

Acueducto del Padre Tembleque

Patrimonio Cultural de la Humanidad

Jorge Olvera García · Juan Arturo Ocaña Ponce / coordinadores

Acueducto del Padre Tembleque

Patrimonio Cultural de la Humanidad

TD
229
.M48
A28
2015

Acueducto del Padre Tembleque, Patrimonio Cultural de la Humanidad / Jorge Olvera García, Juan Arturo Ocaña Ponce, coordinadores. -- 1ª ed. -- Toluca, Estado de México: Universidad Autónoma del Estado de México, 2015. 184p. : il. ; 28 cm --

ISBN (GEM): 978-607-495-467-8
ISBN (UAEM): 978-607-422-679-9

1. Acueducto del Padre Tembleque -- México (Estado) 2. Acueductos –México (Estado) -- Historia. I. Olvera García, Jorge, Ocaña Ponce, Juan Arturo, coodinadores.

Acueducto del Padre Tembleque
Patrimonio Cultural de la Humanidad

Jorge Olvera García

Juan Arturo Ocaña Ponce

coordinadores

GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO

UAEM Universidad Autónoma del Estado de México

Colección Cuadernos Institucionales

GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO

Eruviel Ávila Villegas
Gobernador Constitucional

Rosalinda Elizabeth Benítez González
Secretaria de Turismo

UAEM Universidad Autónoma del Estado de México

Jorge Olvera García
Rector

Ivett Tinoco García
Secretaria de Difusión Cultural

Consejo Editorial: José Sergio Manzur Quiroga, Simón Iván Villar Martínez, Joaquín Castillo Torres, Eduardo Gasca Pliego, Raúl Vargas Herrera

Comité Técnico: Alfonso Sánchez Arteche, Félix Suárez, Marco Aurelio Chávez Maya

Secretario Técnico: Ismael Ordóñez Mancilla

Acueducto del Padre Tembleque. Patrimonio Cultural de la Humanidad
Jorge Olvera García y Juan Arturo Ocaña Ponce (coords.)

© Primera edición, Secretaria de Turismo del Gobierno del Estado de México, 2016

DR © Gobierno del Estado de México
Palacio del Poder Ejecutivo
Lerdo poniente núm. 300,
colonia Centro, C.P. 50000,
Toluca, Estado de México.
http://edomex.gob.mx

© Universidad Autónoma del Estado de México
Av. Instituto Literario núm. 100 Ote.
Toluca, Estado de México, C.P. 50000
Tel. (52) 722 277 3835 y 36
http://www.uaemex.mx

ISBN: 978-607-495-467-8
Consejo Editorial de la Administración Pública Estatal
www.edomex.gob.mx/consejoeditorial
Número de autorización del Consejo Editorial de la Administración Pública Estatal
CE:
ISBN: 978-607-422-679-9
Dirección del Programa Editorial de la UAEM

Citación:
Olvera-García, Jorge y Ocaña-Ponce, Juan Arturo (coords.) (2015), Acued*ucto del Padre Tembleque, Patrimonio Cultural de la Humanidad*. Universidad Autónoma del Estado de México México: - Gobierno del Estado de México, ISBN (GEM): 978-607-495-467-8 / ISBN (UAEM): 978-607-422-679-9

Responsable editorial: Juan Arturo Ocaña Ponce. Formación y diseño de portada: María de la Paz Mendieta Robles. Imagen de portada: Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*-. Fotografías: Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*-, José Luis Vera Jiménez, Nadia García Espino y Dolores Contreras Chávez.

Impreso y hecho en México
Printed and made in Mexico

Esta obra está sujeta a una licencia *Creative Commons* Atribución 2.5 México (CC BY 2.5). Para ver una copia de esta licencia visite http://creativecommons.org/licenses/by/25/mx. Puede ser utilizada con fines educativos, informativos o culturales, siempre que se cite la fuente. Disponible para su descarga en acceso abierto en: http://ri.uaemex.mx/

CONTENIDO

PRÓLOGO 9

INTRODUCCIÓN 11

CAPÍTULO I · UBICACIÓN GEOGRÁFICA 15
Raquel Hinojosa-Reyes / Fidel Vilchis-Romero
País 17
Estados, regiones o provincias que atraviesa el Acueducto del Padre Tembleque 17
Zona núcleo 18
Zona de amortiguamiento 18
Paisaje natural 18
Paisaje de recuperación 21
Referencias 21

CAPÍTULO II · HISTORIA
ACUEDUCTO DEL PADRE TEMBLEQUE 25
Jorge Olvera-García / Dolores Contreras-Chávez / José Luis Vera-Jiménez / Manuel Alfredo Garduño-Oropeza
Contexto histórico 27
Concierto, materiales y costo de la obra 30
Construcción del acueducto 33
Referencias 36

CAPÍTULO III · ARQUITECTURA Y CONSERVACIÓN 41
Juan Arturo Ocaña-Ponce / Marcos Mejía-López / Elda Gómez-Rogel
Geometría 43
Trazo, materiales y construcción 43
Composición y estilo 46
Descripción dimensional de los espacios 46
Referencias 49
Anexo 50

CAPÍTULO IV · ANÁLISIS ESTRUCTURAL
CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS, ESTRUCTURALES Y CONSTRUCTIVAS DEL ACUEDUCTO DE ZEMPOALA. OBRA PERDURABLE DEL FRAILE FRANCISCO DE TEMBLEQUE 67
Horacio Ramírez-de Alba / Ramón Antemio Vargas-Palma
Descripción general 69
Ingeniería hidráulica 72
Ingeniería estructural 76
Características constructivas 76
Durabilidad 80
Medida de prevención y mantenimiento 81
Conclusiones y aspectos sobresalientes 82
Referencias 82

CAPÍTULO V · PAISAJE NATURAL
ANALISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DEL PAISAJE CULTURAL DEL ACUEDUCTO DEL PADRE TEMBLEQUE 85
Jesús Enrique de Hoyos-Martínez / María Carolina de Hoyos-Vargas / Mónica Yesenia Andrade-Martínez
Aspectos históricos: construcción de un paisaje cultural con la fusión técnica de edificación de dos mundos 87
Regulaciones del Patrimonio Cultural 89
Análisis de los componentes del paisaje natural 90
Valoración síntesis 96
Anexos 96
Referencias 97

CAPÍTULO VI · BIOLOGÍA
BIODIVERSIDAD Y AMBIENTE 99
Miguel Mayorga-Rojas / Felipe de Jesús Rodríguez-Romero / Raquel Hinojosa-Reyes / Fidel Vilchis-Romero / Iris Sarai Vilchis-García
Orografía 101
Hidrografía 101
Geología 103
Clasificación y uso del suelo 103
Clima 103
Histórico y desarrollo 103
Biodiversidad 103
Flora 107
Fauna 107
Referencias 107

CAPÍTULO VII · SUSTENTABILIDAD EN LA PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN DEL ACUEDUCTO DEL PADRE TEMBLEQUE 111
Silverio Hernández-Moreno / René Lauro Sánchez Vértiz-Ruiz
Usos sustentables potenciales del Bien como patrimonio edificado y natural 113
Estrategias de diseño y re-diseño sustentable del Bien en materia arquitectónica 114
Plan de diseño sustentable en edificación por rubro ambiental, que incluye estrategias sobre re-diseño sustentable, aplicadas al Acueducto del Padre Tembleque 114
Referencias 116

APÉNDICE FOTOGRÁFICO 119

PRÓLOGO

Los templos son respuesta a la fe y los acueductos, solución a un problema social. En ese sentido, el Acueducto del Padre Tembleque es la solución que Fray Francisco Tembleque ideó para solventar la escasez de agua en la región de Otumba.

Lo que sorprende de esta magnífica construcción es su carácter mestizo, fruto de dos culturas: la española y la indígena. Los indígenas apoyaron este proceso; se utilizaron materiales como el adobe y la argamasa, que ayudaron a proveer resistencia.

El acueducto de Tembleque comenzó su construcción en 1545 y se concluyó 17 años después. Su distancia aproximada es de 48 km y tiene 250 m de desnivel. Su principal función era la de traer agua desde el Cerro de Tecajete, en el estado de Hidalgo, hacia la población de Otumba, Estado de México; el agua fluye a través de los 48.22 km del acueducto.

El padre Tembleque, junto con los naturales de Otumba, realizó una portentosa obra hidráulica que maravilla por su belleza. Sus pilares y contrafuertes ostentan un equilibrio perfecto, que da vida a los arcos que los componen.

México se caracteriza por poseer una arquitectura similar a la europea, producto de la conquista española; sin embargo, en la actualidad el acueducto construido por Tembleque se configura como símbolo de amalgamamiento.

Aquí dos mentalidades unidas diseñan el sistema hidráulico con una sola arquería, la más grande de América Latina. Es una obra que une y nos hermana, que se convierte en punto de encuentro entre culturas, que simboliza el paisaje más significativo y emblemático de nuestro país.

El Acueducto del Padre Tembleque tuvo por objeto aliviar la escasez de agua que sufrían los habitantes de la zona, y con el paso de los años esa construcción dejó de representar su finalidad específica para convertirse en Patrimonio de la Humanidad.

Agradecemos a la Universidad Autónoma del Estado de México su valiosa aportación para lograr esta denominación, lo cual es muestra del carácter social de la universidad. Sigamos cuidando y conservando todos nuestros patrimonios, para que sigan siendo testimonio vivo de la riqueza de nuestra cultura y civilización.

Dr. en D. Eruviel Ávila Villegas
Gobernador Constitucional del Estado de México

INTRODUCCIÓN

La arquitectura es la expresión humana que edifica culturas. Las grandes civilizaciones realizaron portentosas construcciones, y éstas, una vez que los pueblos cayeron, permanecieron como muestra de su majestuosidad.

Reconocer estas edificaciones es comprender la complejidad de la cultura que les otorga vida; en ese sentido, el complejo hidráulico del Padre Tembleque sintetiza dos mundos: el español y el indígena; ambos configuran un universo que coexiste y se unifica en esta obra.

Por lo anterior, resulta interesante entender y analizar la construcción del acueducto mediante una tarea de investigación, pues así se podrá conocer la diversidad de los elementos que confluyeron en su creación.

Este libro intitulado *Acueducto del Padre Tembleque. Patrimonio Cultural de la Humanidad*, reúne las investigaciones de un grupo de académicos de la Universidad Autónoma del Estado de México, cuyo principal objetivo es poner en perspectiva la construcción de Tembleque desde diversas áreas del conocimiento. Las indagaciones del complejo hidráulico van desde el estudio arquitectónico, ecológico, ambiental, de biodiversidad, de ingeniería estructural e histórico, este último es fundamental para entender el contexto y la cultura en la cual se desarrolló, porque toda obra arquitectónica está íntimamente relacionada con su entorno.

Los investigadores realizan una tarea extensa de las condiciones materiales del acueducto y las condiciones geográficas de la zona donde se encuentra y hacen énfasis en los acontecimientos históricos que sirven como punto de partida para su estudio.

Este texto es producto de un esfuerzo colaborativo y multidisciplinario, encaminado a la exploración de las circunstancias que rodearon la edificación del Acueducto del Padre Tembleque. El libro está estructurado en siete capítulos: el primero, "Ubicación geográfica", da cuenta de las coordenadas, regiones, estados que atraviesa, zona de amortiguamiento y zona núcleo; el segundo, "Historia", aborda el hecho de la construcción del acueducto como producto de la conquista española.

El tercer capítulo, "Arquitectura y conservación", analiza los materiales, trazos y construcción del sistema hidráulico; como punto extra se realizó una descripción dimensional de los espacios. El cuarto capítulo titulado "Análisis estructural" se enfoca en la ingeniería hidráulica y estructural para destacar las características constructivas del acueducto y, al mismo tiempo, propone medidas de prevención y mantenimiento.

El quinto capítulo lleva por nombre "Paisaje natural"; analiza los componentes paisajísticos del lugar donde se asienta el complejo hidráulico. Resulta mayormente interesante este apartado debido a las consideraciones finales sobre la conservación y protección del ambiente físico de la región.

El sexto capítulo, "Biología", pone en relieve la biodiversidad y el paisaje natural que acordona esta obra arquitectónica. Finalmente, el capítulo siete, "Sustentabilidad", cierra el libro realzando los usos sustentables del acueducto. Se debe enfatizar que a pesar de tratarse de un estudio multidisciplinario, el objetivo del libro es tratar de erigir el Acueducto del Padre Tembleque como Patrimonio de la Humanidad avalado por la UNESCO.

El Acueducto del Padre Tembleque es símbolo de una cultura y conserva su majestuosidad, característica que no podría ser identificada sin la labor de los investigadores de la Universidad Autónoma del Estado de México, a quienes es preciso aplaudir su esfuerzo que testimonia este libro.

Dr. en D. Jorge Olvera García
Rector de la Universidad Autónoma del Estado de México

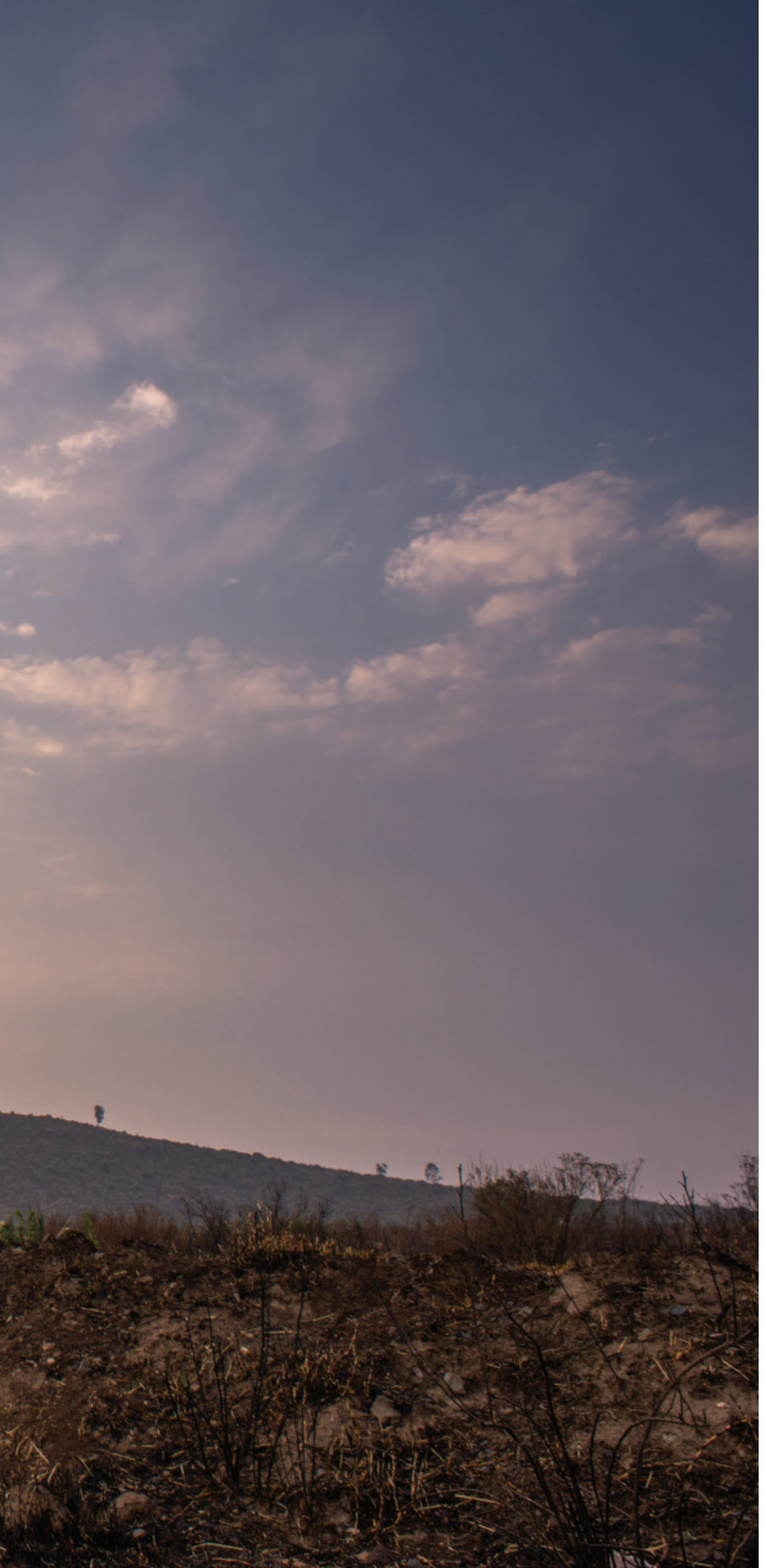


Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Vista panorámica de la arquería mayor del Acueducto del Padre Tembleque, localizada entre los estados de México e Hidalgo.





Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Zempoala, Hidalgo.



Capítulo I · Ubicación

GEOGRÁFICA

Raquel Hinojosa-Reyes
Fidel Vilchis-Romero
Universidad Autónoma del Estado de México



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Vista sur de la arquería mayor del Acueducto del Padre Tembleque.

El territorio donde se encuentra la edificación del complejo hidráulico, Acueducto del Padre Tembleque, presenta una peculiaridad geográfica, la cual es la razón de su creación y existencia, ya que respetó la fisonomía natural debido a su orografía, hidrografía, clima, suelo y vegetación; características que dan cuenta del porqué la majestuosidad de la obra se amalgama de manera excepcional con el paisaje natural durante su recorrido.

En las siguientes líneas expondremos el Estado Parte, los estados, regiones o provincias que abarca el Acueducto del Padre Tembleque, las coordenadas geográficas, así como la zona de amortiguamiento y zona núcleo.

País

El territorio donde se localiza el Acueducto del Padre Tembleque es el de los Estados Unidos Mexicanos.

Estados, regiones o provincias que atraviesa el Acueducto del Padre Tembleque

Estado de Hidalgo-Estado de México

Como veremos con más detalle en páginas posteriores, este complejo hidráulico inicia su recorrido en las faldas del cerro del Tecajete, su cauce pasa por el territorio de los municipios de Zempoala y Tepeapulco en el estado de Hidalgo y en los municipios de Nopaltepec, Axapusco y Otumba, en el Estado de México.

La zona donde se encuentra el acueducto comprende la región semidesértica en el centro de México, concretamente en la porción sur, también conocida como Altiplanicie Meridional, meseta de Anáhuac, o mesa Central, presenta una altitud superior a los 2 000 msnm en promedio, y abarca los estados de México, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro y el Distrito Federal, así como parte de los estados de Zacatecas, Michoacán, Hidalgo y Jalisco, perteneciente a la región biogeográfica del Eje Neovolcánico Mexicano.

Coordenadas geográficas

Ubicado en la zona centro de la República Mexicana en el Altiplano Central[1] (Bravo, 2010), pertenece a la cuenca del Valle de México, y es alimentado por la cuenca del río Pánuco. Sus coordenadas extremas son: al norte a una latitud de 19° 55' 39" y una longitud oeste de 98° 35' 45", y al sur a una latitud de 19° 41' 29" N y una longitud de 98° 45' 27" W.

Inicia en los manantiales del cerro del Tecajete, en el municipio de Zempoala, estado de Hidalgo, con un tramo en dirección poniente de 3.42 km de longitud hasta la hacienda de Tecajete, antes de Santa Isabel Amiltepec; existe una bifurcación con dos ramales: el primero hacia el poniente de 5.96 km de longitud con punto terminal en el antiguo monasterio de Zempoala; el segundo ramal, que es el principal, con dirección al sur, tiene una longitud de 38.05 km con un punto terminal en el antiguo monasterio de Otumba. Por lo tanto, la longitud total del acueducto[2] es de 48 km a través de tierras áridas.

El sitio sobre el cual está construido no es llano, varios cerros de origen volcánico y barrancas impedían un trazo lineal, por lo que el canal de conducción del agua corre principalmente por una acequia que a veces es superficial (3.22%) y generalmente es subterránea (96.78%); varía en profundidad dependiendo de las condiciones del terreno que está constituido principalmente por tepetate.[3] Para la construcción de los ductos y arquerías, se aprovecharon materiales propios de la zona, utilizando rocas andesíticas y basálticas muy abundantes en las zonas cercanas a cada parte donde se realizó la obra a partir del empleo de materiales naturales y técnicas artesanales como la argamasa, cuya construcción emplea baba de nopal, cal viva y arena roja de tezontle. Otros recursos naturales, pertenecientes a la ecorregión, se combinaron para técnicas de construcción que fusionaron la cultura prehispánica con la española, esto permitió utilizar los mantos acuíferos para transportar el agua a fin de impulsar el desarrollo de las urbes aledañas; a su vez generaron eventos coevolutivos, donde aparentemente no existe un cruce de genes en las especies de la zona por aislamiento geológico, geográfico y fragmentación del hábitat, razón que hace prioritaria la conservación, tanto del bien edificado como de la biodiversidad circundante de la zona.

---

[1] El Altiplano Central se caracteriza por la carencia de aguas superficiales importantes, los más relevantes son pequeños ríos intermitentes sólo apreciables durante la época de lluvias durante los meses de mayo a septiembre.
[2] La longitud del acueducto es la suma de 47.43 km más 0.623 km, pertenecientes al sistema inicial de intercomunicación entre manantiales, que da un total de 48 km.
[3] Roca sedimentaria de origen volcánico.

Para solventar los obstáculos orográficos, se construyeron cuatro arquerías que aún se mantienen, siendo la arquería mayor un límite natural, que conservó la barranca y río Papalote, ubicados entre el Estado de México y el estado de Hidalgo (ver mapa 1).

Con el firme propósito de conservar y preservar el paisaje natural, se propone la existencia de una zona núcleo y una zona de amortiguamiento en los límites de este sistema hidráulico, donde se ubica la totalidad de los elementos y atributos conexos e interdependientes que lo caracterizan, así como al paisaje cultural magueyero que circunda al acueducto.

Zona núcleo

La zona núcleo considera dos niveles de definición:

a. Contará con 250 m en cada lado del emplazamiento del acueducto por los 48 km del mismo, con base en las disposiciones establecidas por el INAH, con el propósito de preservar el bien inmueble y que a su vez incluye las arquerías, cajas de agua, haciendas y poblados aledaños.
b. La integración del paisaje natural que corresponde a los corredores de conservación (flora, fauna, especies endémicas y en peligro de extinción); así como la barranca y río Papalote, donde se encuentra la denominada Arquería Mayor. Para ello, se delimitó un área de 100 m en cada lado del río, y una distancia aproximada de 14 km en longitud.

Zona de amortiguamiento

La zona de amortiguamiento considera dos niveles:

a. Contará con 100 m en cada lado del emplazamiento de la zona núcleo con el propósito de conservar dicha zona. Ésta incluye haciendas, poblados, monumentos como los ex conventos, casas de cultura, cementerios y palacios municipales.
b. La integración del paisaje natural toma en cuenta a las zonas orográficas de mayor elevación que consideran la conservación de vegetación, tanto natural como no nativa de la zona, así como cuerpos de agua cercanos al área del bien; por tal motivo, en algunas zonas se amplía a más de los 100 m establecidos.
c. Aunque son elementos intangibles, se consideraron, para la planeación de esta área, fiestas tradicionales y gastronomía (ver mapa 2).

Debido a la explotación de los recursos naturales, la delimitación de la zona de amortiguamiento, para la protección del complejo hidráulico del Padre Tembleque, está respaldada por diversos factores y características del ecosistema, asentamientos humanos existentes y sus proyecciones a futuro, así como los elementos y sitios de interés turístico.

Los criterios empleados para designar la zona núcleo y la zona de amortiguamiento son:

- Representatividad de ecosistemas.
- Grado de perturbación o alteración que presentan las distintas áreas.
- Vulnerabilidad ecológica e impactos antropogénico y natural.
- Uso actual del suelo.
- Elementos con valor histórico y potencial turístico.
- Usos y costumbres de los municipios y localidades.
- Los proyectos de desarrollo contemplados en la zona de estudio.
- La presencia de pueblos mágicos y/o con encanto.

Con base en lo anterior, para lograr un manejo adecuado de la zona edificada y natural del acueducto, se determinaron dos superficies cuyas características ecológicas, sociales, culturales y económicas permiten considerarlas bajo la denominación de zona núcleo y zona de amortiguamiento, como se establece en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Medio Ambiente (LGEEPA).

