.), *Agua, poder urbano y metabolismo social,* Colección Estudios Urbanos y Ambientales/1, Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades "Alfonso Vélez Pliego", B. Universidad Autónoma de Puebla, México, pp. 47-76.

Palacios, E. J. (1982), *Puebla, su territorio y sus habitantes*, tomo I, Junta de Mejoramiento Moral, Cívico y Material del Municipio de Puebla, México.

Peñuela Arévalo, L. A. y J. J. Carrillo Rivera (2013), "Definición de las zonas de recarga y descarga de agua subterránea a partir de indicadores superficiales: centro-sur de la Mesa Central, México", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 81, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 18-32. [http://www.revistas.unam.mx/index.php/rig/article/view/30518: julio 2013].

Pradilla Cobos, E. (1984), *Contribución a la crítica de la teoría urbana. Del "espacio" a la "crisis urbana"*, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México.

Robelo, C. A. (1908), *Diccionario de pesas y medidas mexicanas antiguas y modernas, y de su conversión para uso de los comerciantes y de las familia*, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores de Antropología Social, Imprenta "Cuauhnahuac", México.

Tóth, J. (2000), "Las aguas subterráneas como agente geológico: causas, procesos y manifestaciones", *Boletín Geológico y Minero*, vol. 111, núm. 4, pp. 9-26.

Toxqui Furlong, M. G. (2011), *La gestión del abasto de agua potable: privatización y modernización de un servicio público en la ciudad de Puebla 1855-1883*, tesis de Doctorado en Historia, Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades "Alfonso Vélez Pliego", Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.

Mapas históricos consultados:

-*Planta de la Ciudad de Puebla de los Ángeles de la Nueva España (1698).*

-*Croquis de la Ciudad de Puebla y sus Alrededores (1862)?*

-*Plano topográfico de la ciudad de Puebla,* levantado por Luis G. Cariaga y Saenz (1883).

-*Plano topográfico de la Ciudad de Puebla*, levantado por Luis G. Cariaga y Saenz (1856 y reformado 1863).

-*Carta Geográfica General de la República Mexicana, Atlas Topográfico de los Alrededores de Puebla,* comenzada en 1878 por la Comisión Geográfico-Exploradora, 3ª. Serie-letra AP, escala 1:20 000.