Paisaje natural

Aprovechamiento sustentable de los recursos naturales

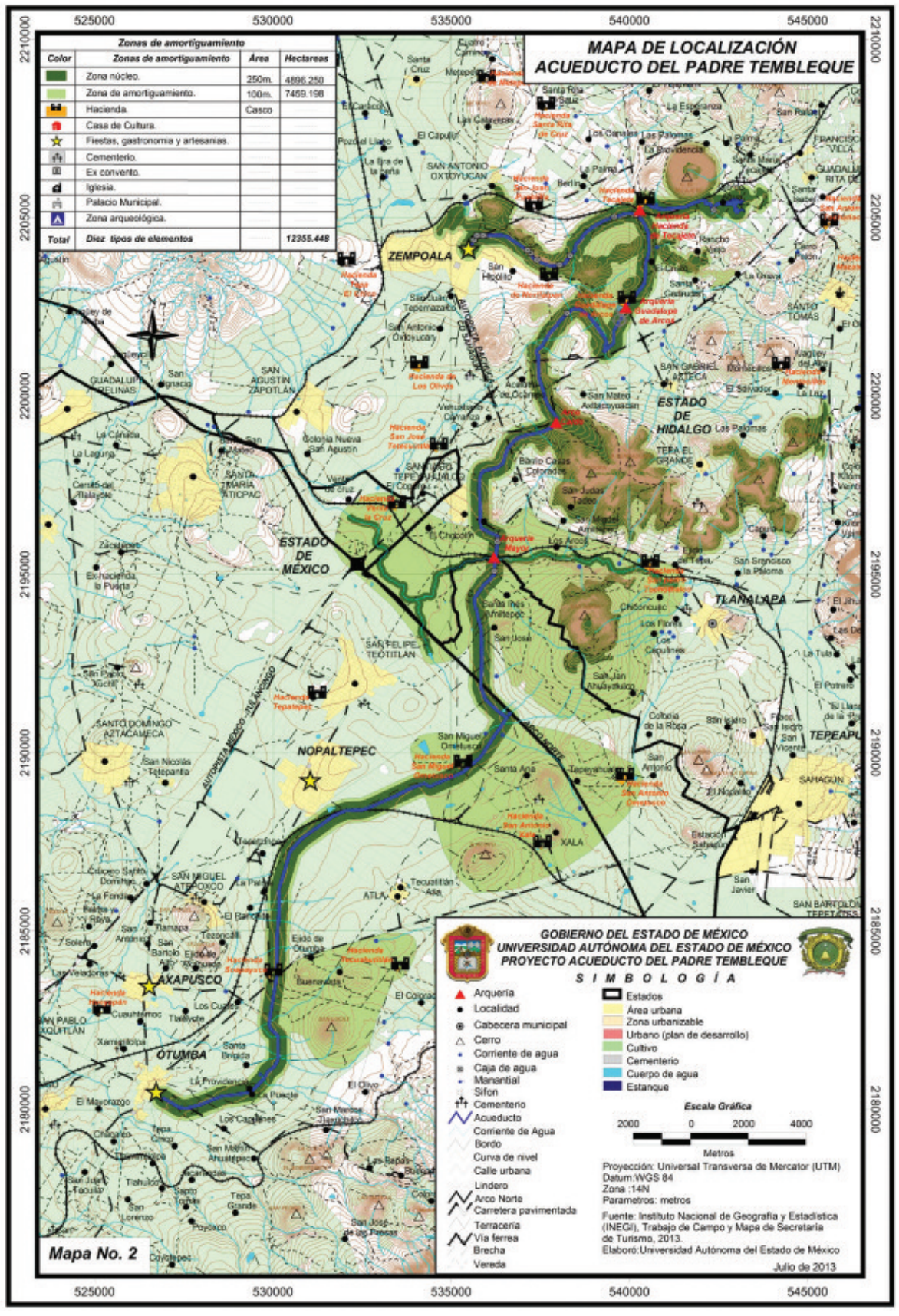
Conforme a las características y particularidades de los diferentes tipos de subzonificación planteados para su manejo, y de acuerdo con los antecedentes que se tienen sobre el desarrollo del uso y aprovechamiento, conservación y representatividad de los recursos contenidos en estas zonas, se les ha designado el nombre de Aprovechamiento de los Recursos Naturales.

Las áreas que rodean a la zona núcleo son aquellas en las que los recursos naturales aún guardan buen estado de conservación, el aprovechamiento de éstos se ha desarrollado de forma tradicional y continua, sin ocasionar alteraciones significativas en el ecosistema. La otra zona, que además debe funcionar como área de protección y amortiguamiento a la zona núcleo del sitio, permite a los pobladores locales satisfacer sus necesidades de consumo, mediante un uso controlado de recursos, por ejemplo el aprovechamiento forestal maderable y no maderable utilizado como leña y material de construcción, así como el desarrollo de actividades productivas: el ecoturismo y la observación de los recursos naturales.

En esta subzona se promoverá el manejo sustentable e integral de los recursos naturales de uso actual y potencial; se fomentará el desarrollo de actividades productivas acorde con los objetivos de manejo del área, transformando sus modos de producción o mejorándolos con base en las normas y especificaciones técnicas derivadas de las investigaciones, además se regularizarán o harán compatibles los asentamientos humanos con los objetivos de manejo y conservación del área.



Mapa 1. Localización del Acueducto del Padre Tembleque.



Mapa 2. Localización y zonas de amortiguamiento.

Paisaje de recuperación

En esta zona los ecosistemas han resultado severamente alterados o modificados por la actividad humana o por desastres naturales, y es determinante el desarrollo de actividades para su recuperación o rehabilitación; de este modo se restablecerán las condiciones originales de los ecosistemas representativos de dichos sitios; a diferencia de las otras subzonas que comprende la zona de amortiguamiento, ésta deberá ser concebida como temporal, ya que en corto, mediano o largo plazo, de acuerdo con la implementación de las medidas y acciones de restauración o rehabilitación y conservación que sean efectuadas, se podrá considerar su cambio a otro tipo de subzona.

De uso restringido

En ellas se mantendrán los procesos ecológicos clave, en particular los afluentes y sitios de escurrimientos de agua, la protección del ecosistema y generación de oportunidades para el uso racional y sustentable de los recursos naturales.

De uso público

Esta subzona está representada por aquellas áreas con atractivos naturales para la realización de actividades de recreación y esparcimiento, donde es posible mantener concentraciones de visitantes con base en los límites que se determinen en los estudios de capacidad de carga del medio ambiente.

Por último, mencionaremos que todas las actividades que realizamos de forma cotidiana están condicionadas y pueden ser modificadas por la influencia de nuestro entorno, siendo éste el medio donde nos desenvolvemos, realizamos distintas actividades tanto sociales como económicas. Además de maravillarnos, nos ofrecen espacios de esparcimiento para vacacionar y disfrutar de la vida alejada de las grandes junglas de cemento en las que vivimos cotidianamente; por eso es de vital importancia conservar y preservar las zonas geográficas puesto que ha existido siempre una relación estrecha entre el hombre y su medio ambiente.

Referencias

Bravo Vargas, G. (2010), *Acueducto del Padre Tembleque. Breve estudio de la arquería mayor*, Hidalgo, edición de autor, ISBN: 978-607-00-2157-2.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). *Diario Oficial de la Federación*, 28 de enero de 1988. Reforma: *Diario Oficial de la Federación*, 9 de enero de 2015. México.

Instituto Nacional de Geografía y Estadística (2010), *Carta topográfica e14b11, Escala1:50,000*.

Instituto Nacional de Geografía y Estadística (2010), *Carta topográfica e14b12, Escala1:50,000*.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Parte de la primera arquería del acueducto que en su recorrido pasa por el interior de la hacienda de Santa María Tecajete, Hidalgo.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Imagen que muestra la vía por donde transitaba el tren.



Edgar Valdés Santiago -*Voltiago*- (2013). Santa María Tepeyahualco, Hidalgo.



Capítulo II · Historia

Acueducto del Padre Tembleque

Jorge Olvera-García
Dolores Contreras-Chávez
José Luis Vera-Jiménez
Manuel Alfredo Garduño-Oropeza
Universidad Autónoma del Estado de México

Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Ruinas de la Capilla abierta de la Parroquia de Todos los Santos en Zempoala, Hidalgo.

> Si se conducen las aguas por canales de estructura (aqüeductos) [*sic*] [...] hágase su estructura sumamente sólida, dando al lecho por donde corre no menos de medio pie de caída en cada ciento de viaje, cubriendo el canal con bóveda para que nunca pueda el sol penetrar el agua...
>
> *Los diez libros de arquitectura*
> Vitruvio (1960)

México es un país de contrastes, en él se funden pasado y presente. Heredero de un rico pasado histórico y un vivo sincretismo cultural manifestándose de diversas maneras, en las diferentes regiones que conforman su amplia y variada extensión territorial. La exuberancia y la aridez de sus tierras; el profundo espiritualismo y religiosidad; el anhelo social y la desesperanza; la pobreza y la opulencia, todo esto se refleja en las zonas olvidadas o abandonadas en los cinturones de miseria y en los ostentosos consorcios urbanísticos. En ese México perviven de manera armoniosa costumbres, tradiciones y obras que dan cuenta del ingenio y la capacidad física, cultural e intelectual de quienes, a lo largo de los siglos, le han dado una personalidad acorde con ese pasado aún presente en muchas de sus grandes obras.

Una de esas grandes obras es el Acueducto del Padre Tembleque (majestuosa edificación arquitectónica). Este complejo hidráulico cubrió la necesidad de abastecer de agua a una zona caracterizada por la aridez y abandono.

Como bien se sabe, el agua es un elemento vital para el desarrollo humano, animal y de la biodiversidad; este líquido se encuentra en bastantes cantidades en el planeta Tierra, gracias a ella es posible la generación y el desarrollo de distintas formas de vida. En el caso particular del ser humano, el agua es vital para su supervivencia. Hoy, el hombre consume agua potabilizada, aunque en épocas anteriores la tomaba de manera directa de ríos, manantiales, pozos, presas o jagüeyes[1] (ver imágenes 1 y 3), estos últimos captadores de agua de lluvia de temporal.

La captación y provisión del agua fue (es) tan esencial que desde la fundación de un ayuntamiento por parte de los españoles, para respaldar su asentamiento en el hoy conocido estado de Veracruz, la Corona española ordenó la realización de programas en los que se veía la conveniencia de fundar o refundar poblaciones. El propósito era establecerse en zonas donde pudieran contar con el líquido vital para crear un sistema de unidades poblacionales con la finalidad de congregar a los indios y a las comunidades, así tener un mejor control sobre ellos, asegurando la mano de obra para llevar a cabo construcciones civiles, religiosas y facilitar la tarea en las minas, los trapiches de azúcar, entre otros.

Contexto histórico

Otumba,[2] durante la época prehispánica, era una pequeña jurisdicción del Valle de México con clima seco y frío. En el momento del contacto con los españoles formaba parte como estado satélite de los acolhuaque de Texcoco; las lenguas que se hablaban eran el otomí y el náhuatl (Gerhard, 1986: 214) y tenía una gran cantidad de población, mucha de ésta se hallaba dispersa en diversos lugares.

Tras la conquista española, Hernán Cortés se asignó a Otumba como encomienda, la que le fue quitada en 1528 y puesta en corregimiento en 1531 (*cfr*. Gerhard, 1986: 214). Poco después de comenzar el proceso de evangelización (1527) se abrió un convento en Concepción Otumba (Gerhard, 1986, 214), a éste llegó el padre Tembleque, quien pronto notó la necesidad de los indios por conseguir agua.

A decir de fray Gerónimo de Mendieta, fray Francisco de Tembleque (natural del pueblo de Tembleque, perteneciente a la provincia de Toledo, España y encargado del monasterio de Otumba) se dio cuenta de que este pueblo y provincia "carecía de agua, y que la de las balsas llovediza, con que en su infidelidad se sustentaron los indios, se la encenagaban [*sic*] los españoles con sus ganados y bestias, de suerte ya bebían cieno y lodo en lugar de agua, de que iban enfermando y muriendo mucha gente..." (Mendieta, 1949: 183), porque era el único lugar de donde los indios se abastecían para consumo diario, teniendo que beber agua sucia y pestilente.

Fray Francisco de Tembleque ratifica lo dicho por Mendieta en su testimonial, al expresar que antes de la construcción del acueducto la población se abastecía de tres jagüeyes, los cuales resultaron insuficientes al aumentar la población:

> Debido a la llegada de los españoles, a las congregaciones de indios en diversos y diferentes pueblos, y aún más, por la introducción de ganado mayor y menor en la zona, razones por las cuales el agua era tan mala, que los naturales enfermaban por ser la dicha agua tan dañosa o pestilencial como extraída la dicha agua que de presente se trae cesarían todas las enfermedades (Archivo General de Indias[3]/Justicia/Número 1029/Ramo 3/Exp.7/Foj.23v).

---

[1] Según el *Diccionario de Mexicanismos* de la Academia Mexicana de la Lengua, jagüey significa pozo o zanja llena de agua. Asimismo, se sabe que éstos eran importantes depósitos para el abastecimiento de agua, que recibían de los escurrimientos de los cerros cercanos, y de las lluvias de temporal; dicho almacenamiento servía para la distribución y el aprovisionamiento humano del esencial líquido, así como abrevadero para los animales que trajeron los españoles.
[2] Conocido en la época prehispánica como Otompan.
[3] En adelante AGI.

Imagen 1



José Luis Vera Jiménez (2013). Jagüey que se ubica detrás de la parroquia de Otumba.

Imagen 2



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Vista aérea de la parroquia de la Inmaculada Concepción de Otumba.

Imagen 3



En 1589 Gabriel de Chávez realiza el mapa de Zempoala, San Miguel y Suchinguan, en él se muestran las imágenes de los animales que fueron introducidos por los españoles (mulas, caballos y vacas) y cuya introducción vino en prejuicio de los indios de Otumba, Estado de México y Zempoala, Hidalgo, así como de los pueblos aledaños. Estos animales contaminaban sus jagüeyes (imágenes que se ven en la parte inferior izquierda del mapa), sus únicos captadores y suministros de agua que utilizaban para consumo personal, razón por la cual enfermaban y en el peor de los casos morían. Fuente: Archivo General de la Nación (AGN)/Tierras/Vol. 3331/Exp. 5/Fo; 11v y 12.

Fray Jacobo de Tastera (comisario franciscano en Indias) al observar la gran necesidad de no contar con agua para consumo humano, sugiere que "los indios hagan el acueducto, pues Otumba no tiene más aguas que la de la lluvia almacenada en charcos hediondos, y si no se hace el acueducto el pueblo no se podría conservar" (AGI/Justicia/Número 1029/Ramo 3/Exp.7/Foj. 2).

Ante la recomendación de fray Jacobo de Tastera, y viendo que la construcción del acueducto, aunque necesaria, iba a tener un costo muy alto, según el visitador Valderrama, la obra tendría un costo superior a los 90 000 pesos sin incluir salario alguno (Sarabia, 1978: 449), el virrey don Luis de Velasco disminuyó a 50 indios el repartimiento forzoso y eximió de tributos durante tres años, a partir de 1554, a los indígenas de Otumba (Sarabia, 1978: 449); de igual manera:

> … se dio orden a los oficiales reales de que sólo cobren el salario del teniente y corregidor de Otumba, que son más de quinientos pesos en cada un año, durante tres años a partir del tres de enero de 1544, para el gobernador (…). De este pueblo pueda gastar el resto del tributo en la obra del acueducto, de acuerdo con la real cédula hecha en Valladolid el 4 de abril de 1542 (AGI/Justicia/Número 1029/Ramo 3/Exp.7/Foj. 2).

De este modo, inquieto por el daño que les ocasionaba a los indios esta situación, el padre Tembleque "hizo varios recorridos por la zona con el afán de medir el terreno y escoger los 'pasos más practicables' para traer agua a esta zona" (AGI/Justicia/Número 1029/Ramo 3/Exp.7/Foj. 74v.).

Aunque por mandamiento del virrey de Nueva España, don Luis de Velasco,[4] se acordó que quien debía dictar el recorrido a seguir en el acueducto era Juan Correa de Agüero, quien sería el maestro de cantería arquitecto de la obra (AGI/Justicia/Número 1029/Ramo 3/Foj. 2). Sin lugar a dudas, significaba un enorme reto topográfico que empezó a vencer al mencionado arquitecto al realizar vistas de "ojos" (recorridos a pie), con la finalidad de ver cuáles eran los pasos más apropiados a seguir. Y aunque no se sabe con exactitud cómo se trazó el acueducto, se puede inferir que conocía las antiguas indicaciones de Vitruvio, en especial la que recomienda que la conducción del agua debe satisfacer la relación de pendiente de "medio pie de caída en cada ciento de viage [*sic*]" (Vitruvius, 1960), lo cual implica una inclinación de sólo 0.5%; relación suficiente, si se toma en cuenta la rugosidad del caño.

De igual manera en el mandamiento de fecha de 2 de septiembre de 1553 se da licencia a los pobladores de Otumba para traer agua de unas fuentes que se encontraban en el pueblo de Achichilacachuca (ver imagen 4), justo en las faldas del cerro del Tecajete, hasta Otumba y el trayecto del acueducto debía pasar "por las partes e lugares que dexo [*sic*] señaladas e declaradas Joan Zarza (Correa) de Agüero maestre de cantería persona que fue por mi mandado a pesar la dicha agua y a ver por donde se había de traer" (AGI/Justicia/Número 1029/Ramo 3/Exp.7/Foj. 2).

Concierto, materiales y costo de la obra

Traer el agua de un lugar distinto de la jurisdicción de Otumba representaba quitársela a otra provincia; en consecuencia, su uso y distribución se volvió un conflicto, tanto entre españoles e indios como entre las mismas poblaciones nativas (específicamente Zempoala y Otumba). Éste fue uno de los principales problemas que debía enfrentar y resolver el pueblo, razón que motivó a realizar un concierto entre los de Zempoala, Tlaquilpa y Otumba; la finalidad era establecer el precio y las condiciones bajo las cuales se le vendería el agua a Otumba, de este modo los de Zempoala y Tlaquilpa al tenor dicen:

> … de nuestro grado libre e agradable voluntad siempre ni fuerza ni otro inducimiento, ni constreñimiento alguno que vendemos a vos el consejo e universidad del pueblo de Otumba para vos e para nuestros herederos e sucesores presentes e por venir conviene saber la mitad del agua de las fuentes que están entre la estancia de Tlacaytitlan sujetos del dicho pueblo de Zacuala y entre el dicho pueblo de Zacuala junto a la estancia de Francisco de Santa Cruz, encomendero del dicho pueblo de Zacuala, que se llama Tlacayatl e toda la demás agua que de las dichas fuentes se pudieran juntar la cual se ha de traer de las dichas fuentes e juntar en un asiento de unas piedras que se llaman amaxatetl en el cual dicho asiento de amaxatetl se ha de hacer una caja de agua donde se recoja el agua de las dichas fuentes e todas las demás que pidiera traer la cual dicha mitad del agua vos vendemos por precio e cantidad de veinte pesos de oro común de lo que corre a ocho reales de plata cada un peso, en cada un año para siempre jamás (AGI/Justicia/Número 1029/Ramo 3/Exp.7/Fs. 6v-7).

De igual manera, en este concierto Zempoala y Tlaquilpa dijeron que era su voluntad ayudar a los de Otumba a llevar el agua hasta la caja que repartiría la mitad del agua para los de Otumba, Zempoala y Tlaquilpa (ver imagen 5):

> Primeramente condición que para traer la dicha agua del nacimiento de ella hasta la dicha caja donde se ha de venir a juntar para ser repartida, nos el consejo y universidad de Tlaquilpa e nos el dicho consejo e universidad de Zempoala hemos de ayudar cada uno de nos al dicho pueblo de Otumba y sacar la dicha agua de las dichas fuentes o traerla por la mejor manera que pudiéremos hasta el dicho lugar de la dicha caja en donde se ha de repartir cada uno de nos los dichos pueblos con la gente que pudiere conforme a nuestra posibilidad siempre para ello vos el dicho pueblo de Otumba consejo y universidad no seáis obligado a vos dar e pagar cosa alguna si no que sea a nuestra propia costa e comisión de cada uno de nos los dichos pueblos e nos obligamos de la ayudar realmente e con efecto de acudir con la gente que pudiera conforme la cantidad de cada una de los dichos pueblos e no le dejaremos de ayudar hasta que la dicha caja se acabe y el agua venga a esta para poderse dividir en la dicha caja (AGI/Justicia/Número 1029/Ramo 3/Exp.7/Foj. 8).

[4] El mandamiento está fechado el 2 de septiembre de 1553.

Imagen 4



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Vista actual de una de las fuentes que nutrieron el Acueducto del Padre Tembleque.

Imagen 5



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Caja de agua que cumplió con la función de repartir agua a los de Zempoala, Tlaquilpa, Zacuala y Otumba.

Imagen 6



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Vista norte-sur de la Arquería Mayor, Santa María Tepeyahualco, Hidalgo.

Después de concluir con la construcción de la caja de agua, la cual repartiría el líquido a los pueblos que participaron en el convenio, fray Francisco de Tembleque y los indios de Otumba continuaron con la construcción del acueducto, que llevaría el agua hasta su destino final:

> [...] el dicho caño ha de correr nueve leguas [...] y han de traer la dicha agua por una calzada de cal y canto de dos brazas en mucho con sus varas de ladrillo y en muchas partes se han de romper cerros y peñas y en otras la dicha calzada ha de ir muy alta en la tierra en lo cual han de gastar gran cantidad de piedra, arena y ladrillo, que todo lo han de traer de lugares apartados de la obra cuatro o cinco o seis leguas que por lo menos gastaran en la obra más de treinta mil pesos (AGI/Justicia/Número 1029/Ramo 3/Exp.7/Foj. 2v).

Como podemos ver, fueron varias las dificultades que debieron enfrentar los de Otumba; por un lado, buscar el lugar de donde traerían el agua y llegar a un acuerdo para su compra; en segundo plano, vencer los enormes retos topográficos y, por último, el alto costo económico.

Por su parte, los franciscanos del pueblo de Otumba se comprometieron a proporcionarles frailes a los de Zempoala a cambio del agua. También se previó que llevada el agua a Zempoala hubiera dos puntos de distribución, el primero repartiría agua a la pila que se ubicó justo en el centro de la plaza del *tianguis* (mercado en lengua náhuatl).

La construcción de la fuente que se ubicó en el centro de la plaza[5] hizo:

> [...] de la manera mejor e más fuerte que se pudiere hacer, la cual ha de tener tres caños, que cada uno de ellos vierta a la parte de cada uno de los dichos tres pueblos [...] ha de ayudar para la costa de la dicha llevada desde la dicha caja hasta el dicho lugar donde se ha de juntar, e todos los materiales que se gastaren e gente y otro cualquier gasto ha de ser por iguales partes, tanto el uno como el otro (AGI/Justicia/Número 1029/Ramo 3/Exp.7/Foj. 10).

Y el segundo punto abastecería a los aljibes del monasterio que estaba en construcción (Monasterio de Todos los Santos).

Saldado este concierto había que descifrar otro de los retos que presentaba el proyecto, consistente en establecer la distancia y el desnivel que había entre los manantiales del Tecajete y Otumba –destino final del acueducto–; información necesaria para saber cómo fluiría el agua a través de las cañerías y tener certeza de que el acueducto fuera funcional.

Al respecto, y de acuerdo con Juan Zarza (Correa) de Agüero, el trayecto y recorrido que debía seguir el acueducto debía ser el siguiente "desde Achichilacachuca hasta Otumba tendría de caída 95 brazas "que son 691 pies" (por otro lado dice 661 pies), y de distancia 19,385 brazas "que verna [*sic*] a ser 135,695 pies, de modo que llegara el agua muy descansada para poderla repartir en los lugares necesarios la cual sería de seis palmos en cuadra" (Gerhard, 1992: 127).

Así, una vez salvados los primeros escollos, gracias a la colosal labor arquitectónica emprendida se logró al fin establecer el cauce del acueducto, el cual, como ya se dijo, iniciaba justo en los manantiales que se localizan en las faldas (justo al noreste) del cerro del Tecajete, estado de Hidalgo, y termina en Otumba, Estado de México.

Construcción del acueducto

La construcción del Acueducto del Padre Tembleque se convierte en la obra hidráulica más significativa del periodo virreinal de la Nueva España. Según fuentes del Archivo General de Indias, el acueducto empezó a ser construido a finales de febrero de 1555 (AGI/Justicia/Número 1029/Ramo 3/Exp.7/Foj.21), aunque se sabe que cinco o seis meses antes (es decir, en agosto o septiembre de 1544) comenzó la recolección de los materiales. Si consideramos lo señalado por Torquemada y Vetancourt, quienes mencionan que la construcción de la obra duró 17 años, se puede concluir que terminó en 1572.

La obra comenzó a edificarse a finales de febrero de 1555, estuvo al mando de fray Francisco de Tembleque, quien realizaba la tarea de organizar a más de cuatrocientos indios. Fray Juan de Romanones, compañero y amigo de Tembleque, coincide al mencionar que hay cuatrocientos hombres cada día, más o menos, además manifiesta la división de las tareas en la construcción: "unos traen la cal, otras personas el de traer la dicha agua... otros traen piedra y otros arena e tezontle e otros traer la dicha agua [...] otros abriendo las zanjas por donde se hace argamasa para traer la dicha agua e otros caminando e nivelando por donde ha de venir la dicha agua" (AGI/Justicia/Número 1029/Ramo 3/Exp.7/Foj. 22).

Sin embargo, Ximón Sánchez (indio natural principal del dicho pueblo de Ostotiquipaquetongo) menciona más de quinientas personas en la obra: "ordinariamente andan 500 o 600 indios en todo el dicho tiempo que se comenzó la dicha obra hasta el día de hoy [...] para hacer el caño por donde ha de venir la dicha agua" (AGI/Justicia/Número 1029/Ramo 3/Exp.7/Fs. 53V-54).

Así, el Acueducto del Padre Tembleque tiene su origen en los manantiales que se localizan en las faldas (justo al noreste) del cerro del Tecajete (estado de Hidalgo) y termina en Otumba (Estado de México), en un trayecto que recorre 48 064.606 metros de longitud. La mayor parte de la construcción y trayecto de este sistema hidráulico tiene, en su mayor longitud, un canal o "apantle" en forma de un caño rectangular de 36 cm de ancho y 20 cm de altura con una cubierta de lajas cementadas como techo de dos aguas de 1.4 metros de ancho.

En la actualidad, sólo son visibles algunos fragmentos de lo que fuera tan majestuosa obra hidráulica del periodo novohispano. Cuenta con seis arquerías, las cuales fueron hechas con la finalidad de salvar accidentes topográficos encontrados a lo largo del complejo hidráulico, éstas son de diferentes proporciones y alturas. La arquería de Tecajete posee 54 arcos en una extensión total de 373.44 y una elevación de 7.43 metros; la de Guadalupe Arcos tiene 14 arcos, en ésta se desarrolló un sifón de 167.99 metros, elevándose aproximadamente 8 metros desde el lecho de la presa; el Arco Quebrado, el cual sólo tiene un arco; la arquería de Tepeyahualco tiene una longitud de 1 020 metros con una altura máxima de 39.65; el de San Pedro presenta un sencillo arco bajo y la de San Marcos, un modesto arco y dos puentes de viguería laterales.

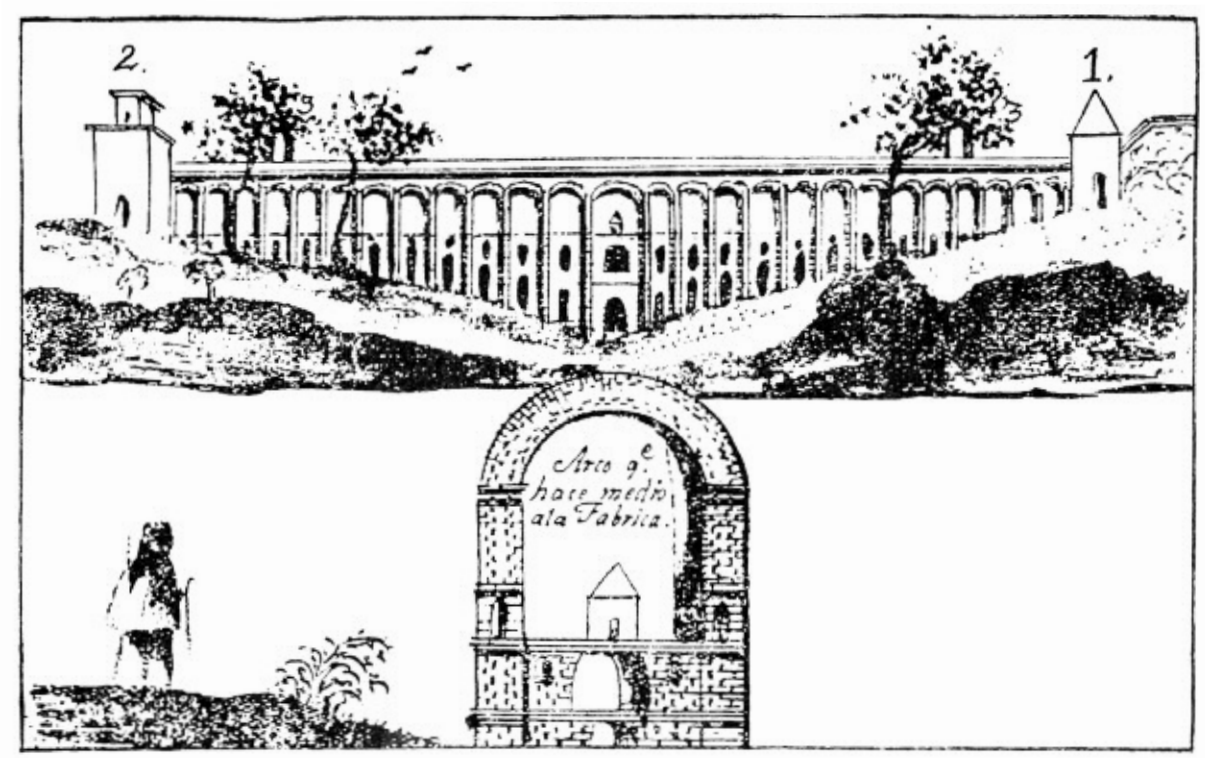
---

[5] Consultar el mapa de Zempoala ubicado en la Benson Latin American Collection, de la Universidad de Austin. Texas: http: //www. lib.utexas.edu/benson/rg/rg_images3.html



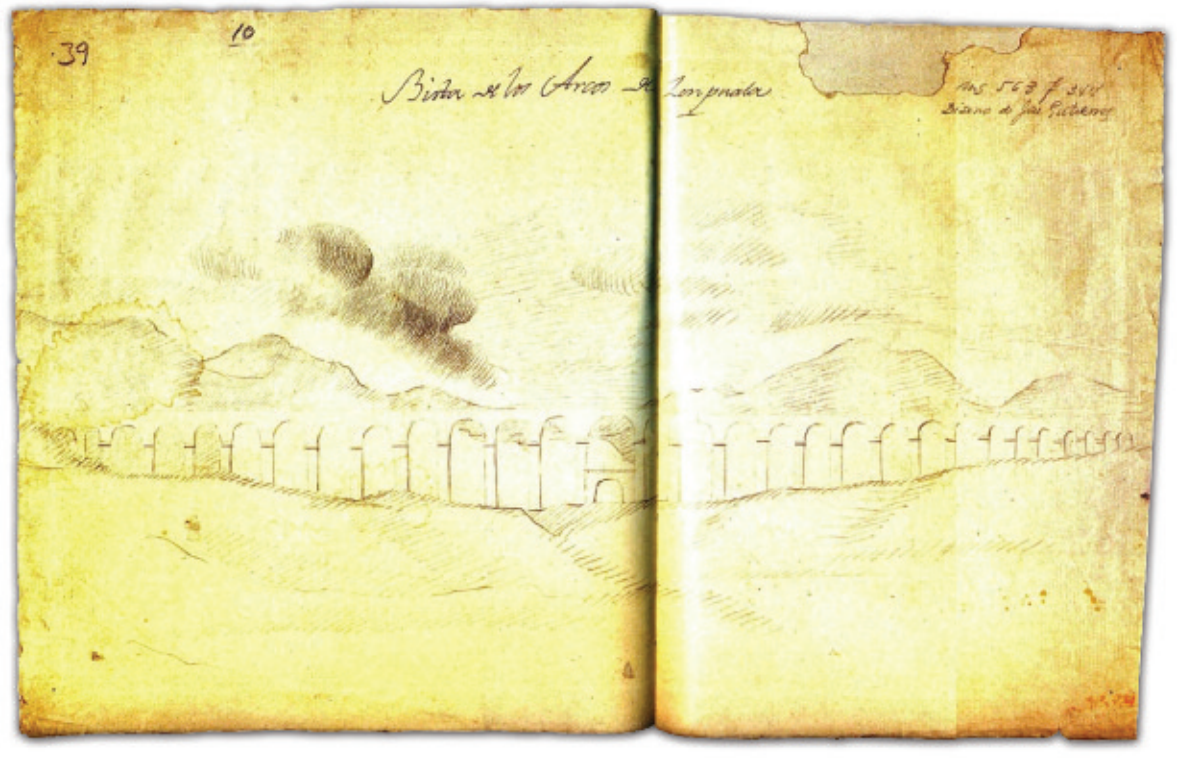
Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Aljibe del Monasterio de Todos los Santos.

Imagen 7



Dibujo realizado por el padre Ajofrín (Diario de viaje que por orden de la Sagrada Congregación de Propaganda se hizo a la América septentrional en el siglo XVIII), en él nos muestra la Arquería Mayor de Santiago Tepeyahualco. En esta imagen aún se ve la permanencia de la cimbra que utilizaron los indios para la construcción de los esbeltos y altos arcos. El original se encuentra en la Real Academia de Historia en Madrid, España. Fuente: tomada de González, 1992: 218.

Imagen 8



Dibujo de los arcos de Zempoala; localizado en el Museo Naval de Madrid, España, realizado por José Gutiérrez, 1791. Fuente: tomada de González, 1992: 218.

La construcción del acueducto cumplió su cometido: llevar agua al pueblo de Otumba y al mismo tiempo benefició no sólo a los indios de este lugar, sino que según Tembleque:

> [...] además de la utilidad e provecho que viene a los naturales del dicho pueblo e provincia de Otumba, también se benefició a los demás naturales de otras partes, términos e pueblos, en todas las partes e lugares por donde dicha agua pasa e viene, reciben provecho e utilidad porque se les da en cercas y pilas abiertas de agua e lo mismo en los caminos reales para que de ella puedan asimismo gozar los pasajeros e otras personas que por ellos pasaran (AGI/Justicia/Número 1029/Ramo 3/Exp.7/Foj. 1).

Asimismo, "fue una condición que después de proveído cada uno de los dichos pueblos de agua que hubiere menester conforme a la dicha división el remaniente (*sic*) la puedan aprovechar en sus tierras y regadíos de consentimiento de todos en lo cual al presente somos concertados de así lo hacer e gozar del dicho remaniente [*sic*]" (AGI/Justicia/Número 1029/Ramo 3/Exp.7/Foj. 11V).

Además, el acueducto contribuyó a modificar el espacio regional, pues obligó a los pobladores a congregarse en determinados lugares con el fin de tener un mejor control de ellos y asegurar la mano de obra, esto modificó el panorama político, económico y social de la región. El virrey declara: "se poblaran mucho por las partes por donde a (*sic*) de venir el agua" (AGI/Justicia/Número 1029/Ramo 3/Exp.7/Foj. 93), de hecho, Zacuala, estancia de Axapusco, se trasladó al manantial del Tecajete en 1550 para que sus habitantes protegieran el manantial de la contaminación provocada por el ganado (Gerhard, 1992: 211). Hoy se puede ver la línea de las poblaciones, haciendas, pueblos o aldeas instaladas a su paso; al respecto, Pether Gerhard señala que la mayor parte de la tierra de Zempoala "fue adquirida por haciendas de ganado y de pulque a fines del siglo XVI y durante el XVII" (Gerhard, 1992: 211).

Como podemos ver, el carácter excepcional del Acueducto del Padre Tembleque, desde la perspectiva histórica, radica en varios puntos. En primer lugar, el hecho de ser un símbolo universal del Estado de México e Hidalgo; pieza incomparable de la ingeniería: el Acueducto del Padre Tembleque nos contempla y al mismo tiempo lo admiramos a través de sus cuatrocientos cincuenta y ocho años de historia. Es una obra que cambia de cara mediante múltiples perspectivas.

Asimismo, el conocimiento ancestral en la conducción del agua, para satisfacer esta necesidad primaria, tiene un valor agregado, pues al establecerse los nativos en zonas lacustres debieron idear y enfrentar un enorme reto para alcanzar su desarrollo en torno al aprovechamiento del agua, ejemplo de ello son algunas obras hidráulicas prehispánicas: canales, diques, acueductos y sus complejos sistemas de riego.

Así, resultó de vital importancia la fusión de técnicas constructivas (indias y españolas). Imaginemos la destreza de los indios para realizar la construcción de la obra en su parte más alta utilizando una cimbra de adobe y el excelente manejo de los materiales propios de la zona como la argamasa (empleada para unir las piedras), compuesta por baba de nopal, miel de abeja, cal y arena que sacaban del tezontle, todos estos elementos contribuyeron a que este colosal acueducto se mantenga firme en sus partes más portentosas, a pesar del paso del tiempo y de la mano agreste del hombre.

Así, la tecnología aplicada se puede ver reflejada en el momento en el cual se tuvo que salvar una barranca, esto significaba un verdadero reto por la altura a vencer; fueron tan osados que rompieron con las reglas de altura de estas construcciones, logrando hacer arcos muy altos; por ejemplo, el arco principal de la Arquería Mayor mide 39.65 metros de alto y resulta más interesante al observar que no utilizaron arquería superpuesta para superar el problema de la altura con doble o hasta triple arquería como lo hacían en Occidente.

Al comparar el Acueducto del Padre Tembleque con otros construidos en Europa y México, podemos llegar a la conclusión de que el primero es incomparable, debido a la esbeltez de sus soportes, los cuales junto con su sencillez y el perfecto equilibrio de pilares y contrafuertes resulta poco común, pues la mayoría de los complejos hidráulicos similares se constituyen a partir de gruesas columnas.

Es de suma importancia dar a conocer este sistema hidráulico construido durante el periodo virreinal, esto posibilitará su conservación como obra patrimonial, debido a que fue inscrita como Patrimonio Cultural de la Humanidad ante la UNESCO.

Referencias

Academia Mexicana de la Lengua (2010), *Diccionario de mexicanismos*, México, Siglo XXI.

Archivo General de Indias (AGI)/Justicia/Número 1029/Ramo 3/Exp.7. Información hecha por don Luis de Velasco, virrey de Nueva España, sobre la cantidad de agua que se llevaba al pueblo de Otumba. 1562.

Archivo General de la Nación (AGN)/Tierras/Vol.3331/Exp.5/fo 11v y 12.

Archivo General de la Nación (AGN)/Tierras/Vol. 3331/Exp. 5/Fo; 11v y 12.

González Tascón, Ignacio (1992), *Ingeniería Española en ultramar, siglos XVI y XIX*, 2 vol., Madrid, Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas.

Gerhard, Pheter (1986), *Geografía histórica de la Nueva España 1519-1821*, México, Universidad Nacional Autónoma de México.

Gerhard, Pheter (1992), *Síntesis e índice de mandamientos virreinales 1548-1553*, México, Universidad Nacional Autónoma de México.

Mendieta, Fray Gerónimo (1949), *Vidas franciscanas*, México, Imprenta Universitaria.

Sarabia, Justina (1978), *Don Luis de Velasco, virrey de Nueva España 1550-1564*. Sevilla. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Vitruvius Pollio, Marcus (1960), *The ten books of architecture,* Nueva York, Dover.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Vista aérea de la Arquería Mayor del Acueducto del Padre Tembleque.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Arquería Mayor situada entre los estados de México e Hidalgo.





Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Detalle de la parte central de la Arquería Mayor.



Capítulo III · Arquitectura y conservación

Juan Arturo Ocaña-Ponce
Marcos Mejía-López
Elda Gómez-Rogel
Universidad Autónoma del Estado de México

Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Detalle de las altas y esbeltas columnas de la Arquería Mayor.

El sistema del Acueducto del Padre Tembleque está constituido por cuatro conjuntos de arquerías; tres de ellas en el estado de Hidalgo, la de mayor dimensión colinda con el Estado de México.*

Geometría

Las arquerías de los acueductos: originalidad y autenticidad

Las cuatro secciones donde se encuentran las arquerías del acueducto presentan diversas proporciones y mediciones, pero tienen una cierta homogeneidad, ya que su naturaleza de arcos básicos de medio punto llega a la mínima básica expresión formal, pues los constructores locales de ese tiempo adoptaban la arquería de medio punto, tanto a nivel proyectual como edificativo, de manera incipiente.

Se puede decir que este acueducto es uno de los primeros sistemas arco-acueducto, no sólo de la Nueva España sino de todo el Continente Americano; además de que tecnológicamente presenta la transición de un grupo de alarifes, quienes pasaron de construir pirámides de una cultura neolítica al movimiento del Renacimiento Arquitectónico, quizá en esto radica su importancia y autenticidad. Antes de estos elementos arquitectónicos, no existe evidencia alguna de formas similares en todo el continente.

La generación de esta forma de arco-acueducto en la Nueva España se da a partir de la tradición romana, pasando por la tecnología española y la mano de obra indígena; con ello se formó un diseño híbrido, al que se le han adosado, en el transcurso de su edificación, hallazgos arqueológicos o inscripciones de los grupos de los canteros que participaron en su momento. Además, hay que tomar en consideración la herencia medieval de las formas de sus arquerías; situación de originalidad única, si se observan los arcos de tratados como el de Villard de Honnecourt, escrito durante la Edad Media.

Las hipotéticas bases del conocimiento de las arquerías del acueducto Tembleque

El trazo y geometría de las arquerías, en lo general, presenta cierta semejanza con los dibujos que aparecen en el tratado de Sebastiano Serlio Boloñés (1475-1554), publicado en Italia (1537). La publicación española fue realizada en la ciudad de Toledo, vecina a la población de Tembleque, en el año de 1552. La novedad de este tratado fue la adición a sus textos de arquitectura, de un número importante de ilustraciones; las cuales ayudaron en buena medida a los constructores de su tiempo a tomar ideas de los estudios de arquitectura histórica, mediciones y tecnologías constructivas que presenta Serlio de las antigüedades romanas, aplicadas más tarde en acueductos y otras edificaciones en Europa y Nueva España (véase Serlio, 1978).

En el libro Cuarto, Serlio ilustra y describe lo que, a su entender, son las arquerías más apropiadas para la construcción de acueductos: la leyenda de la imagen 1 descrita en castellano antiguo dice lo siguiente:

> Esta manera de arcos además de ser fortísima por la concordancia e igualdad de las trabazones, es ingeniosísima y muy agradable a los ojos; la cual invención no sólo podría servir a algunos corredores o soportales de templos o casas que se llaman pórticos o zaguanes, más también podrían servir para puentes sobre ríos, o de edificios, y también para que unos sobre otros pudiesen pasar aguas o fuentes de un gran cerro a otro sobre ellos. Sería también muy a propósito para un acueducto o encañamiento de agua en un largo camino. La proporción que han de tener es, que cuanto hay de hueco de un pilar a otro, tanto tenga de alto hasta la saja que divide el pilar y el arco: la cual saja terna de ancho la séptima parte que tuviere de ancho la abertura del arco de pilar a pilar: y de ella abajo se reparta en seis hiladas de sillares iguales: y el arco también se partirá en nueve partes y un cuarto, porque el bolsor de en medio sea mayor que los otros la cuarta parte. De las ligaduras y trabazones, con el compás en la mano, en esta figura se hallará la razón de todo.

La obra que nos ocupa data su inicio en el año de 1555, cuando fray Francisco Tembleque, al frente de varios albañiles indígenas y junto con el maestro en cantería Juan Correa Agüero (AA.VV, 2010: 41), se da a la tarea de la construcción de esta magnífica obra de arquitectura e ingeniería hidráulica.

Trazo, materiales y construcción

Sobre el terreno, una vez planeado el trayecto que debería llevar el agua desde los manantiales del Tecajete a Otumba, se tomaron los conocimientos del Tratado de arquitectura de Vitruvio, el cual menciona como aparato básico de trazo de los acueductos el corobate. Hipotéticamente se tuvo que utilizar un instrumento similar al de la imagen 2 que aparece en el libro de Marco Vitruvio Pollión, publicado en Alcalá de Henares por Juan Gracián en el siglo XVI.

* Se agradece la colaboración de Michelle Muñoz-Saldívar, Alejandro Espinoza-Mendoza y Araceli Galeana-Estrada.

Imagen 1

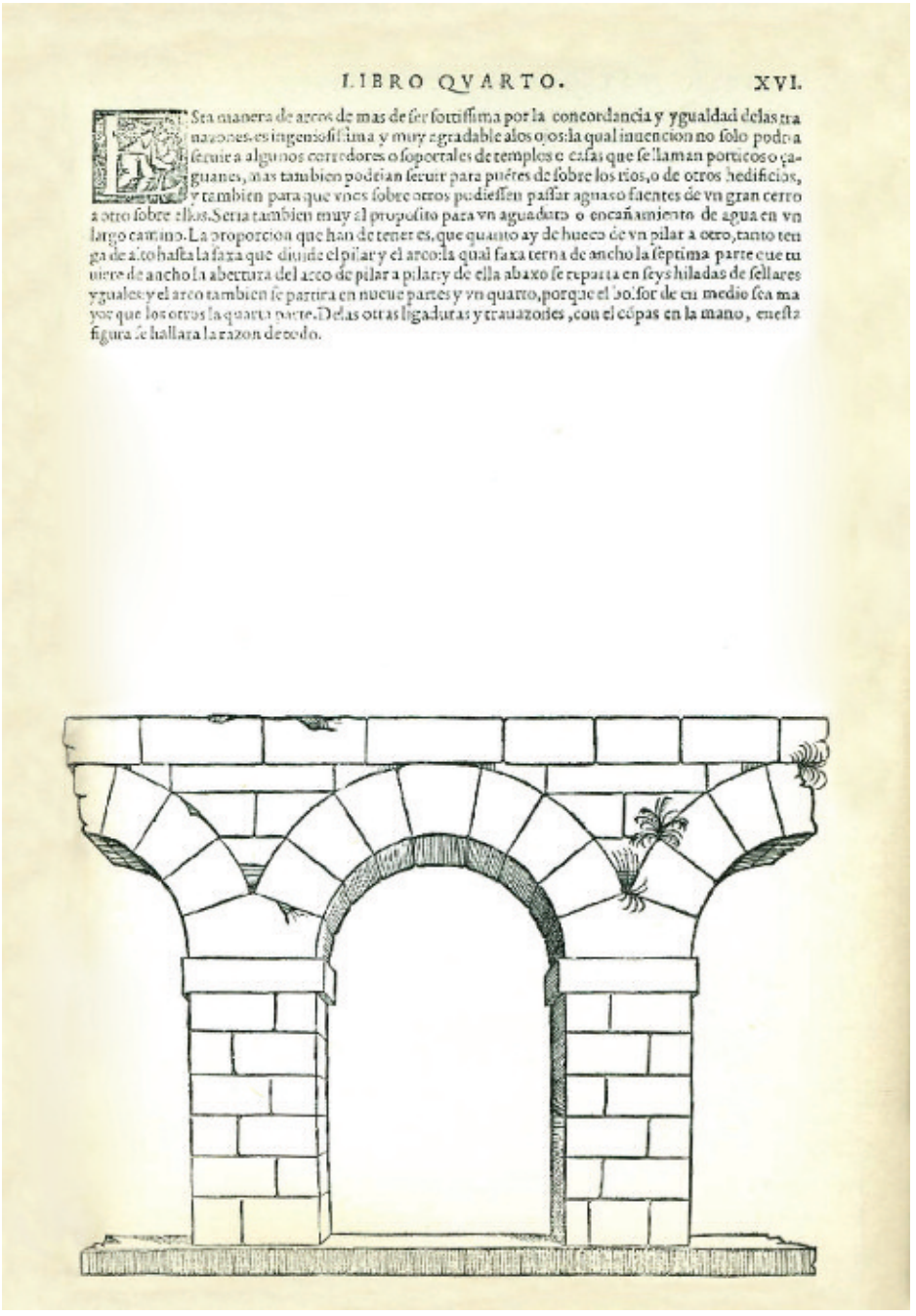


Ilustración del Tratado de Serlio, del siglo XVI, donde se ejemplifica la forma ideal para la construcción de los arcos para acueductos, extraído de las antigüedades romanas. Serlio 1978, Sebastiano Libro IV, Toledo 1552. Libro impreso con anterioridad en Italia en el año de 1537. Fuente: tomado de Serlio, 1978.

Imagen 2

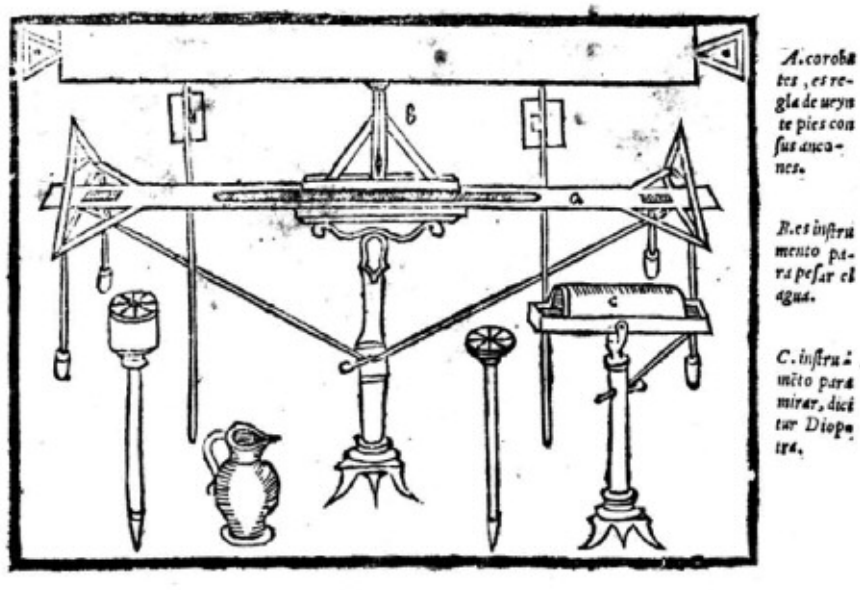


Ilustración de un corobate del Tratado de Vitruvio, utilizado para guía y medidas de agua. Dibujo del siglo XVI. De la publicación de Juan Gracián en Alcalá de Henares en España. Fuente: Vitruvius, 1960.

Imagen 3



Ilustración de la búsqueda del agua en una cierta región, con el fin de encausarla a través de una topografía condicionada. Imagen del Tratado de Vitruvio publicada en el siglo XVI por Juan Gracián en Alcalá de Henares, España. Fuente: Vitruvius, 1960.

Aunque en un principio, como recomendaba Vitruvio, antes de la utilización del corobate se tendría que hacer un análisis del terreno, investigando las condiciones topográficas y naturales del lugar, a través de la observación directa del sitio de los manantiales y en donde se pretendía llevar el agua.

En el desarrollo del acueducto Tembleque, aparte de adoptar y repetir la forma obsesiva del arco, también se traía como novedad tecnológica la adaptación de los sistemas de estereotomía y trabazón de la piedra, con elementos repetitivos y a gran escala.

De forma material se pueden observar en las arquerías más piedra de tezontle, y en menor cantidad piedra de basalto. Esto se manifiesta sobre todo en la arquería mayor, donde la esbeltez de los arcos es muy arriesgada para su época, dado que estas estructuras funcionan por gravedad; sin embargo, es razonada su elección de diseño al colocar la piedra basáltica en las partes estructurales de carga y máximo esfuerzo como en cimientos, basamentos y sitios estratégicos de las arcaduras; y la piedra de tezontle donde sólo se requiere que el material ocupe espacio, conforme al diseño técnico. Arquitectura e ingeniería demasiado racional para su tiempo. También es necesario mencionar el sistema de contrafuertes a manera de retranqueo, que aparece en los soportes de los basamentos de las columnas, reforzando la esbeltez geométrica.

Además, es necesario decir que aunque Robina Valdés menciona la utilización de la cimbra de adobe en la construcción de las arcadas, la perfección de muchos de sus tramos hace pensar en la utilización de cimbras de madera, sobre todo en la construcción de los arcos de medio punto, para que su geometría, trazo y acomodo de los materiales fuera el más adecuado, incluso tuviera la permanencia del material a través de casi cinco siglos, que todavía se puede observar. No obstante, el adobe, como cimbra, se pudo utilizar en las partes rectas de las columnas, como aún se puede apreciar en la Arquería Mayor (Valdés, 1979: 166).

Composición y estilo

Ahora bien, la forma de composición de las arquerías sigue el trazo europeo, aunque conviene recordar que en el periodo prehispánico también existían acueductos de bastantes cientos de metros, como los que se muestran en los hallazgos arqueológicos aztecas y mayas; no obstante, se adoptaron las formas venidas de ultramar con estilos romanos, medievales y renacentistas.

El conjunto de Arquería de Guadalupe Arcos es muy similar en estilo y forma a la imagen 4. Por otra parte, las arquerías de la imagen 5 se asemejan formalmente a las del espacio de los arcos monumentales de Tepeyahualco, por su esbeltez, racionalidad y además la coincidencia de formas topográficas.

El estilo de los conjuntos de arcos no tuvo una alta prioridad para los constructores, más bien lo que les interesó fue una obra bien construida, sólida y duradera, conforme a los principios de otro tratadista importante: León Batista Alberti, quien también tuvo mucha influencia durante buena parte del virreinato en México.

Aunque el estilo de las arquerías se puede considerar como rústico, por la apariencia rugosa de sus piedras, no fue una obra de acabado fino y tendencia o fijación hacia un estilo en especial. Rústico, denominado por Serlio en el transcurso de su estudio de antigüedades romanas, de su *Tratado de Arquitectura*.

Descripción dimensional de los espacios

Los conjuntos de arquerías y mediciones físicas actuales

La longitud total del acueducto, desde los manantiales hasta Otumba, se estima en poco más de cuarenta kilómetros.

Las pendientes de bajada del agua, desde los manantiales hacia Zempoala, son perfectamente aceptables desde la ingeniería hidráulica, y funcionaron de forma continua con la ayuda técnica de cajas de agua y sifones de la época, llevando el agua hasta su destino.

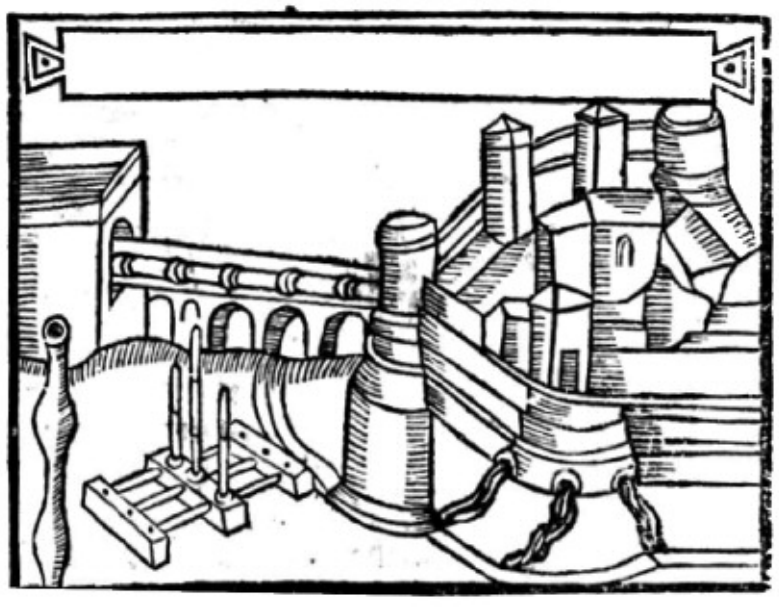
Las pendientes de bajada del agua desde la bifurcación de la arquería de Tecajete hacia Otumba es del orden de 0.2%.

Como se ha mencionado, los tres primeros conjuntos de arquerías se localizan en el estado de Hidalgo, y sólo los de mayor longitud se comparten con el Estado de México,[1] los conjuntos presentan las condiciones y mediciones siguientes:

1. Los Arcos del Acueducto de la Hacienda de Tecajete, antes Hacienda de Santa Inés Amiltepec
   - Comprenden 59 arcos de medio punto.
   - El arco de mayor altura sobre el terreno natural hasta la clave tiene 5.97 metros; la altura total del acueducto a partir del terreno natural hasta la punta de la cañería es de 7.40 metros.
   - Su longitud es de 359.85 metros, iniciando desde la caja de agua que se encuentra fuera de la hacienda hasta poco más de la última arcada.
2. El puente Caído (Arquito Caído).
   - Sólo se encuentra un arco de gran formato de medio punto, éste fue totalmente reconstruido y durante su intervención se le dio una apariencia de arco en forma de herradura a la manera nazarí.
   - Su altura mayor sobre el nivel del terreno hasta la punta de la cañería es de 9.57 metros.

[1] Anexo a este capítulo se muestran los planos arquitectónicos de las arquerías del complejo hidráulico Acueducto del Padre Tembleque.

Imagen 4



Tipología de acueductos del Tratado de Vitruvio. Ilustraciones de la publicación de Juan Gracián en Alcalá de Henares en el siglo XVI en España. Fuente: Vitruvius, 1960.

Imagen 5



Tipología de acueductos del Tratado de Vitruvio. Ilustraciones de la publicación de Juan Gracián en Alcalá de Henares en el siglo XVI en España. Fuente: Vitruvius, 1960.

Imagen 6



Nadia García Espino (2013). Uno de los tantos glifos localizados en los arcos del Acueducto del Padre Tembleque.

Imagen 7



Nadia García Espino (2013). Glifo localizado en la Arquería Mayor.

- La altura interior del arco es de 7.50 metros, desde el nivel del terreno hasta su clave.
- La longitud máxima es de 14.55 metros y va de inicio a fin de la barranca.

3. Los Arcos del Acueducto de la Hacienda de los Arcos (Arquería de Guadalupe Arcos).
   - Se integra por catorce arcos de medio punto.
   - Su altura mayor, desde la base del terreno hasta la punta de la cañería, es de 4.60 metros.
   - La altura interior de todos los arcos del acueducto, a partir del nivel del terreno hasta la clave, es de 1.51 metros.
   - Su longitud máxima a lo largo del terreno es de 114.20 metros, comprendiendo desde el inicio del sifón hasta la última arcada.
4. Arquería de Tepeyahualco
   - Se integra por 60 arcos de medio punto, tomando en consideración la doble arcada, que se localiza en el punto más bajo de la barranca.
   - La altura mayor de la arquería, desde el nivel bajo de la barranca hasta la punta de la cañería, es de 38.39 metros.
   - El arco de mayor altura del acueducto, en esta sección, mide desde la base del terreno hasta la clave, 36.78 metros.
   - Su extensión máxima sobre el terreno, a partir de la caja de agua norte a la caja de agua sur, es de 907.89 metros.

Referencias

AA.VV (2010), *Zempoala y su Historia*, Hidalgo, municipio de Zempoala Hidalgo.

AA.VV (2011), *Acueducto Tembleque obra hidráulica del siglo XVI*, México, Patronato Acueducto Tembleque. A.C.

Kubler, George (1982), *Arquitectura mexicana del siglo XVI*, México, Fondo de Cultura Económica.

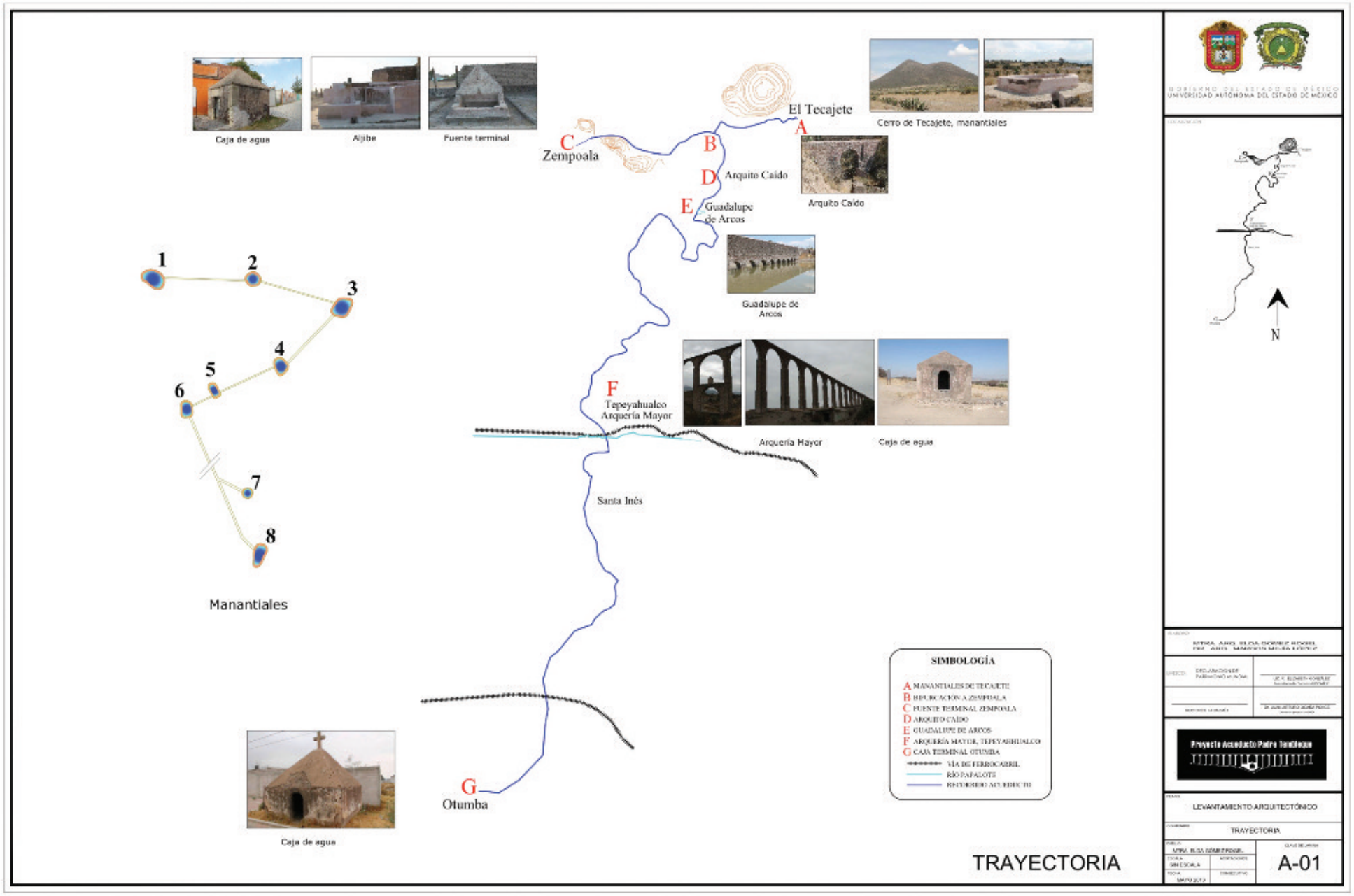
Serlio, Sebastiano (1978), *Tercero y Cuarto Libro de Arquitectura*, Toluca, Facsimilar, UAEM.

Valdés, Octaviano (1979), *El Padre Tembleque*, Toluca, Biblioteca Enciclopédica del Estado de México.

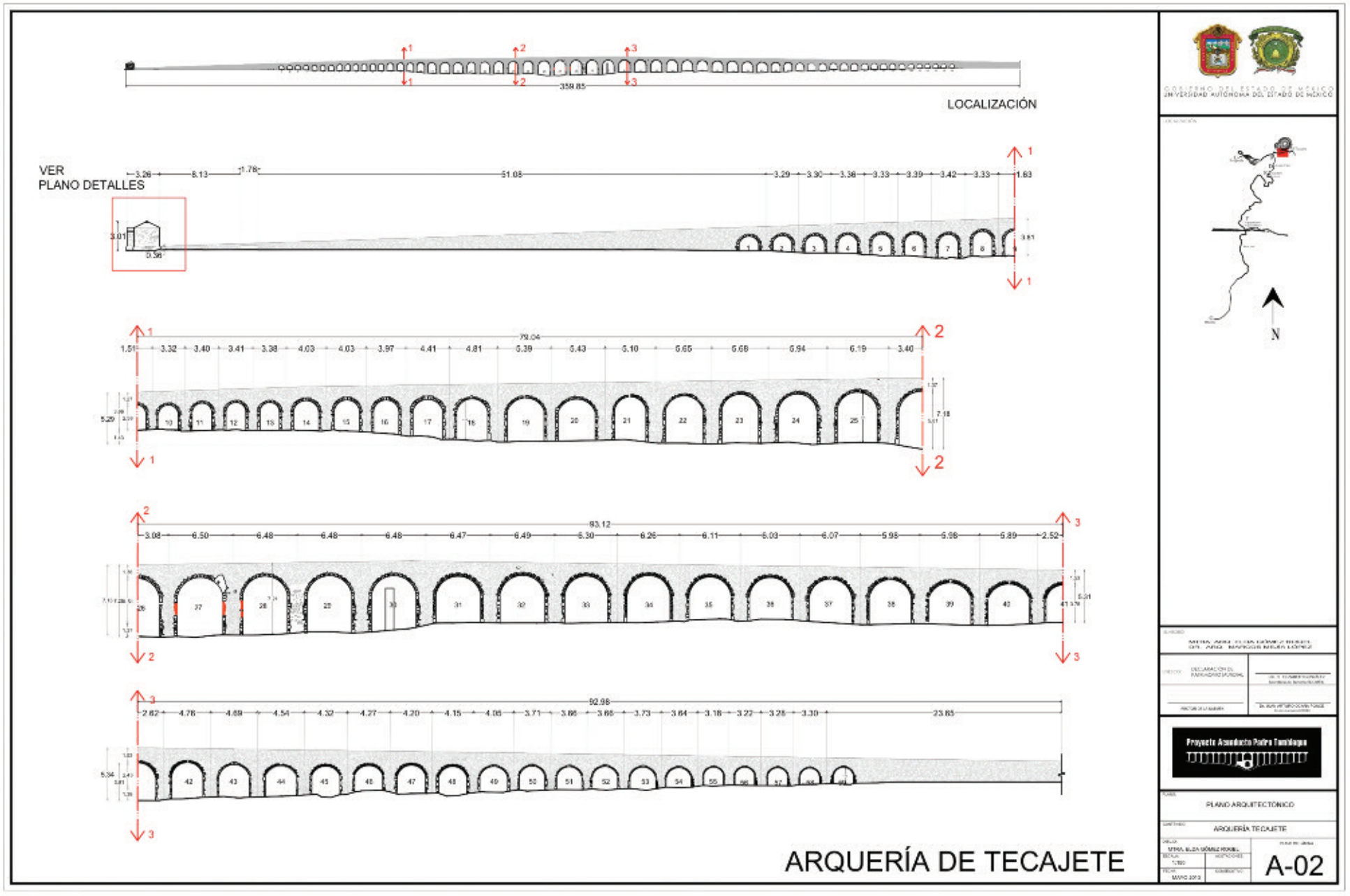
Vitruvius Pollio, Marcus (1960), *The ten books of architecture,* Nueva York, Dover.

Anexo · Planos arquitectónicos del complejo hidráulico

Marcos Mejía-López / Elda Gómez-Rogel



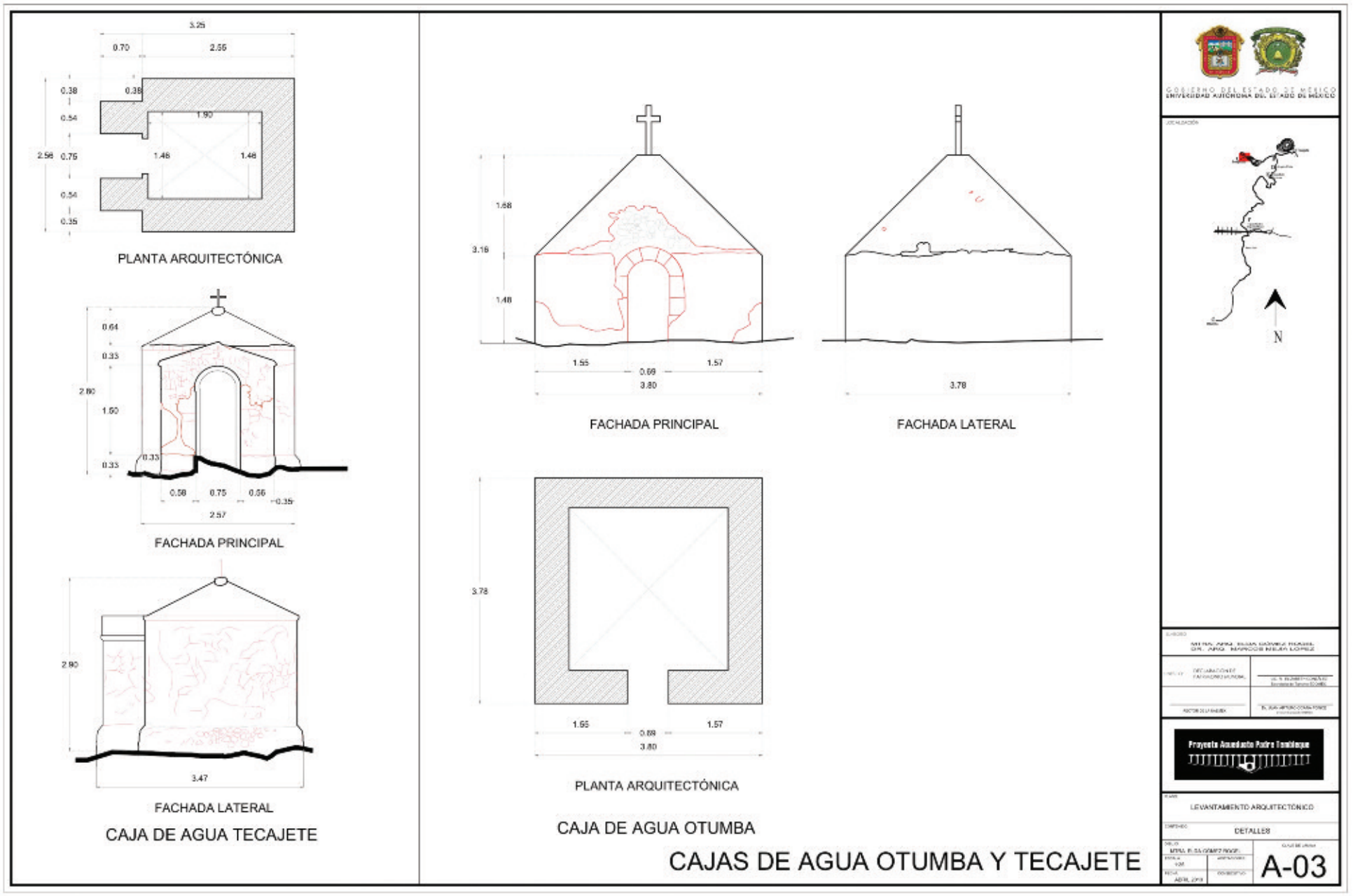
Plano 1. Trayectoria del Acueducto.



Plano 2. Arquería de Tecajete.



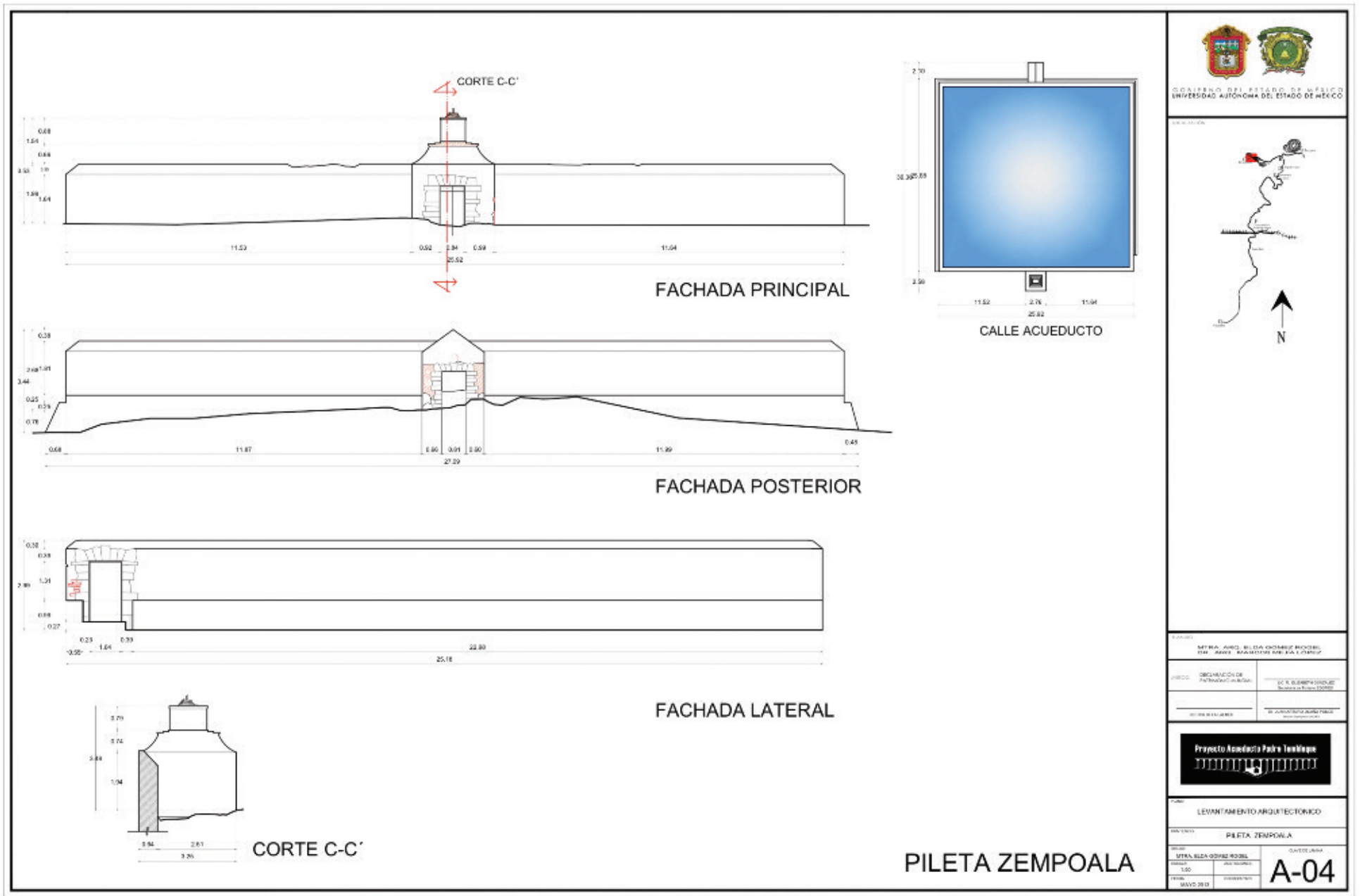
José Luis Vera Jiménez (2013). Caja de agua de la arquería de Santa María Tecajete.



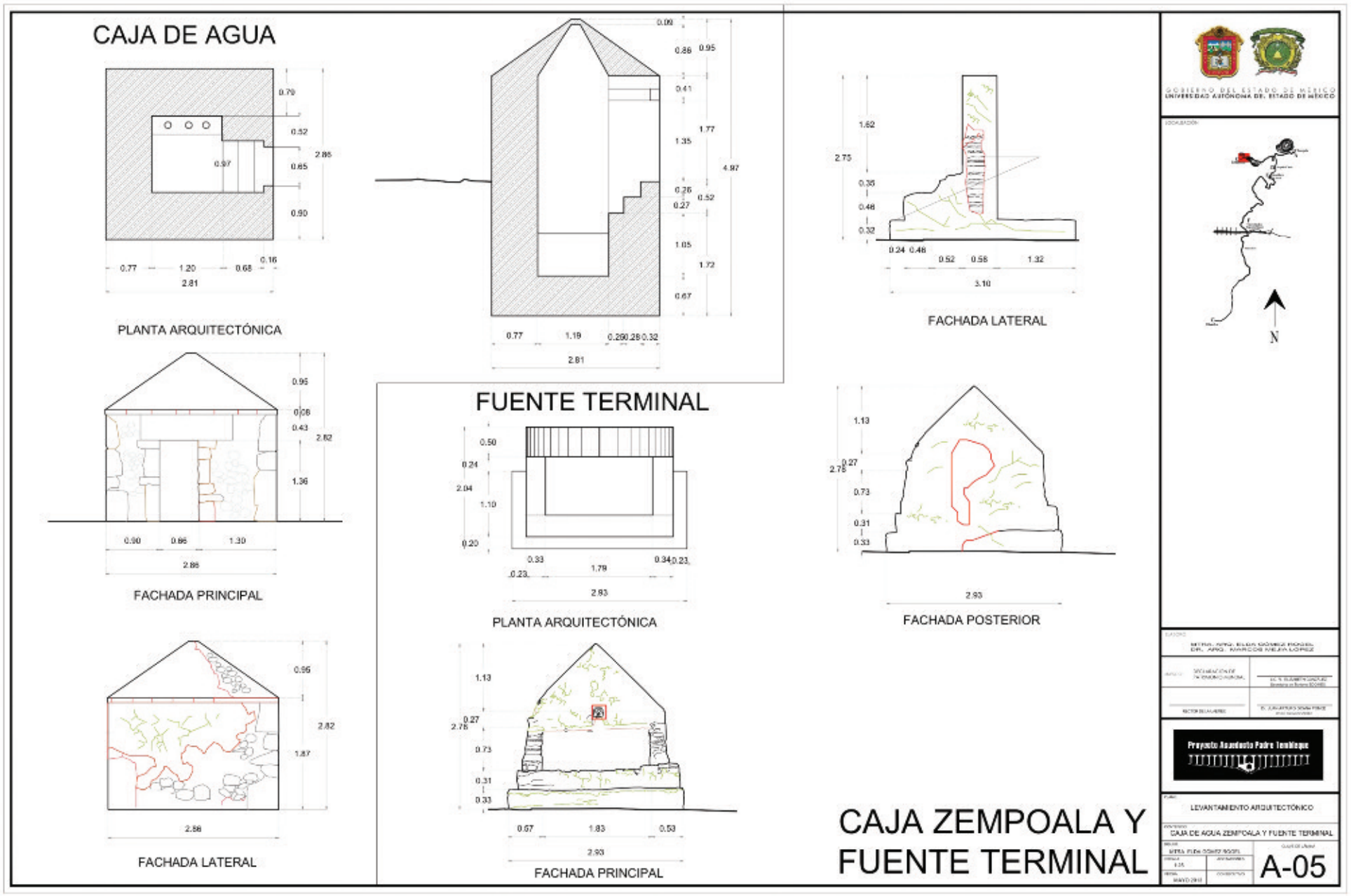
Plano 3. Cajas de agua Otumba y Tecajete.



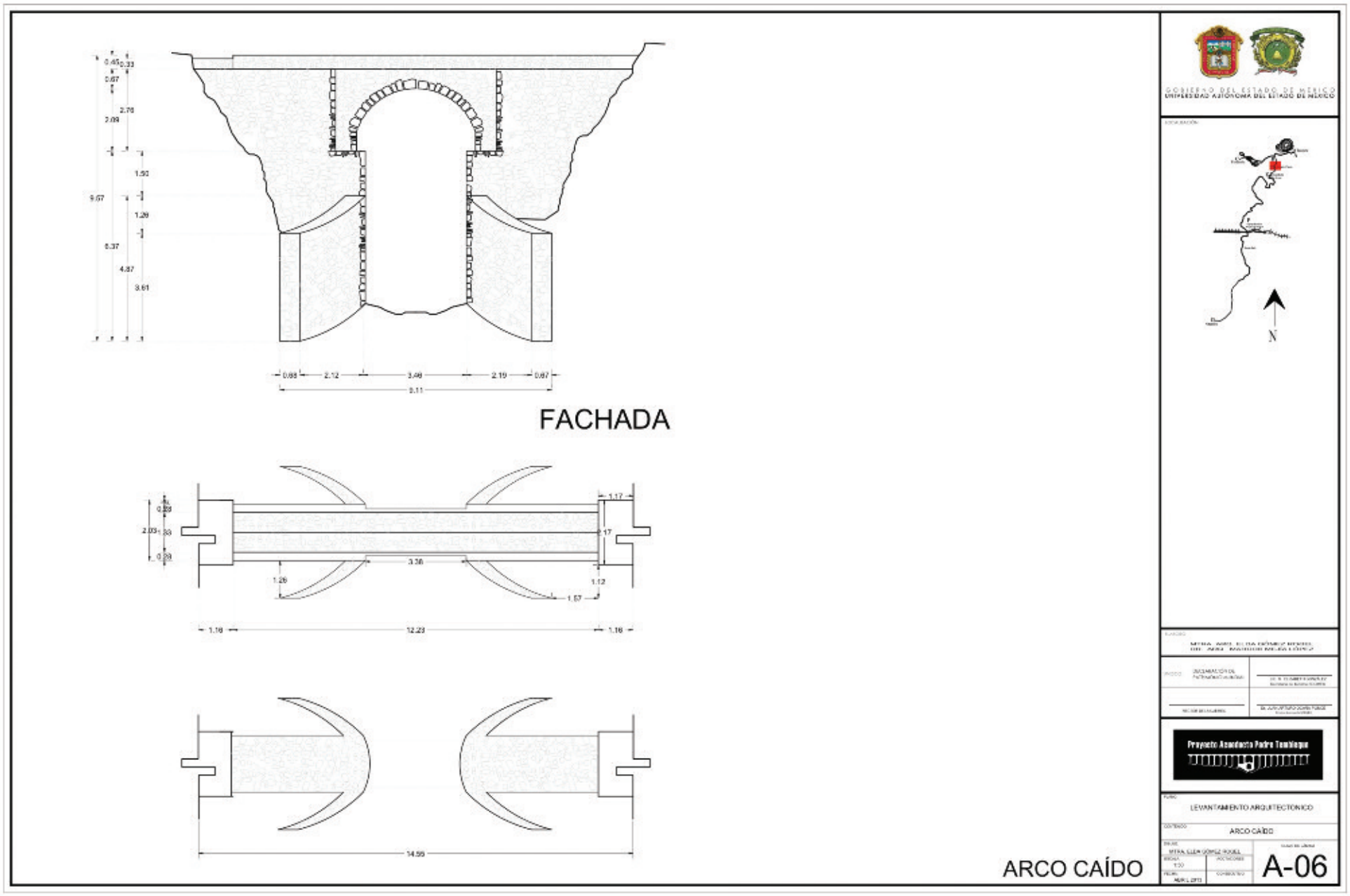
Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Vista orientada de norte a sur de la Arquería Mayor.



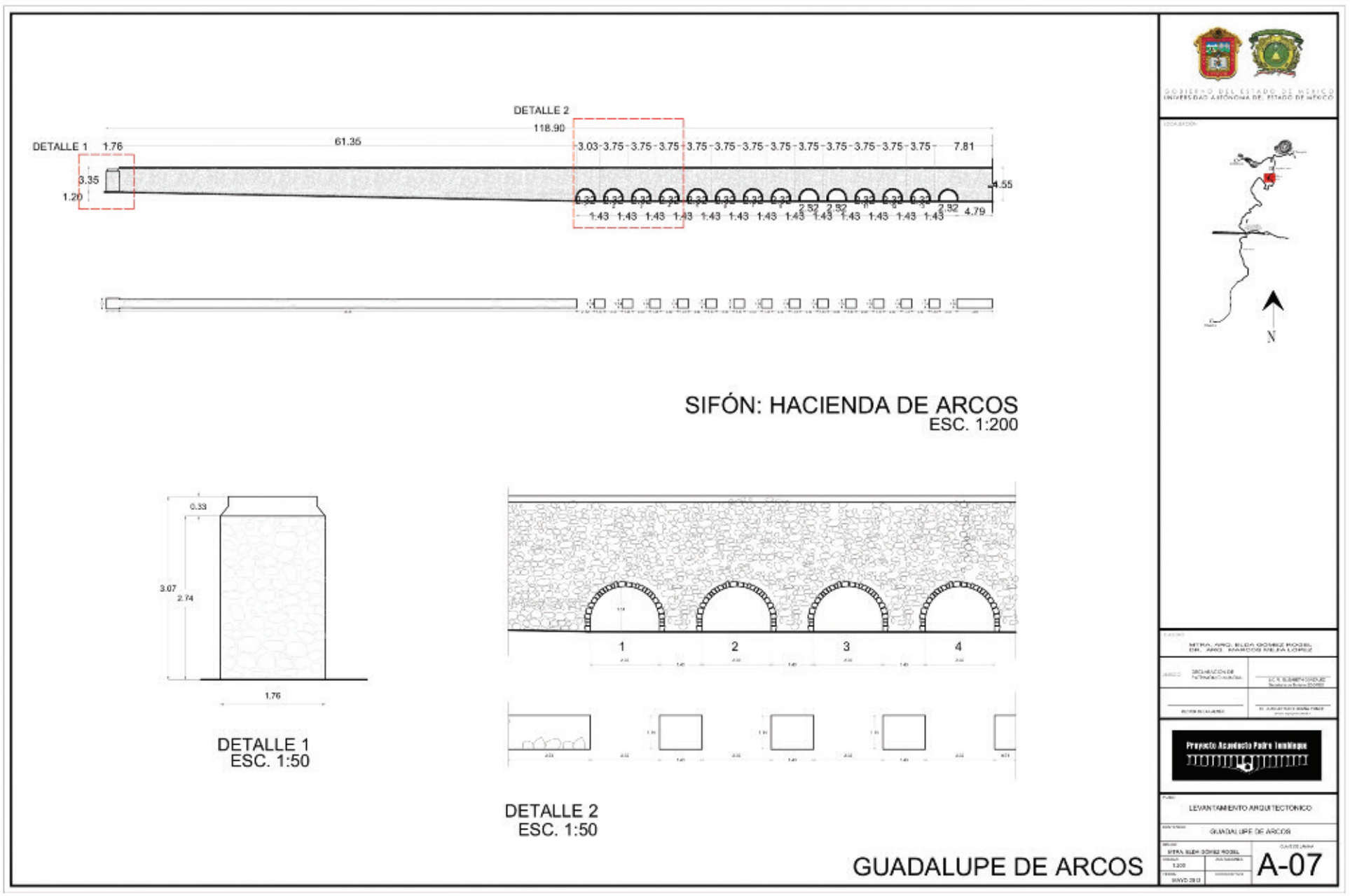
Plano 4. Pileta de Zempoala.



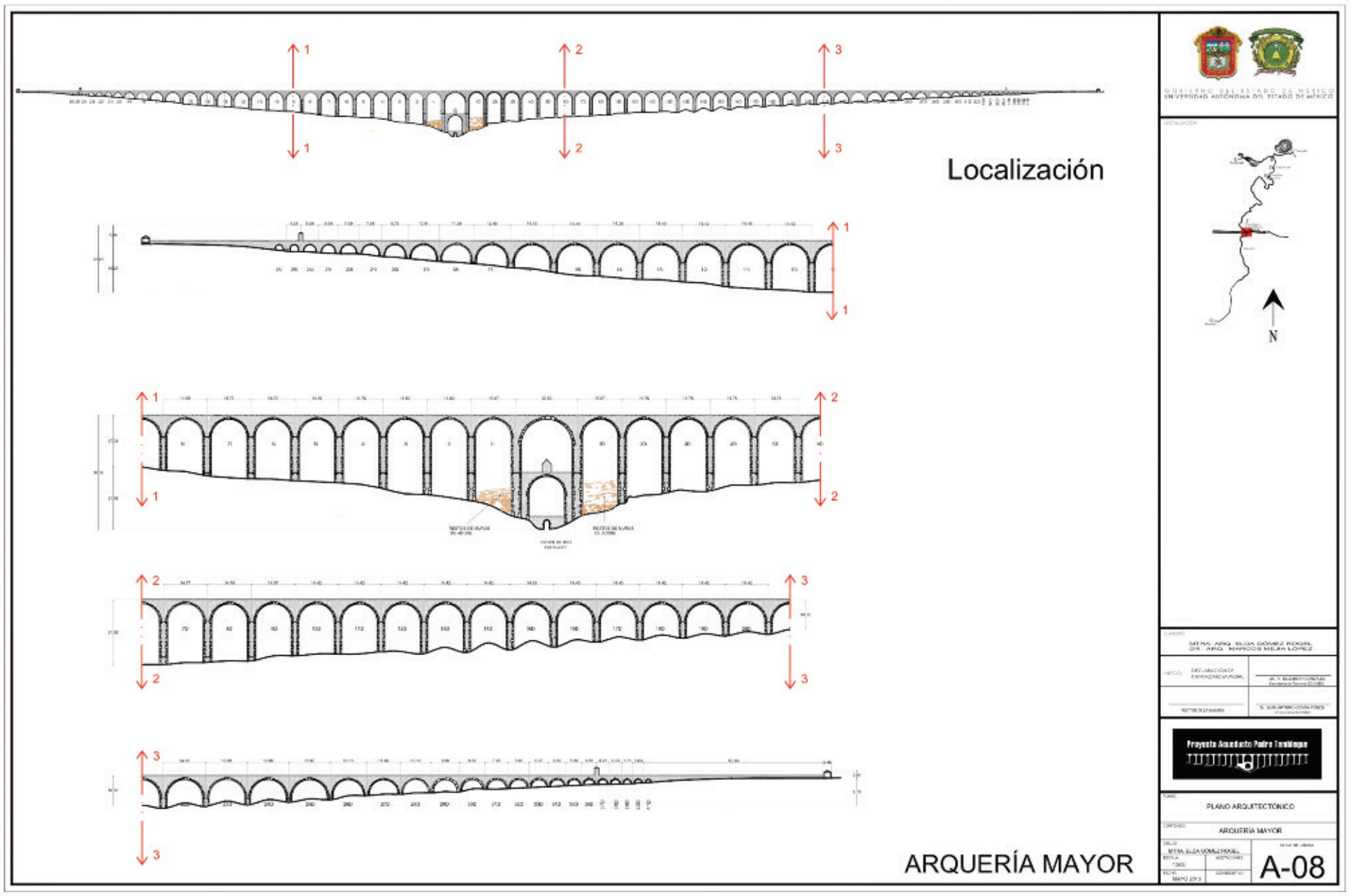
Plano 5. Caja Zempoala y Fuente Terminal.



Plano 6. Arco caído.



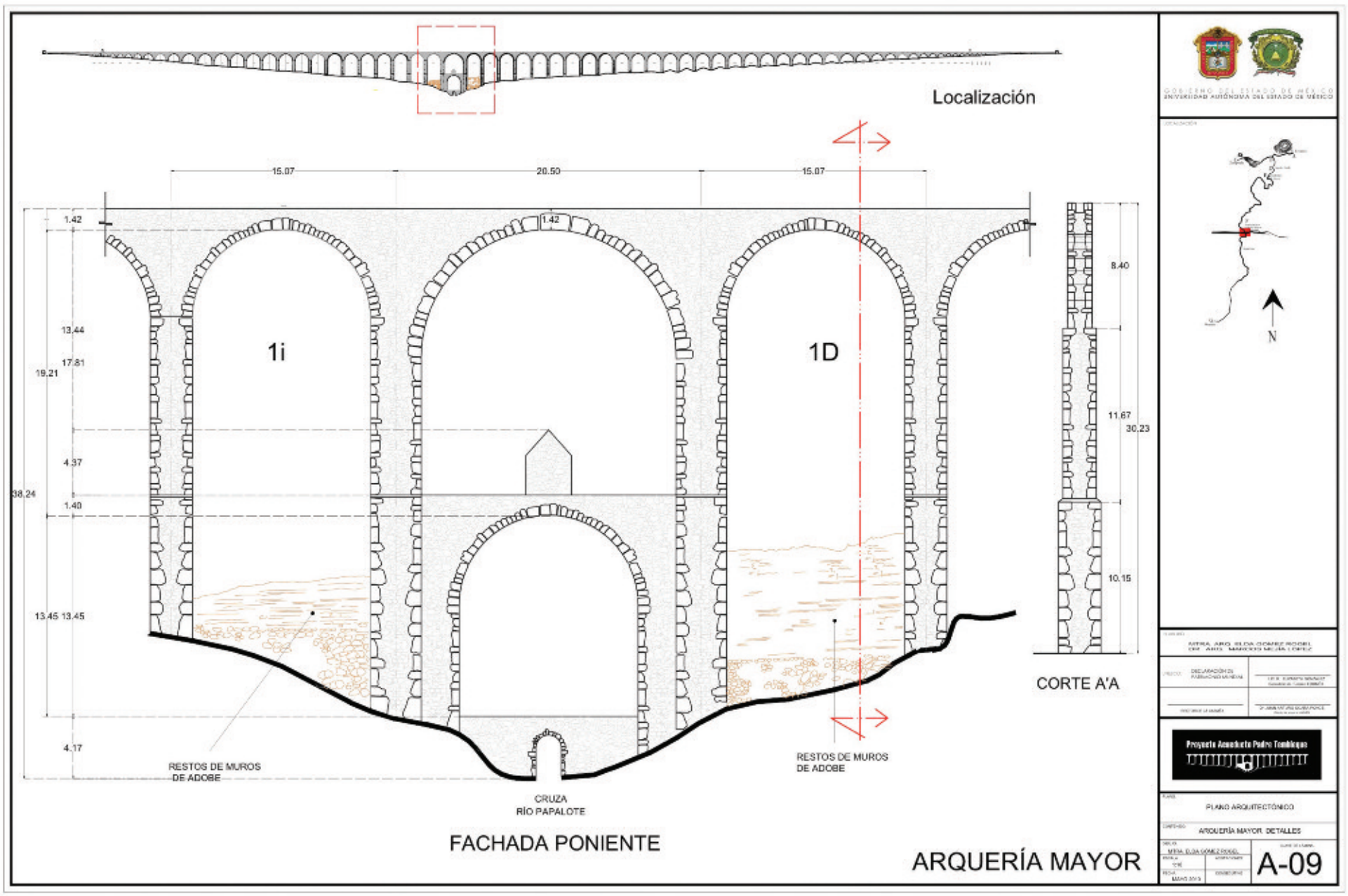
Plano 7. Guadalupe de Arcos.



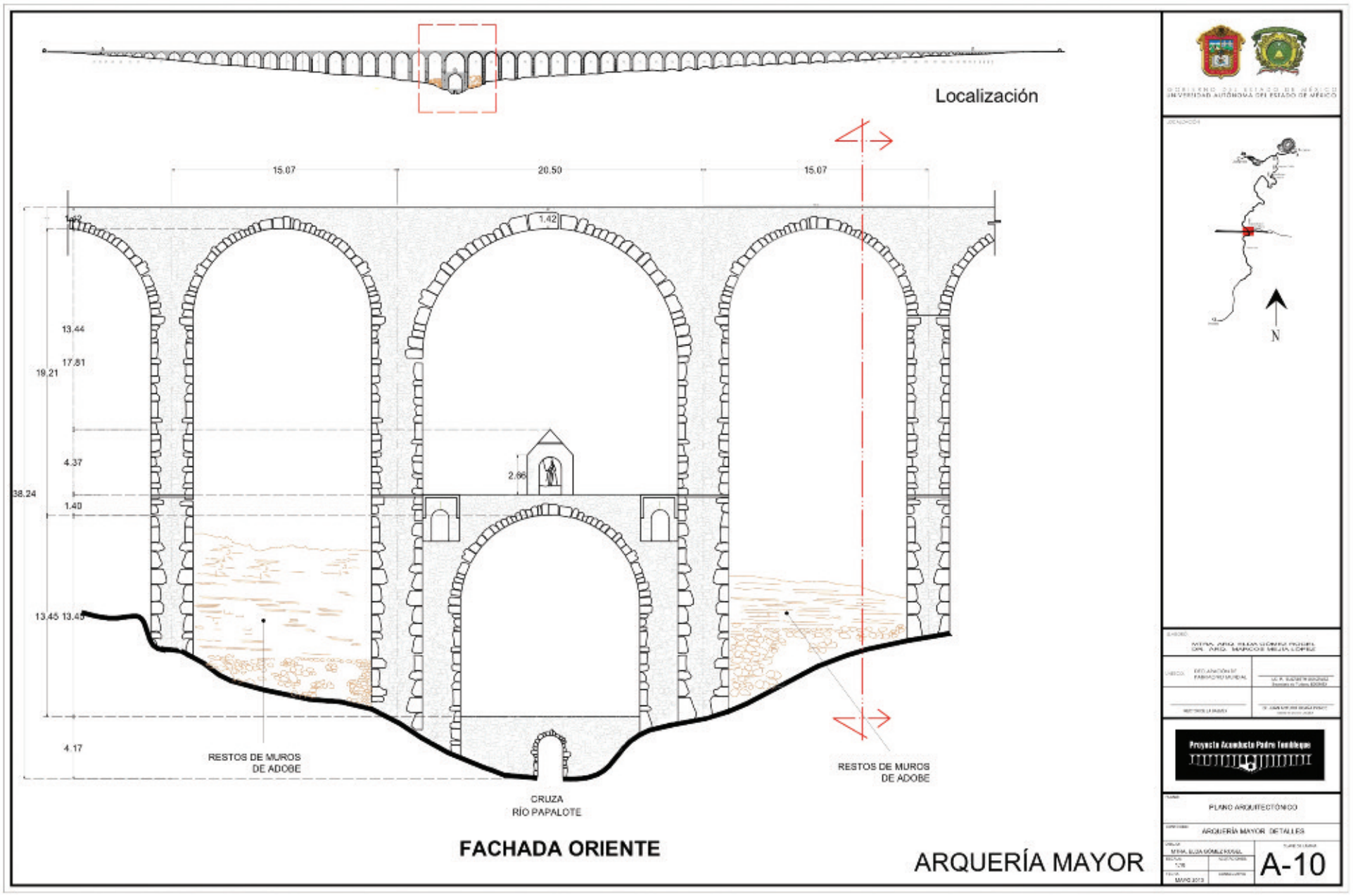
Plano 8. Arquería mayor.



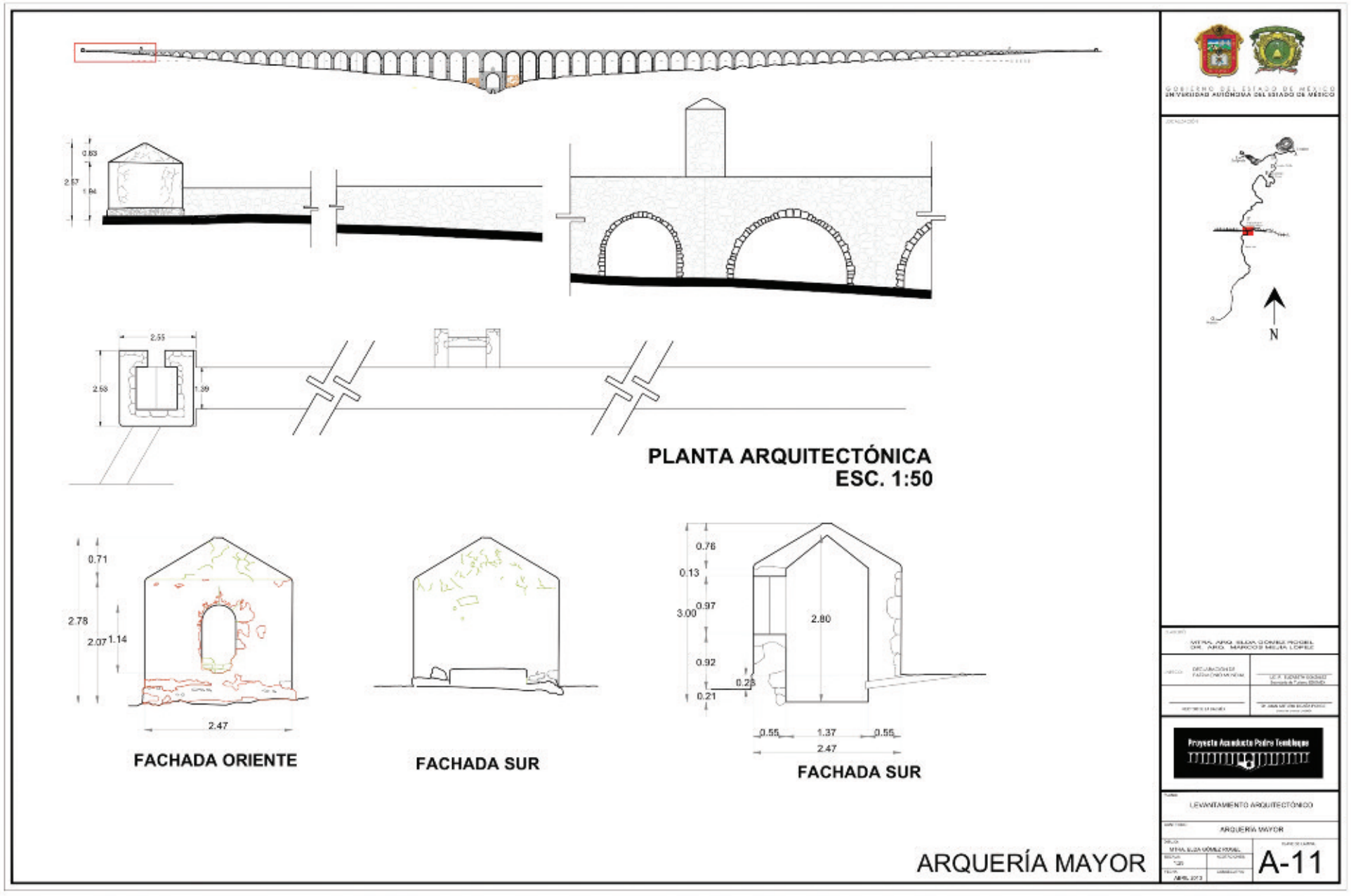
Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Detalle donde se observa la cimbra de adobe.



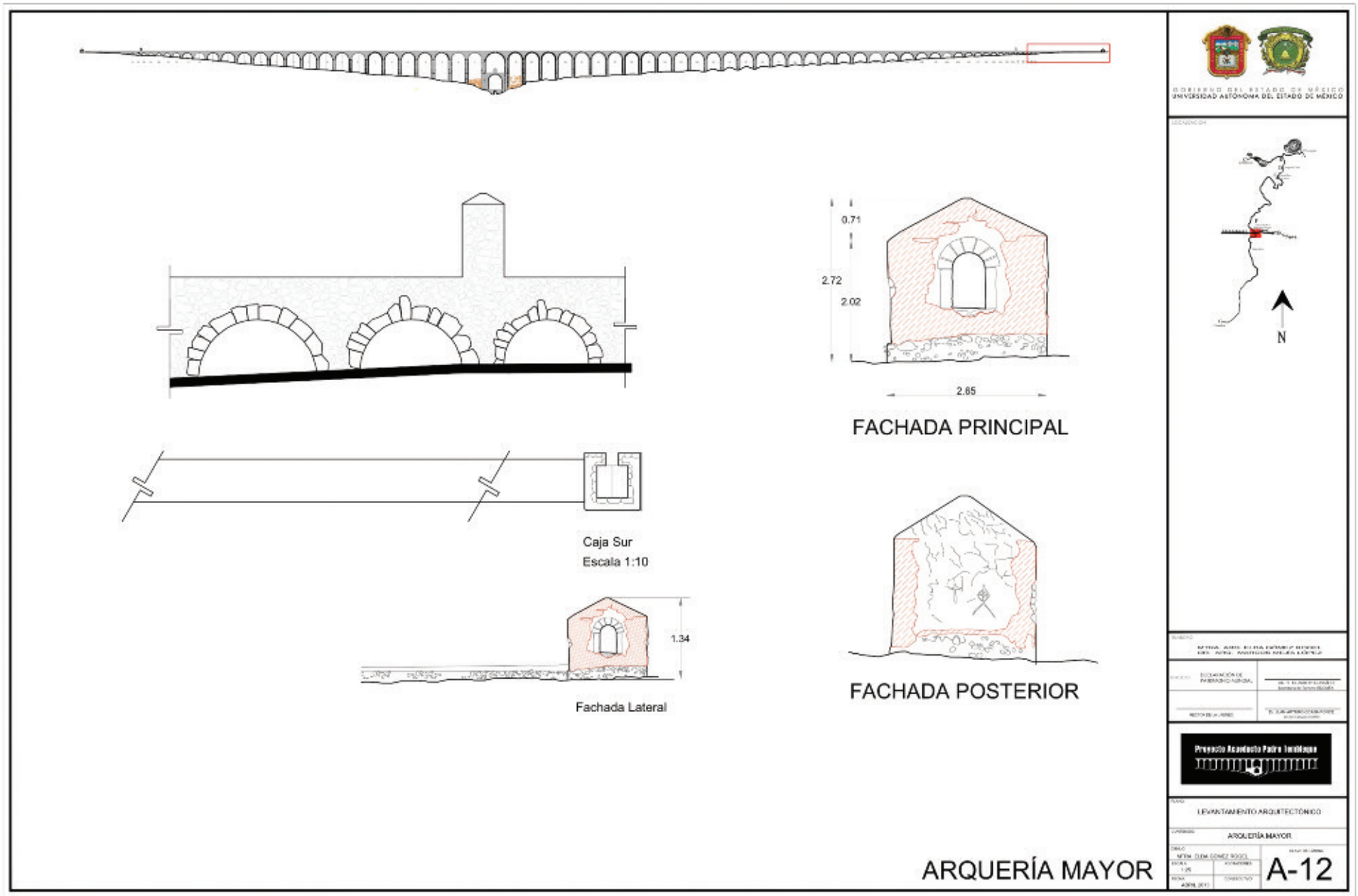
Plano 9. Detalles de la Arquería Mayor.



Plano 10. Detalles de la Arquería Mayor.



Plano 11. Detalles de la Arquería Mayor.



Plano 12. Detalles de la Arquería Mayor.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Foto de la Arquería Mayor al atardecer.



Capítulo IV · Análisis estructural

Características hidráulicas, estructurales y constructivas del Acueducto de Zempoala. Obra perdurable del fraile Francisco de Tembleque

Horacio Ramírez-de Alba
Román Antemio Vargas-Palma
Universidad Autónoma del Estado de México



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Vista de la Arquería Mayor de Santiago Tepeyahualco.

En 1543, habían pasado solamente 21 años desde la caída de la Gran Tenochtitlán, por lo que los naturales, en su mente y espíritu, aún estaban perturbados por aquellos hechos sangrientos. A la conquista armada le sucedió la conquista espiritual que significó para ellos, la ruptura con el estado anterior y el inicio doloroso y difícil de una nueva nación. En este contexto, un fraile español de nombre religioso Francisco, oriundo de Tembleque (provincia de Toledo), juzgado por sus superiores como "frailecillo cosa de nada", fue asignado al monasterio de Otumba.

Al ser testigo de las grandes dificultades alimentarias y sanitarias que aquejaban a la población por la carencia de agua limpia, recorrió la región por diferentes rumbos hasta descubrir fuentes de agua de buena calidad en el cerro del Tecajete (cono volcánico geológicamente reciente). Por iniciativa propia se dio a la tarea de construir un largo acueducto diseñado según los principios técnicos romanos, para ello tuvo que superar grandes obstáculos técnicos y de organización, pues no contaba más que con la fuerza laboral de los naturales, además tuvo que enfrentar dificultades de derecho de tierra y agua. Se oponían a su empresa algunos españoles y criollos, incluso algunos de sus superiores quienes aseguraban imposible la empresa al afirmar que Otumba se encontraba a nivel superior de los manantiales; los inconvenientes fueron superados por el carácter y fuerza del fraile, ayudándole la determinación y conocimientos técnicos de los naturales.

Octaviano Valdés, en su libro *El padre Tembleque* (1945), hace un relato bibliográfico, emotivo e interesante, sobre la vida del fraile. En un capítulo de este texto se precisa que la autoridad virreinal comisionó al alarife Juan Correa de Agüero para inspeccionar la obra, se puede suponer que aportó sus conocimientos técnicos; sin embargo, en la literatura y tradición prevalece la idea del fraile como autor total de la obra del acueducto, cuya construcción comenzó con la recolección de los materiales –cinco o seis meses–; inició a finales de febrero de 1555 y terminó en 1572.

Para los propósitos de este trabajo, que abordarán cuestiones técnicas, no se requiere mayor información histórica, pero sí destacar lo increíble de la obra portentosa, concebida y dirigida por tan modesto personaje, la cual hoy causa admiración, sobre todo por la forma en que se construyó, gracias a la fuerza creativa de los habitantes naturales de la zona.

En el presente capítulo se destacan las principales características hidráulicas, estructurales y constructivas de esta obra, dentro del enfoque de la ingeniería civil, para esto se recurre principalmente a datos obtenidos en campo, los cuales se complementan comparándolos con datos de referencias bibliográficas, también se destaca la excepcional durabilidad de la obra y se proponen algunos criterios generales para su conservación.

Antes de iniciar se pueden destacar algunos aspectos de apreciación, en general, la gente al visitar la obra se sorprende creyéndola "algo arcaico" sin beneficio actual, pero no es así, pues resulta un bien actual con mucho potencial para seguir dando vida a la región; es una obra singular que estimula el espíritu creativo, el que estudió este acueducto no puede menos que ver agigantada la figura del fraile Francisco de Tembleque. Ya desde el siglo XVII se consideraba al acueducto como obra excepcional, el fraile Juan de Torquemada, quien visitó la obra en 1625, expresó: "Cinco años, se detuvo en edificar una alta puente, por donde pasase el agua, sobre una honda y ancha barranca, que se puede contar, como lo dicen todos los que la ven, por una de las maravillas del mundo" (Torquemada, 1969).

Descripción general

Se creyó necesario establecer un marco de referencia mínimo para lo que más adelante se expone. La fuente de agua corresponde a los manantiales del cerro del Tecajete, por cuestiones de propiedad de agua se construyó en primer lugar el tramo de la Hacienda de Santa Inés Amiltepec (ahora ex Hacienda del Tecajete a 3 352 m de los manantiales), de este punto se construyó un ramal del acueducto con punto terminal en el antiguo monasterio de Zempoala a 5 647 m de distancia del punto anterior. Una vez concluido y en operación el acueducto de Zempoala se realizó el de Otumba, a partir de la Hacienda de Santa Inés a lo largo de 38 780 metros.

La mayor parte del acueducto se construyó como una acequia, a veces a flor de tierra o a una elevación menor, y en otros tramos subterránea hasta una profundidad de 2 a 3 m. Sin embargo, al encontrar desniveles importantes se tuvo que recurrir a la construcción de puentes o arcadas, las principales: Hacienda de Santa Inés Amiltepec con 59 arcos, longitud total de 334 m, con el mayor arco de 7.4 m de altura; Hacienda de Guadalupe de Arcos con 14 arcos, longitud de 293 m y altura de 4.6 m, formando en conjunto un sifón; el puente de Acelotla consta de un solo arco reconstruido; el mayor puente conocido generalmente como Arcada Mayor, otro conocido como Arco de Tepeyahualco en la barranca del Papalote, cerca del pueblo de Tepeapulco (antiguamente este era el pueblo de referencia, pero ahora es Tepeyahualco, Hidalgo), con 88 arcos es el mayor con una altura de 38 m y claro de 17 m; finalmente, dos puentes menores, conocidos en la actualidad como Arquitos de San Pedro y de San Marcos.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Vista aérea de los arcos de la Hacienda de Tecajete.



De la Hacienda de Santa Inés a la arcada mayor existe una distancia aproximada de 15 780 m, a partir de este punto la acequia, con algunos arcos aislados ya descritos, recorre una distancia de 22 780 m hasta terminar en la pila del antiguo monasterio de Otumba.

El gradiente medio (pendiente) tiene un valor máximo de 1.44%, un valor mínimo de 0.24% y un valor medio de 0.638%. En un tramo significativo que representa 62% de la longitud total del acueducto, encontrándose en territorio del Estado de México, el gradiente se encuentra entre 0.24 y 0.26%, este dato resulta significativo al ser un valor "menor que el recomendado por los constructores romanos" (Vitruvius, 1960). Un tramo de este acueducto, con la mayor parte de las arcadas principales, está localizado en el actual territorio del Estado de Hidalgo, pero fue concebido para llevar agua de los manantiales del cerro del Tecajete cerca de Zempoala (Hidalgo) hasta Otumba (Estado de México), punto forzoso de tránsito durante la colonia en el Camino Real de México a Veracruz, por lo tanto, actualmente es una obra compartida entre los dos estados.

Los métodos romanos para construir acueductos fueron retomados por España y sus colonias, en la Nueva España se construyeron varios de ellos. Con fines comparativos, en el cuadro 1 se presentan datos de los más sobresalientes, se obtuvieron principalmente de las referencias Romero de Terreros (1949) y Ramírez (1991).

De la comparación hecha se establece que el acueducto de Zempoala es el más antiguo, pues el resto son, en su mayoría, del siglo XVII. Resulta interesante ver que aún en la Ciudad de México la provisión de agua por medio de un acueducto fue más tardía, o sea, la primera etapa del acueducto de la Tlaxpana de 1576 (cuatro años después de la terminación del acueducto de Zempoala). En cuanto a la altura, el caso que domina es el de los Arcos del Sitio del acueducto de Xalpa con 60 m, aspecto que compite con los antiguos acueductos romanos de fama mundial (todavía conservados). De hecho, representa un caso excepcional, inclusive los romanos se habrían inclinado en este caso por un sifón, ayudó a la solución del alto puente que la garganta es muy estrecha y fue posible construir las primeras dos arcadas con gran robustez, de tal manera se puede considerar como un elemento rígido que sirve de apoyo a los dos cuerpos de arcos superiores con altura de 18.25 m y 17.30 m, respectivamente; con este criterio la altura de este acueducto sería comparable al de Zempoala, pero iniciado más de 200 años después.

El acueducto con mayor número de arcos es el de Guadalupe: 2 287 arcos según la inscripción en la fuente, de los cuales se conservan 1 584, sin embargo, la mayoría no pasa de 3 m de altura y el mayor de 7 m, además es también más reciente (1743-1771). Su construcción no resultó de buena calidad, pues actualmente muestra mayor grado de deterioro que el de Zempoala. Este último se mantiene en mejores condiciones, conservando porcentajes importantes de la obra original, además tiene mayor solidez.

Ingeniería hidráulica

En todas las grandes culturas del pasado se desarrollaron técnicas para construir acueductos y otros ingenios hidráulicos, ya que de ello dependía la agricultura, por ende, su alimentación; ejemplos notables son las culturas antiguas de Egipto y Mesopotamia. Sin embargo, el refinamiento en las técnicas de diseño y construcción correspondió a Grecia y Roma, las cuales, principalmente la última, documentaron sus hallazgos, por ejemplo, en los diez libros de arquitectura de Marcus Vitruvio, en particular el capítulo 5 del libro octavo, que trata sobre el modo de nivelar las aguas. Los árabes en cambio usaban el agua en fuentes como base de sus ritos y como elementos de depurado ornato, así como para mantener jardines de gusto refinado.

Como se mencionó, la tecnología romana para construir acueductos fue ocupada por los españoles, combinándose más tarde con el gusto árabe. Romero de Terreros establece:

> Después de los romanos, fueron los españoles quienes mejor supieron construir obras sólidas, robustas y grandiosas. Esta afirmación, que puede parecer atrevida, no lo es, si se toma en consideración los edificios que se levantaron en México durante el virreinato: iglesias, monasterios, catedrales, palacios, fortalezas, acueductos (Romero de Terreros, 1949).

Los componentes principales de los acueductos coloniales corresponden a los romanos: a) la obra de toma, que consiste generalmente de forma consistente de una represa con un cedazo o caja para impedir el paso de impurezas y material sólido; b) la conducción, de modo habitual, se da mediante una acequia abovedada a flor de tierra, pues resultaba más barata su construcción y más sencillo su mantenimiento; c) cuando no era posible conducir por acequias se recurría a varias técnicas, las principales: los puentes de arcos, los túneles y los sifones; d) de tramo en tramo, dependiendo de la calidad del agua se construían *desarenadores,* llamados también cajas de agua; y e) el acueducto terminaba en una alberca, o bien una o varias fuentes que tenían el propósito práctico de hacer accesible el agua al pueblo.

De los acueductos construidos en México durante la colonia, resultan raros los sifones, el mayor se construyó en el acueducto de Los Remedios, pero no logró funcionar debido a que los tubos de barro no lograron resistir la presión en un desnivel de 20 m, también por no haber colocado un aditamento para impedir el paso del aire. El acueducto, tema de este escrito, aparentemente contaba con un sifón, pero con desnivel de sólo 4 m y longitud de 60 m, en cuanto a túneles sólo se encontró el dato de la existencia de dos, ambos en el acueducto de Xalpa, uno de 700 m el otro de 500 m, según la descripción de Romero (1949) atravesando dos montes de roca viva, lo cual supone grandes dificultades para su construcción.

Acueducto	Características	Año	Observaciones
Tlaxpana (Cd. de México)	7 km; 1 000 arcos	1576-1560	Demolido en 1889
Belem (Cd. de México)	4 km; 904 arcos	1711-1772	Sólo se conservan 22 arcos
Querétaro	10 km; 74 arcos	1726-1739	Símbolo de la ciudad
Guadalupe	10 km; 2 287 arcos	1743-1751	Partes ya desaparecidas
Los Remedios (sifón)	8.36 km;	1616-1685	Se conservan dos torres
Los Remedios (arcos)	8.36 km; 50 arcos	1764-(¿)	Parte superior no se hizo
Chalchicumula	8 km; 16 arcos	(¿)-1771	Dos niveles, simbólico
Morelia	1.67 km; 253 arcos	1785-1789	Símbolo de la ciudad
Zacatecas	0.24 km; 39 arcos	Fines XVIII	Funcionó hasta 1921
Xalpa	78 Km; 42 arcos	1764-1884	Puente de 60 m de alto
Zempoala (Tembleque)	47.8 km; 106 arcos	1555-1572	Arco esbelto, 38m de alto

Cuadro 1. Acueductos en la Nueva España. Fuente: datos obtenidos de Romero de Terreros (1949) y Ramírez de Alba (1991).



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). En la parte inferior de la barda se observa un tramo de acequia abovedada a flor de tierra.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Fotografía de la Arquería Mayor. Longitud 908.38 m y altura de 38.24 m.

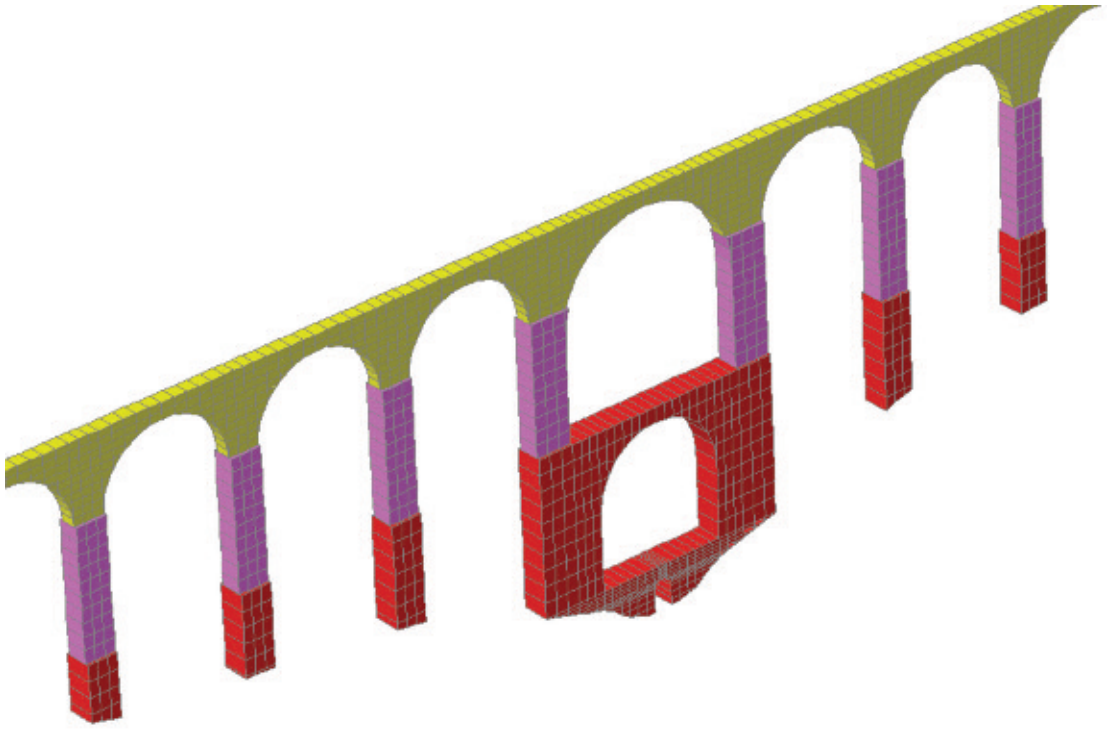


Figura 1. Vista central del modelo de la Arquería Mayor.
Fuente: elaboración propia con base en trabajo de campo (2013).

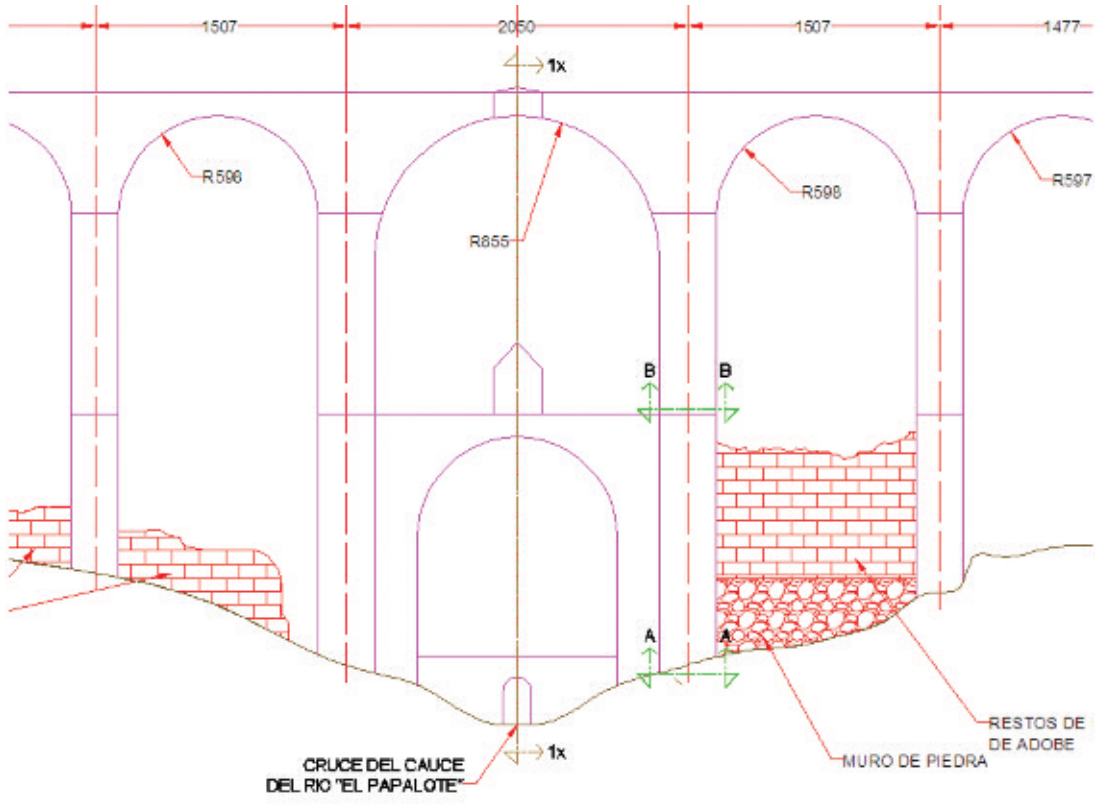


Figura 2. Identificación de secciones críticas en la Arquería Mayor.
Fuente: elaboración propia con base en trabajo de campo (2013).

Ingeniería estructural

Resulta sorprendente que la arcada mayor con un grado de esbeltez considerable (como se observa en la imagen 4) siga en pie. Para explicar este hecho se hicieron cálculos basados en la estática, además, para estudiar el posible comportamiento estructural, aplicando conocimientos actuales, se generó un modelo matemático con el método del elemento finito. El modelo quedó formado por 6 702 elementos diferenciales y 8 212 nodos. En la figura 1 se muestra una parte de este modelo.

Se identificaron dos secciones críticas: la base de la arquería mayor (sección A-A) y el cambio de dimensión en la columna (sección B-B) (ver figura 2). Con la ayuda de programas de cómputo se pudieron calcular cargas y esfuerzos en todos los elementos del modelo. Aquí, sólo se discuten los relacionados con el arco principal en las secciones críticas antes definidas; de forma gráfica se muestran los principales resultados: en la figura 3 se representan los esfuerzos de compresión máximos; en la figura 4 los esfuerzos cortantes máximos por efecto del viento y en la figura 5 los momentos flexionantes máximos por sismo.

Al analizar los resultados, sorprende la concepción estructural tan atinada de la arcada mayor de Tepeyahualco. Para cargas por gravedad, el factor de seguridad (la relación (cociente) entre la carga resistente y la actuante) resulta de 2.02. Por lo tanto, este margen de seguridad es muy razonable, sobre todo al considerar que los reglamentos de construcción modernos fijan factores de seguridad entre 1.4 y 2.0, según el tipo y uso de la estructura.

Por otro lado, los cálculos hechos para este caso indican que para el nivel de desplante (sección A-A) un viento de 143 km/h causaría la aparición de esfuerzos de tensión (los esfuerzos hacia arriba debidos al empuje del viento igualarían los esfuerzos hacia abajo debidos al peso propio de la estructura). Se requeriría un viento de 225 km/h para provocar el volteo total de la estructura al nivel de desplante. Los cálculos hechos para el nivel, donde arranca el arco principal propiamente dicho (sección B-B), indican 133 km/h para la aparición de esfuerzos de tensión y 230 km/h para el volteo total.

Según datos del *Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad*, la velocidad del viento máxima (probable) en la zona es de 110 km/h, lo que significa que la resistencia del arco principal se encuentra sobrada en cuanto a los efectos de viento, sin embargo, razonablemente se apega a los procedimientos modernos de cálculo, esto resulta sorprendente porque se tiende a pensar que la estabilidad de este tipo de estructuras se debe a sus proporciones muy sobradas, mientras que el análisis hecho demuestra un margen de seguridad razonable comparable con el de estructuras modernas.

De manera similar, el efecto de los terremotos o sismos es el de ocasionar movimientos del terreno de sustentación y por lo tanto, causar fuerzas de inercia que serán mayores en estructuras altas y pesadas. Los cálculos hechos para este caso indican que un sismo produciendo aceleraciones en el terreno del sitio de 60 cm/seg^2 provocaría el volteo del arco mayor. Se estima que el sismo de septiembre de 1985, uno de los más intensos que se recuerda, generó aceleraciones en la zona de unos 45 cm/seg^2, por lo tanto, para este caso se tiene también una condición cercana al límite.

Al abundar sobre los factores de seguridad para diferentes condiciones de carga, se encontraron los resultados resumidos en el cuadro 2.

Del examen de estos resultados se aprecian factores de seguridad en general mayores que 1.5 (valor recomendado por los códigos de diseño), sin embargo, se detectó una combinación de esfuerzos generada por la presencia de sismo, arrojando un factor de seguridad de 1.39 para la sección A-A y de 1.09 para la sección B-B; valores que suponen riesgo para la estabilidad de la estructura.

Se estima una alta probabilidad de falla por movimientos sísmicos, los cuales generarán aceleraciones en el terreno de 60 cm/s^2 o mayores, esto parece indicar que se presentarían daños estructurales e incluso colapso parcial para la posible ocurrencia de movimientos más intensos que el de 1985.

Características constructivas

Esta impresionante obra fue producto de dos fuerzas combinadas (presentes en toda construcción de grandes dimensiones): la primera individual. Una dirección acertada, metódica y fuerte a cargo de fray Francisco de Tembleque. La segunda colectiva a cargo de un ejército de albañiles, canteros y peones que siguen a su líder sin reparar en fatigas y sufrimientos hasta ver terminada la obra, este grupo anónimo de personas comparte el mérito de tan importante logro, además es necesario mencionar que todos eran naturales de esa tierra, quienes tenían sus propias técnicas de construcción, cabe señalar que los albañiles no sólo contribuyeron con su fuerza de trabajo sino con conocimientos técnicos importantes (Hernández, 1976).

Para la construcción se utilizó piedra de la región. Las piedras son principalmente del tipo basáltico y andesita de la llamada comúnmente tezontle; la proporción mayor es de este tipo de material por ser más fácil de trabajar y de peso volumétrico menor. Las piedras se unieron con mortero de buena calidad hecho con cal y arena, así como alguna adición con propiedades puzolánicas (Rivera, 2000). Al respecto, se dice que un material tiene actividad puzolánica cuando por sí mismo no es un cementante, pero sus compuestos reaccionan con el hidróxido de calcio (cal) para formar compuestos estables; lo más probable es que la piedra de tezontle molida se usara como adición al mortero para lograr dureza y durabilidad como se observa en varios componentes del acueducto, por ejemplo, en el recubrimiento de la cubeta del canal (ver imagen 5).

Otro material que posiblemente se utilizó con estos propósitos, según Rivera (2001), es el nejayote, subproducto en la nixtamalización del maíz en la elaboración de la masa para las tortillas.

Cualquiera que haya sido la forma de elaboración del mortero, su calidad, dureza y durabilidad quedan demostrados al observar que la obra del acueducto (en particular la arcada mayor) ha permanecido por más de 450 años y existen datos de que el acueducto duró en operación por más de 200 años.

Otro aspecto constructivo importante es el control de la pendiente en su longitud y diversas condiciones topográficas, lo cual implica el uso de técnicas topográficas depuradas y eficientes, auxiliadas con aparatos y técnicas por primera vez aplicados en América contribuyendo al prestigio de la construcción, de la Nueva España, y luego México. Principalmente se señalan las siguientes técnicas: a) construcción de un canal auxiliar con mortero. Existen algunos vestigios cerca de la arcada mayor que sugieren el uso de canales laterales como referencia para controlar la altura del canal; b) uso de un nivel de agua siguiendo alguno de los modelos antiguos de corobate (Landels, 1978) provisto con una alidada, que en la época se conocía como "vista de ojos" (Al leer los

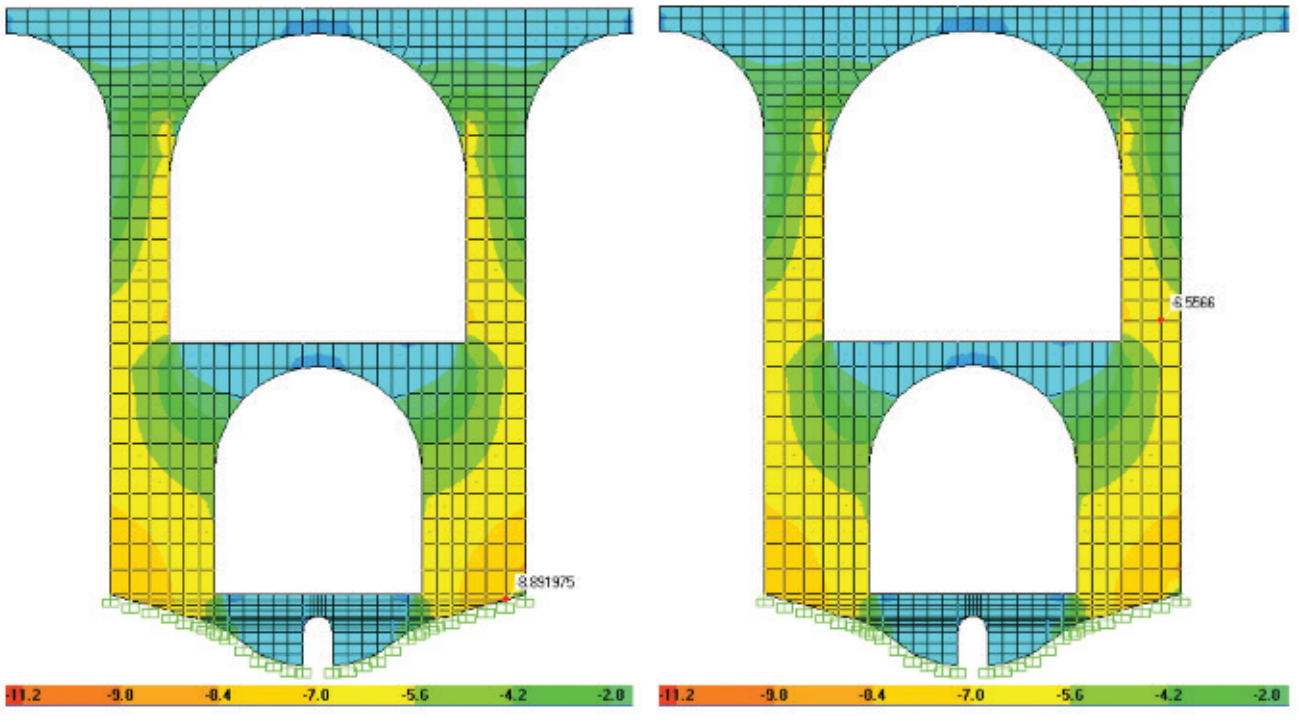


Figura 3. Esfuerzos de compresión en: A-A=-8.89kg/cm2 y B-B=-6.55kg/cm^2.
Fuente: elaboración propia con base en trabajo de campo (2013).

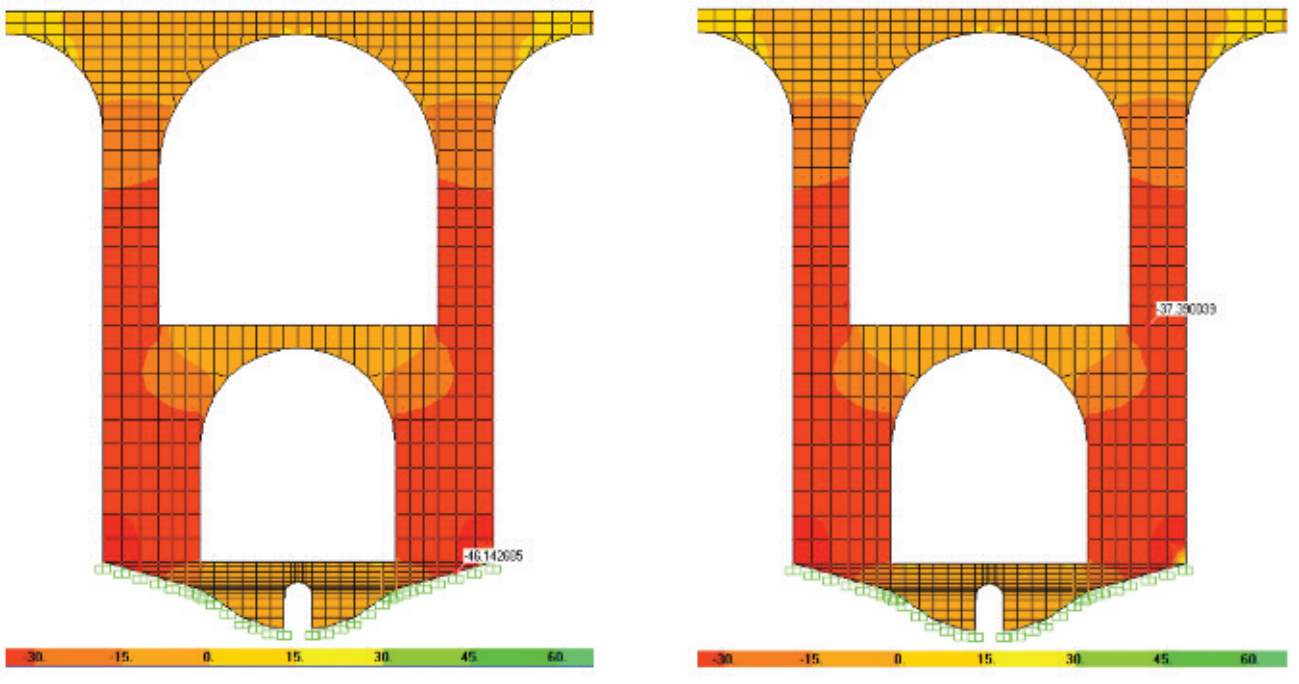


Figura 4. Esfuerzos cortantes para velocidad de viento de 148km/hr en: A-A=-46.14kg/cm^2 y B-B=-37.39kg/cm^2. Fuente: elaboración propia con base en trabajo de campo (2013).

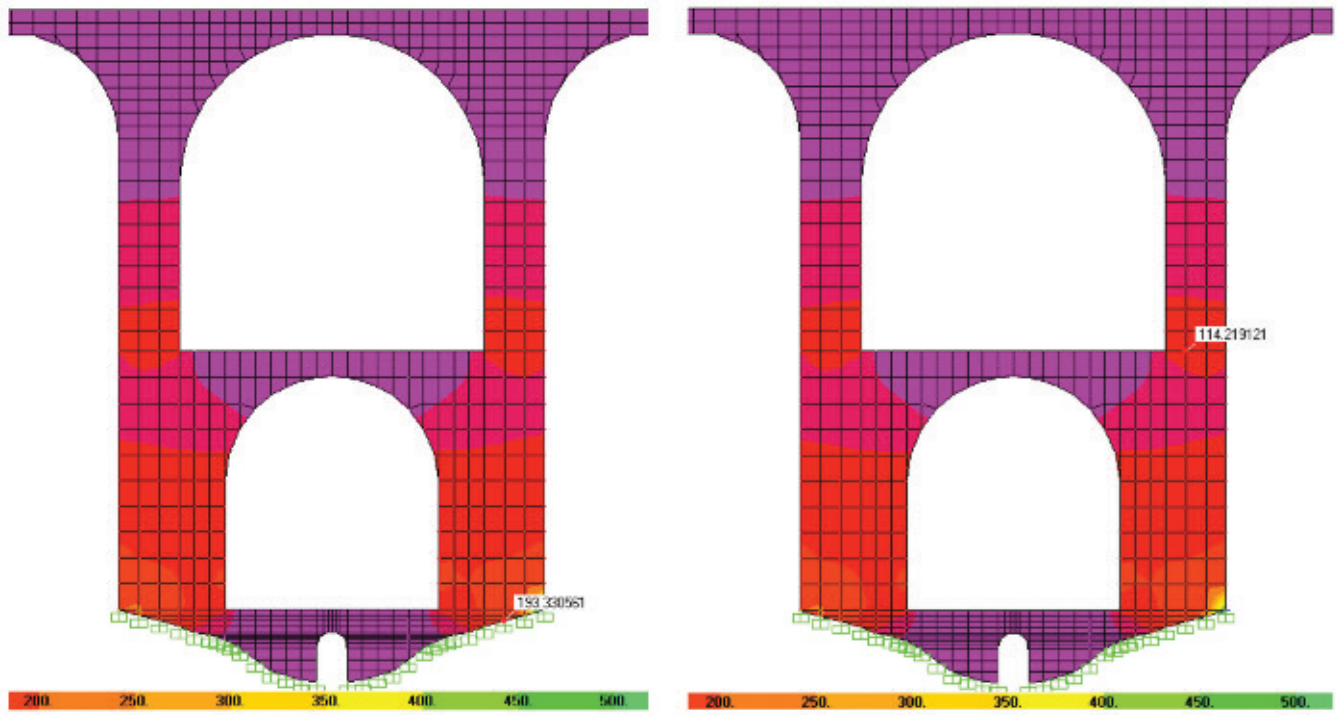


Figura 5. Momentos actuantes para Sismo Zona B Tipo de suelo en las secciones: A-A=193.33 ton-m y B-B=114.21 ton-m. Fuente: elaboración propia con base en trabajo de campo (2013).

Condición	Efecto	Sección AA	Sección BB
Comprensión	Cargas de gravedad	2.02	2.74
Cortante por fuerza lateral	Viento	9.77	7.82
Cortante por fuerza lateral	Sismo	6.13	3.21
Carga vertical y momento de volteo	Viento	2.9	2.71
Carga vertical y momento de volteo	Sismo	1.39	1.09

Cuadro 2. Factores de seguridad críticos para las secciones "AA" y "BB". Fuente: elaboración propia con base en trabajo de campo (2013).



José Luis Vera Jiménez (2013). Fotografía del canal en la parte superior de la Arquería Mayor.

relatos de cómo el fraile Francisco de Tembleque aseguraba la factibilidad del acueducto, se presume que sus múltiples recorridos fueron para trazar la trayectoria utilizando un artefacto como el descrito); c) uso de una escuadra de madera grande con plomada (no se ha encontrado una referencia específica sobre el uso de la escuadra con plomada en esta obra), pero como era un instrumento usual en esa época y su facilidad de construcción en diferentes tamaños, se puede suponer que se utilizó en los trabajos de albañilería para llevar un control adecuado de la pendiente, principalmente en los tramos superficiales o subterráneos.

Sobre la cimentación, se tienen datos que permiten suponer que se profundizó un décimo de la altura siguiendo las técnicas romanas (Vitruvius, 1960), aproximadamente tres metros en el arco mayor. La construcción de la cimentación se llevó mucho tiempo, así lo establece el autor Valdés "los cimientos que sostendrán el peso enorme de los arcos, clavándose profundamente, se lleva mucho tiempo, de modo que los trabajos no avanzan en apariencia" (Valdés, 1945) y más adelante el mismo autor menciona "los gruesos pilones comenzaron a sobresalir del suelo con el ajuste de sus bloques tan recto y exacto, que más que aumentar por añadiduras, parecían brotar y ascender al empuje de natural crecimiento" (Valdés, 1945). Por otro lado, la verticalidad de los soportes se verificó en campo con un nivel moderno, comprobando que la desviación de la vertical no sobrepasa de 0.1 %, la cual es del mismo orden de la tolerancia pedida en los reglamentos modernos.

Durabilidad

La buena calidad de construcción se refleja en la extraordinaria durabilidad de las obras de las arquerías, sobre esto se puede mencionar el dato reportado por el fraile Juan de Torquemada:

> …y es cosa tan fuerte, que desde que se hizo, que ha (sic) más de sesenta años, hasta ahora no se ha quebrado parte del caño, ni ha rezumado el agua, que es cosa muy ordinaria en otros, por ninguna parte de él…, donde se echa de ver la grandeza de la obra y como tuvo este bendito religioso mucha mano y ayuda de Dios para hacerla (Torquemada, 1969).

Este testimonio representa una evidencia clara y veraz de la resistencia de la obra, por ejemplo, las obras actuales se hacen para una vida útil estimada de 50 años, por lo que ya el dato de sesenta años de uso en buenas condiciones es significativo, aunque, como ya se mencionó, en otras fuentes se establece para el acueducto del padre Tembleque un uso de más de 200 años (Acosta, 2011).

Entonces, el acueducto es una obra ecológica, según parámetros actuales, con una concepción acorde con el paisaje, construida principalmente con materiales naturales respetando la fisonomía natural, llevando el recurso del agua para el desarrollo de la población sin comprometer su hábitat.

Los principales factores que contribuyen a la durabilidad de la arquería mayor son: a) la selección cuidadosa de piedras sanas y su corte esmerado, a lo cual contribuyeron los trabajadores naturales con su destreza evidenciada con las construcciones que habían hecho antes de la llegada de los españoles, y b) el mortero de cal y arena con adiciones puzolánicas, lo que permite aumentar su dureza y resistencia.

Por los efectos del ambiente durante tantos años, la resistencia de la mampostería ha disminuido seguramente. En 1990 (mediante pruebas no destructivas) se hizo un estudio de dureza en piedras y mortero con el aparato llamado esclerómetro. En 25 puntos de medición en piedras se obtuvo un promedio de 54, con coeficiente de variación de 31% y en igual número de puntos de medición en el mortero se obtuvo promedio de 34 con coeficiente de variación de 22%. Aunque estos datos son relativamente escasos permiten contar por lo menos con un estimado general acerca de la resistencia de los materiales.

La resistencia mínima de las piedras es de 150 kg/cm^2, mientras que la resistencia mínima probable del mortero es de 110 kg/cm^2. Con esto se puede inferir la resistencia mínima probable para el conjunto de la mampostería: entre 25 y 35 kg/cm^2. Esta apreciación es compatible con datos reportados por Meli (1998) que propone para mamposterías antiguas de buena calidad una resistencia de 30 kg/cm^2, con base en pruebas de laboratorio. Por lo tanto, se puede asegurar que la Arquería Mayor, a pesar del seguro deterioro de tantos años, sigue contando con un índice de resistencia alto.

Algunos efectos de los fenómenos naturales que más afectan a las estructuras son:

Gradiente térmico en su variación diaria y a plazos mayores de años y siglos. En la zona se pueden esperar gradientes diarios de 15 °C en verano y 20 °C en invierno, con un promedio de oscilación diaria de 17 °C (tomando en cuenta que el coeficiente de dilatación térmica de la mampostería es de $8x10^{-6}$ por grado, se tiene que la deformación máxima en sentido longitudinal es de 12.2 cm y en sentido vertical de 0.52 cm), lo cual significa que la estructura del acueducto ha tenido que acomodar el efecto de contracciones y dilataciones de ese orden cada día durante 450 años, o sea 164 250 repeticiones.

En las estructuras modernas para controlar los efectos térmicos se pueden utilizar juntas constructivas o de dilatación, funcionando como discontinuidades para que los esfuerzos por deformaciones no sean tan altos dependiendo del tipo de estructuras. La distancia entre juntas se propone entre 30 y 50 m en el caso de la Arquería Mayor se tienen más de 900 m sin ninguna junta.

Ciclos de humedecimiento y secado. En esta parte interviene el régimen de lluvias y la humedad relativa, en este sentido, las condiciones de la zona no son desfavorables, ya que la zona es relativamente seca con volumen de lluvia de 600 mm anuales y humedad relativa de 38%, sin embargo, al considerar tantos años que han pasado y la natural porosidad de las piedras sorprende los pocos daños por humedad, manifestándose nuevamente la consistencia e integridad del mortero (en otros casos de estructuras de mampostería antiguas, la degradación del mortero representa, por así decirlo, el talón de Aquiles de las estructuras antiguas).

Fauna y flora nocivas. Por la misma razón del caso anterior, este efecto no es severo al no haber mucha humedad y las especies de animales no son abundantes, incluso en la zona es frecuente ver, en construcciones de menor antigüedad, cómo crecen plantas entre las juntas debilitándolas, y algunas

especies de roedores deterioran los cimientos al hacer sus madrigueras entre las piedras de la cimentación.

Erosión por lluvia, granizo y viento. Afortunadamente los posibles efectos de la erosión se presentan en periodos de tiempo muy largos, del orden de miles o millones de años, aspecto que sale de cualquier previsión humana, entrando más bien al terreno de las especulaciones.

La acción destructiva intencional. Muchos casos de estructuras antiguas han sido destruidos sistemáticamente al buscar utilizar los materiales de construcción para otros usos. En este acueducto, la destrucción intencional no ha sido tan dañina como en otros casos, aunque el caso presente no se salva de esta situación, pues grandes tramos de la bóveda que cubría el canal han desaparecido, y otros componentes del acueducto dejaron de existir o se encuentran incompletos.

En cuanto a efectos extraordinarios que pudieran causar el colapso de la arcada, se pueden mencionar: **Vientos de muy alta intensidad.** Según cálculos hechos el riesgo de falla por efectos del viento es improbable, a menos que se presentara una tromba o tornado con vórtices alternantes que causaran la inestabilidad dinámica.

En la literatura se reporta que después de terminado el acueducto y estando el fraile Francisco de Tembleque en el monasterio de Zempoala ocurrió un tornado extraordinario que los antiguos mexicanos llamaban Xiuhcoatl; el autor mencionado describe este fenómeno como "la serpiente de agua y fuego, casi en las goteras de Zempoala, estira, pesadísimo y negro, su cuerpo demoniaco, hasta que al contacto con el suelo reviente su espasmo, y a coletazos barra convirtiendo en basura ridícula cuanto alcance" (Valdés, 1945). En esa ocasión, los daños reportados se debieron a los rayos que dañaron considerablemente al templo en su estructura y su decoración y dejaron tuerto al fraile Francisco. No se reportó ningún daño al acueducto.

Movimientos sísmicos de gran intensidad. Según los cálculos hechos, un sismo de la máxima intensidad esperada en la zona, conforme a la normativa actual, puede provocar una condición cercana a la falla, o sea, de forma aproximada la arcada principal, también conocida como arquería mayor, puede soportar aceleraciones hasta de 60 cm/seg^2 lo que equivale aproximadamente a un intensidad entre VI y VII en la escala de Mercalli. Es de presumirse que no se han presentado movimientos sísmicos de esa intensidad en la zona, de otra manera la arcada ya hubiera colapsado. Sin embargo, la falla por sismo se encuentra latente.

Esto hace necesario mantener en buen estado la arcada mayor, mediante la reparación oportuna de las grietas o daños que pudieran aparecer (recientemente se han realizado reparaciones en las juntas dañadas por parte del INAH con la asesoría técnica del Instituto de Ingeniería, UNAM). Una tarea pendiente será realizar un estudio detallado para establecer de forma precisa el nivel de riesgo, es posible que se requiera un tipo de reforzamiento estructural para garantizar la estabilidad en caso de un sismo extraordinario en la zona, de lo contrario este patrimonio podría perderse para siempre. De forma aproximada la probabilidad de falla para un sismo intenso que causara aceleraciones en el terreno del orden de 100 cm/seg^2 es de 1%, éste es un valor muy alto, es decir, de presentarse la falla parcial o total de la arcada mayor será probablemente por un terremoto intenso.

Como consecuencia de lo anterior, es altamente recomendable establecer una estación compacta en la zona que permita el monitoreo de la velocidad del viento, las aceleraciones sísmicas, la intensidad de lluvia, la humedad relativa y la presencia de contaminantes. Los datos obtenidos en una estación de este tipo serán importantes para futuras investigaciones relacionadas con la arcada mayor y el acueducto en general, así como para establecer estrategias de mantenimiento.

Asentamientos del terreno. La morfología de la zona está compuesta principalmente por roca volcánica, con una capa relativamente delgada de suelo, además los sólidos cimientos de la arquería profundizados hasta el estrato de roca viva hacen poco probable la generación de asentamientos sobre el suelo. Los cálculos realizados indican que la parte más pesada trasmite al terreno una fatiga máxima de 70 ton/m^2 resultando apenas 5% de la capacidad de la roca, permitiendo asegurar que no se presentarán asentamientos.

Inundaciones. En el fondo de la barranca que cruza la arquería pasa un arroyo convertido actualmente en drenaje con poco tirante de agua. Por la forma y algunas evidencias el nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME) se encuentra aproximadamente a 5 m del lecho del arroyo, lo cual significa que el agua puede rebasar el cuerpo bajo de la arquería, dejando insuficiente el pequeño arco de desagüe inferior, esta parte de la estructura funcionaría como una represa, elevándose el tirante de agua hasta unos siete u ocho metros y el agua pasaría sobre la mampostería del cuerpo inferior. Para disminuir el riesgo de daños por inundaciones se recomienda construir una obra de control hidráulico aguas arriba, para lo cual se deberá desarrollar un proyecto específico.

Choque de ferrocarril. Aunque con poca probabilidad se podría presentar el descarrilamiento de un ferrocarril, una vía pasa por debajo del segundo arco hacia el poniente, tomando como referencia el arco central, por lo tanto, una locomotora o un furgón podría impactar uno de los soportes (los cuales en esa parte son altos y esbeltos), por consecuencia, causar daños o una falla parcial se deberá considerar una obra de protección que impida a un ferrocarril salirse de su carril, o mejor aún desviar la trayectoria de la vía fuera del rango de la arquería.

Otros riesgos como atentados con explosivos, choques con aeroplanos o proyectiles tendrían probabilidad de ocurrencia muy escasa, sin embargo, no estará de más establecer la vigilancia y protección necesarias. Eventos muy raros como choque de meteoritos, nacimiento de un volcán o la presencia de una falla geológica activa pudieran ocurrir, pero nada práctico se podría hacer para prevenir tales eventos.

Medidas de prevención y mantenimiento

Si se acepta el dato de que el acueducto ha funcionado por 200 años, se puede suponer que durante ese tiempo se tomaron medidas para mantener sus

componentes en buen estado, una vez interrumpido su uso el deterioro fue progresivo, pues se tienen 242 años sin protección, además de presentar alta vulnerabilidad ante mutilaciones y maltratos, por lo que se requiere establecer de forma urgente un programa de protección y mantenimiento que tome en cuenta los trabajos que últimamente ha hecho el Patronato Acueducto Tembleque A.C. (Acosta, 2011) y otras asociaciones civiles.

En su momento, se tendrá que discutir si se mantienen los restos en su estado actual o si se restauran algunos de sus componentes o todo el acueducto devolviéndole su función inicial con propósitos sociales, turísticos o partiendo de la idea de declararlo como monumento histórico.

De forma estimativa se establece la duración de la obra aproximadamente otros 450 años o más, dependiendo de las condiciones en que se mantenga y las medidas tomadas para disminuir los riesgos antes mencionados. El peligro más significativo de falla corresponde al efecto de sismos intensos, para disminuir el riesgo en teoría se requieren elementos de refuerzo, pero éstos cambiarían en alguna medida su fisonomía, lo que no es deseable si se quiere mantener como un monumento histórico (se trata de un asunto delicado que el comité a cargo deberá resolver, en su oportunidad).

La cimentación no muestra signos de debilidad, pero se puede, previo estudio analítico y de factibilidad, rigidizar la cimentación tratando en su caso de hacer el sistema menos vulnerable ante los efectos sísmicos, mientras tanto, lo más inmediato será mantener la estructura sin daños y lo más sana posible.

Para la conservación de esta obra, en particular de la arcada mayor, se considera necesario establecer una instancia de conservación del acueducto con las tareas principales de: a) inspección permanente; b) inferir diferentes niveles de afectación y riesgo; c) establecer los métodos de reparación y refreno; d) programa de mantenimiento anual; e) evaluar riesgos de formar dinámica, elaboración de estudios especializados de vulnerabilidad incorporando las modificaciones; f) fijar criterios y estrategias con base en la función hidráulica (en caso de que se rehabilite esta función).

Conclusiones y aspectos sobresalientes

Es la construcción de la época colonial de mayor longitud y arcos de mayor altura, además una de las más tempranas.

La pendiente o gradiente en la mayor parte de la longitud se encuentra entre 0.24 y 0.26%, menor que en la mayoría de los casos de acueductos similares, suponiendo un trazo muy depurado, y un control preciso de la pendiente.

Los 38 m de altura y el claro de 17 m hace del arco principal del puente, en la Barranca del Papalote, el de mayor esbeltez y ligereza de todos los acueductos construidos durante la colonia, comparable a los más famosos acueductos romanos que se conservan.

Las características geométricas y estructurales de la arcada principal corresponden a las disposiciones establecidas en los tratados de Vitruvio, lo cual no puede ser obra de la casualidad, es decir, el autor de este acueducto conocía y sabía cómo aplicar esta información.

Existen evidencias del uso de niveles de agua y escuadras con plomada para controlar la pendiente y el uso de instrumentos de medición estableciendo el trazo correcto, controlando la pendiente del canal y flujo del agua.

El hecho de la conservación en buen estado de los componentes principales del acueducto, y en particular de la arcada principal por más de 450 años, hace ver que fue una obra bien concebida y construida; no en vano los contemporáneos la llamaron "una de las maravillas del mundo".

Existen suficientes razones para declarar esta obra Patrimonio Mundial al tomar en cuenta el buen desempeño hidráulico y estructural, la calidad y durabilidad de la construcción, así como sus características arquitectónicas, pero también al tomar en cuenta otros aspectos intangibles: la singular capacidad técnica y organizativa del fraile Francisco de Tembleque y la participación decisiva de los trabajadores del pueblo, principalmente los naturales que aportaron, además de su fuerza de trabajo, su sapiencia constructiva.

Referencias

Acosta Barrera, Guillermina (2011), *Acueducto Tembleque: obra hidráulica del siglo XVI*. Patronato Acueducto Tembleque A.C.

Hernández Rodríguez, Rosaura (1976), "La vivienda prehispánica en el Altiplano de México, en: *Revista de Indias"*, núms. 143-144, enero junio, Instituto de Investigaciones Históricas, Universidad Nacional Autónoma de México.

Landels, J. G. (1978), *Engineering in the Ancient World*. University of California Press.

Meli, Roberto (1998), *Ingeniería estructural de los edificios históricos*, Fundación Ingenieros Civiles Asociados.

Ramírez de Alba, Horacio (1991), *La construcción en el Estado de México: un estudio técnico con referencia histórica*, Toluca, El Colegio Mexiquense.

Rivera Villareal, Raymundo (2000), *El extraordinario concreto prehispánico en México. Parte II. Desarrollo de los techos planos de concreto*, CIENCIA UANL / vol. III, núm. 3, pp. 247-253.

Rivera Villareal, Raymundo (2001), "El extraordinario concreto prehispánico en México. Parte III". El cálculo mineralógico aplicado a monumentos antiguos, CIENCIA UANL / vol. IV, núm. 1, pp. 12-19.

Romero de Terreros, Manuel (1949), *Los acueductos de México en la historia y en el arte,* Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Estéticas.

Torquemada, Fray Juan de (1969), *Monarquía Indiana (Madrid 1723),* México, Editorial Porrúa.

Valdés, Octaviano (1945), *El Padre Tembleque*, Biblioteca Enciclopédica del Estado de México, editorial Jus.

Vitruvius Pollio, Marcus (1960), *The ten books of architecture,* Nueva York, Dover.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Parte de la arquería de Santa María Tecajete y al fondo en cerro del Tecajete.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Arcos ubicados al interior de la Hacienda de Santa María Tecajete.



Capítulo V · Paisaje natural

Análisis y presentación de resultados del paisaje cultural del Acueducto del Padre Tembleque

Jesús Enrique de Hoyos-Martínez
María Carolina de Hoyos-Vargas
Mónica Yesenia Andrade-Martínez
Universidad Autónoma del Estado de México



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Vista aérea de la zona geográfica donde se localizan los manantiales, Santa María Tecajete, Hidalgo.

El paisaje cultural del Acueducto del Padre Tembleque es producto del paso del tiempo y la relación hombre-naturaleza. Esto hace emerger el proceso cultural, además de reconocer en el espacio-tiempo los componentes que dan sentido y configuran la región noreste en la que confluyen los estados de México e Hidalgo, entidades federativas de la nación mexicana.

> El patrimonio cultural responde en su creación y su significado, a una matriz cultural conformada por un conjunto de símbolos históricos que expresan y reproducen una identidad distintiva. Por lo tanto, es una construcción sociocultural que adquiere valor y sentido para aquel grupo que la realizó, heredó y conserva. Por ser una construcción sociocultural que se desarrolla en el tiempo el patrimonio es dinámico y cambiante (Aceves, 2011: 57).

México cuenta con regiones preñadas de historia y cultura, tal es el caso del Acueducto del Padre Tembleque. Éste se configura como un lugar de belleza excepcional, reconocido por su riqueza en especies endémicas de flora y fauna en sus espacios naturales, que a lo largo de los cuarenta y dos kilómetros se hacen presentes.

México es una de las cuatro naciones con mayor número de especies animales y vegetales, por ello se le asigna y denomina dentro de los países "megadiversos"; alberga entre el 60 y 70% de la diversidad conocida en el planeta (CONABO, 2012). Cabe señalar que el reconocimiento de flora y fauna en México data de apenas 100 años, por lo que hoy debemos comprometernos con el reconocimiento y protección de la diversidad natural en las diferentes regiones.

Por su parte, el acueducto es producto de los diversos momentos de la historia, según recuentos de investigadores, como Reyes Mendiola y Tenorio & Tapia Osorio, en el país se cuenta con más de 110 mil monumentos históricos y 29 mil zonas arqueológicas en funcionamiento o abiertas al público, pero es posible que ciudades muertas como espacios arqueológicos sumen más de 200 mil (Reyes *et al*., 2009).

En la región estudiada se encuentran dos conventos de órdenes religiosas diferentes, al menos cuatro haciendas incorporadas en el núcleo de protección y veinte en el entorno más próximo, muchas de ellas fueron, en algún tiempo, destinadas a la explotación del pulque. En la actualidad también se reconocen localidades de ambas entidades federativas como pueblos con encanto o mágicos, según la clasificación que se aplique (federal o estatal).

Por otro lado, el patrimonio intangible cuenta con un sinnúmero de festividades patronales, también las prácticas gastronómicas, que son verdaderamente excepcionales, todo esto habla de una serie de comunidades relevantes para la región y de impacto nacional por ser referente para la consolidación de un grupo y/o nación. En ese sentido, en el presente capítulo se estudiará el paisaje cultural que está conformado por los componentes naturales, propios de la región, mismos que nos proponemos analizar de forma breve, en relación con el Acueducto del Padre Tembleque.

En un primer momento se considerarán los aspectos históricos, posteriormente se hará referencia a la normatividad que regula el patrimonio edificado y natural, finalmente nos concentraremos en los aspectos físicos, naturales y del espacio edificado a partir de la metodología del paisaje, desde las perspectivas o múltiples visiones que ofrece la región de estudio. Es necesario recalcar: el paisaje cultural se abordará como un artefacto que construye una red de relaciones, en ese sentido, es producto de la relación del hombre con la naturaleza.

Aspectos históricos: construcción de un paisaje cultural con la fusión técnica de edificación de dos mundos

La obra hidráulica (fusión de técnicas constructivas) es la creación del paisaje cultural del Acueducto del Padre Tembleque con base en el orden establecido en la segunda mitad del siglo XVI. A mediados del siglo XVI se ideó un sistema hidráulico que abasteció de agua al pueblo de Otumba, así como a varios pueblos aledaños, uno de sus objetivos fue reducir el impacto ambiental provocado por la conquista con el cambio de hábitos de vida y consumo. Su origen se localiza en los manantiales del cerro del Tecajete, hoy Estado de Hidalgo, cuyo destino es el municipio de Otumba, Estado de México.

Con la llegada de los españoles, la población de Otumba, que era muy dispersa, fue reestructurada por medio de las congregaciones y después mediante las repúblicas de indios, esto con la finalidad de tener un mejor control social y asegurar mano de obra para la construcción, tanto de edificios religiosos como civiles.

El trazo del acueducto contribuye a reorganizar el espacio regional. En la actualidad, se describe la transformación del territorio como resultado del incremento en el suministro de agua en la región, así, la abundancia generada en las haciendas pulqueras, los pueblos y en general el asentamiento humano se gesta como resultado de la existencia de nuevas fuentes de abastecimiento de agua.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Vista del patio interior de la Hacienda de Santa María Tecajete.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Vista aérea de los Arcos de la Hacienda de Guadalupe.

Regulaciones del patrimonio cultural

Normatividad del manejo del Patrimonio Natural

México cuenta con varias normas para el manejo y control del patrimonio natural, estas Leyes Federales son de diversa índole (ver tabla 1).

Tabla 1. Leyes Federales y Estatales para la Conservación del Paisaje Natural

Descripción	Autor	Fecha
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente: Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación	Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (México)	Última reforma: 01-06-2012
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente / delitos ambientales	Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (México)	
Ley Federal de Responsabilidad Patrimonial del Estado	Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos	31 -12- 2004
Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas	Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos	Última reforma: 09 -04- 2012
Ley General de Vida Silvestre	Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos	Última reforma: 06 -06- 2012
Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable	Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos	Última reforma: 04 – 06- 2012
Ley de Desarrollo Forestal Sustentable para el Estado de Hidalgo	Congreso del Estado Libre y Soberano de Hidalgo	Periódico oficial: 07 – 08- 2006

Fuente: elaborado por María Carolina de Hoyos Vargas con base en las leyes mencionadas (2004, 2006, 2012 y 2015).

De igual manera, en la tabla 2 se presentan las políticas ambientales que tienen como propósito dar a conocer las bases para conservar la vida natural, en ella se consideran tres ordenamientos:

Tabla 2. Políticas Públicas Ambientales

Descripción	Autor	Fecha
Políticas ambientales territoriales de protección, conservación, restauración y aprovechamiento	Análisis aportado por la Universidad Autónoma del Estado de México	
Actualización del Modelo de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de México	Gobierno del Estado de México	27 -05- 2009 Gaceta de Gobierno No. 95.

Fuente: elaborado por María Carolina de Hoyos Vargas con base en el listado de las Leyes y Normas de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2009).

El siguiente código menciona la biodiversidad en el Estado de México y presenta las características incluyentes, con la finalidad de frenar la sobrerregulación que existe en materia ambiental:

Tabla 3. El Código de la Biodiversidad

Descripción	Autor	Fecha
Código para la biodiversidad del Estado de México	Gobierno del Estado de México	Gaceta de Gobierno No.83 3-05-2006

Fuente: elaborado por María Carolina de Hoyos Vargas con base en el listado de Leyes y Normas de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2006).

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) son los estatutos técnicos definidos mediante la información, requisitos, especificaciones, procedimientos y metodología, a partir de las disposiciones de las distintas dependencias gubernamentales con el propósito de preservar el ámbito natural mediante la definición de parámetros de evaluación, tendientes a evitar los riesgos tanto a la población como al ambiente que lo circunda (Consumidor, 2010). En la tabla 4 se relacionan aquellas que fueron consideradas como relevantes para el proyecto:

Tabla 4. Normas Oficiales Mexicanas

Descripción	Autor	Fecha
NOM-059-Semarnat-2010 Protección ambiental - especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales	20 -03- 2003
NOM-115-Semarnat- 2013 Establece las especificaciones de protección ambiental que deben observarse en las actividades de perforación y mantenimiento de pozos petroleros terrestres para la explotación y producción en zonas agrícolas, ganaderas y eriales, fuera de áreas naturales protegidas o terrenos forestales.	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales	02 -08-2004

Fuente: elaborado por María Carolina de Hoyos Vargas con base en el listado de Leyes y Normas de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2003, 2004 y 2010)

A continuación, se identifican algunas instancias a nivel internacional que son importantes por la generación de programas, convenios y coordinaciones establecidas para la observancia a escala internacional (ver tabla 5), pues sirven de guía para la conservación y protección del ambiente que en este trabajo identificamos y reconocemos como paisaje natural.

Tabla 5. Internacional

Descripción	Autor	Fecha
Comisión de Desarrollo Sustentable de las Naciones Unidas (CDS)	Coordinación de Semarnat con dicha comisión	Desde 1992
Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)		Desde 1972
Convenio sobre Diversidad Biológica	Primer Acuerdo Mundial	Entró en vigor el 29 de diciembre de 1993, en México
Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza		Fundada en octubre de 1948

Fuente: elaborado por María Carolina de Hoyos Vargas con base en el listado de Leyes y Normas de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (1948, 1972, 1992 y 1993).

Análisis de los componentes del paisaje natural

Consideración del ambiente físico natural para la protección y conservación

El término "patrimonio" hace referencia a los bienes que configuran el patrimonio cultural de una comunidad a partir de las prácticas y la relación con los inmuebles. La conformación del Bien es resultado del tiempo y espacio configurado, es decir, nos encontramos en un ámbito de relaciones complejas producto de la relación espacio-tiempo, de esta manera se establece un vínculo estrecho con el urbanismo contemporáneo, como materia de estudio. Por ello, ésta se asume como una visión de complejidad al establecer mecanismos mucho más amplios que los tradicionales y multidisciplinarios para su conservación y protección (Reyes *et al.*, 2009).

Hoy la estructura territorial, vista como patrimonio, en palabras de Reyes *et al.* (2009), se ve en el contexto urbano como resultado de mirar el objeto inmueble en el conjunto o entorno inmediato que se reconocen, como sitios y conjuntos históricos, al ser relevante el continuo urbanizado, o bien transformado en su conformación y configuración.

En la Carta de Venecia (1964), artículo 1, la definición de monumento histórico es la siguiente:

> La noción de monumento histórico comprende la creación arquitectónica aislada así como el conjunto urbano o rural que da testimonio de una civilización particular, de una evolución significativa, o de un acontecimiento histórico. Se refiere no sólo a las grandes creaciones, sino también a las obras modestas que han adquirido con el tiempo una significación cultural (ICOMOS, 2013, 1965).

En este orden de ideas, el espacio edificado no es el único valor relevante, pues todo bien mantiene su ámbito en la identidad cultural regional (Reyes *et al.*, 2009).

1. El sito en el análisis de los recursos bióticos y abióticos

La ubicación geográfica del Acueducto del Padre Tembleque está en el Altiplano Central, pertenece a la cuenca de México, alimentada por el Río Pánuco. La parte norte del acueducto está localizado en el municipio de Zempoala, Estado de Hidalgo, por el lado sur contempla tres municipios del norte del Estado de México (Nopaltepec, Axapusco y Otumba). Las características ecológicas del bien propuesto corresponden a un clima de bajo nivel de precipitación pluvial que lo caracteriza como semidesértico con precipitación anual de 655.4 mm.

El acueducto da inicio a pie del cerro del Tecajete, Zempoala, Hidalgo con ocho manantiales, la altitud es de 2 548 msnm, el agua fluye hacia la hacienda de Tecajete donde se ubica la primera arquería con una altitud de 2 535 msnm y a escasos 150 m de este punto se hace una bifurcación: una va hacia la cabecera municipal de Zempoala que presenta una altitud de 2 449 msnm y la otra corre en dirección a Otumba en el Estado de México con una altitud de 2 378 msnm.[1]

La orografía de la región en la que se enclava el Acueducto del Padre Tembleque la conforman numerosos valles localizados entre cerros y serranías aisladas. El relieve es predominantemente plano, sin embargo, se cuenta con los cerros La Herradura, Los Pitos, el Cerro de Tecajete, Cerro Colorado y Cerro Pelón. El acueducto circula principalmente por llanuras con lomas; sin embargo, la región no cuenta con elevaciones de importancia.

La estructura geológica de la región se conforma de diversos tipos de rocas de origen ígneo y sedimentario. Las actividades que caracterizan, por el uso del suelo, agrícola (50 y 75%); superficie en el que predominan los cultivos de temporal y permanente, se cosecha el maguey, nopal y en la actualidad los forrajes; el otro uso es pecuario, forestal y pastoreo como zonas de agostadero; el uso urbano es el de menor proporción. Una de las características hídricas de la región es la poca abundancia de cuerpos de agua, la manera de abastecimiento fueron, desde tiempos pasados, los sistemas alternativos de recolección de agua de lluvia, a través de los jagüeyes, bordos, aljibes y pequeñas presas, permitiendo a la población el abastecimiento, así como la generación de alimento para el consumo humano.

[1] Como resultado de los estudios realizados por el grupo de investigación de Ingeniería que encabeza el Dr. Horacio Ramírez de Alva, se confirma la diferencia de 170 metros entre el punto más alto y el más bajo del acueducto, razón por la que su gradiente medio (pendiente) es de apenas 7.7%.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Muestra de una de las actividades económicas que se desarrollan a lo largo del acueducto.

La flora silvestre (nativas y endémicas) se compone de matorrales xerófilo, sobre todo el maguey, nopal, cardón, yuca: flora de la que depende gran parte de la economía de la región. Los arbustos y árboles más frecuentes son el pirul, el pino y la uña de gato, por sus nombres comunes estas especies conforman principalmente el paisaje de la región, además de contar con un sin número de plantas medicinales (Rzedowski, 2006). La fauna se encuentra conformada por ardillas, conejos, mapaches, entre otros; cabe señalar que la fauna ha disminuido notablemente, producto de la urbanización, el proceso de colonización y de producción agrícola en la región.

2. Calidad paisajística del Acueducto del Padre Tembleque

Resulta pertinente establecer, entre otros elementos de juicio, la calidad paisajística que relaciona aspectos tanto naturales como culturales, esto a través de la metodología propuesta por la Convención Europea del Paisaje, firmada en Florencia, Italia, en 2000.

El paisaje se define como "cualquier parte del territorio, tal como es percibida por las poblaciones, cuyo carácter resulta de la acción de factores naturales y/o humanos y de sus interrelaciones" (Naranjo, 2006), por lo tanto, para determinar la calidad paisajística de la región que configura el recorrido del Acueducto del Padre Tembleque se contemplan elementos tanto culturales como naturales.

2.1 Determinación de recursos visuales

Los elementos constitutivos del paisaje lo estructuran diversos componentes, uno de ellos es la catalogación, la cual se determina por los recursos visuales; se desglosa en diferentes puntos. De forma breve se relacionan a continuación: áreas de interés escénico, hitos visuales de interés, cubierta vegetal dominante, cuerpos de agua e intervención humana:

a) Áreas de interés escénico: es aquello que otorga valor estético, como las cuatro arquerías que constituyen el acueducto. El río Papalote cruza la arquería mayor, las haciendas pulqueras de las diferentes localidades, los exconventos Agustino y Franciscano, la estación del tren, las texturas de la flora (maguey y nopales, principalmente), también la diversidad de flora y fauna, y el clima por el cambio de regiones a través del recorrido del acueducto.

b) Hitos visuales de interés: este rubro se configura con la organización de la producción en la región y algunos sitios. El Acueducto del Padre Tembleque se sirve de cinco arquerías, del que se despliegan, a través del paisaje, los exconventos de Otumba, Franciscano, La Purísima Concepción, en Zempoala, el de Todos los Santos y el exconvento de San Andrés. Las cabeceras municipales de Nopaltetec y Axapusco reconocidas como pueblos con encanto o mágicos que cuentan con iglesias y capillas. También las haciendas pulqueras configuran el núcleo del Acueducto, entre las que se consideran las de Casa Grande, La Trinidad, Tecajete, Xalael, entre otras. Estos son algunos hitos localizados en el trayecto como parte del paisaje.

c) Cubierta vegetal dominante: propicio para la reproducción de plantas xerófilas, las principales son el maguey y el nopal. Se observan árboles y una gran variedad de hierbas, verduras, plantas medicinales y de ornato, así como pastos nativos en forma silvestre.

d) Cuerpos de agua: se localiza en la cuenca del Pánuco, en él se sustenta la región en la micro cuenca del río Papalote, además de los manantiales (noreste del cerro Tecajete).

e) Intervención humana: la estructura más extensiva, importante y notoria en el paisaje es la construcción del Acueducto del Padre Tembleque.

3. Componentes del paisaje del Acueducto del Padre Tembleque

Los componentes analizados del paisaje son biofísicos y arquitectónicos. Para efectuar un análisis más detallado y metodológico se realizará una breve descripción de los elementos biofísicos del paisaje natural (ver tabla 6).

Tabla 6. Componentes boifísicos del paisaje.

Componentes	Características principales
Relieve	Eje Volcánico Transversal.
Suelo y roca	Está constituido, en su mayor parte, por rocas volcánicas, así como por depósitos sedimentarios fluviales y de rocas dominantemente calcáreas y ubisoles.
Agua	Región del Pánuco; micro cuencas como el río Papalote.
Vegetación	Plantas Xerófilas. En cuanto a la existencia de árboles, sobresalen el pirul, el pino, la mimosa, los mezquites, los truenos, los huisaches y la palma silvestre o de potrero. Además, es posible observar aún una gran variedad de hierbas, verduras, plantas medicinales y de ornato y pastos nativos en forma silvestre que integran el paisaje y que son aprovechadas de diferente manera por los pobladores.
Fauna	Se compone por vertebrados como el conejo, ardilla, zorrillo, tuza, cacomiztle, tlacuache, ratón de campo, lagartija, onza, zorro, víbora cascabel, víbora de agua, culebrita de piedra, cencuate, burro, caballo, mula, vaca, borrego, cabra, cerdo; algunas aves (gallina, paloma, aguililla, gavilán, pato, codorniz, zopilote y correcaminos, cenzontle, colibrí, verdugo, llanero, gorrión, pájaro pirulero, chachalaca, calandria, pájara vieja, chichicuilote y tordo), así como por una variedad de artrópodos (alacrán, tarántulas, avispas, abejas, jicotes, araña roja, hormiga roja, araña capulina y araña zancuda).
Clima	Semidesértico, con una media anual de 14.8 °C y una precipitación anual total de 655.4 mm.

Fuente: Ingenieros y Científicos Consultores, Walsh Perú S.A. (2009).

Además de los componentes biofísicos del paisaje también es importante analizar los componentes arquitectónicos, los cuales son: la forma, la escala-espacio, la línea, el color y el fondo escénico, que describen en el cuadro que se presenta a continuación:

Tabla 7. Componentes arquitectónicos del paisaje

Componentes	Características principales
Forma	Percepción tridimensional del terreno con formaciones rocosas.
Escala-espacio	Se puede percibir un espacio panorámico del terreno a corta distancia, contiene elementos como el acueducto, que son a gran escala para la percepción visual a cerca y mediana distancia, similar a lo que sucede con algunas cajas de agua que conforman el acueducto.
Línea	Destacan los ejes horizontales y verticales; se pueden percibir de mejor manera si el observador está alejado.
Color	El color predominante es el café en invierno y verde en verano, en sus diferentes tonalidades.
Fondo escénico	El paisaje natural formado por el cielo y el relieve de alta calidad visual en cualquier época del año.

Fuente: Ingenieros y Científicos Consultores, Walsh Perú S.A. (2009).

4. Valoración de la calidad visual del paisaje

La calidad visual del paisaje se analiza mediante el método indirecto del Bureau of Land Management (BLM, 1996). Este método está basado en la valoración de las características visuales básicas de los componentes del paisaje (ver tabla 7). El modelo se construye a partir de la asignación de puntajes a cada componente del paisaje seleccionado, el puntaje se asigna según los criterios de valoración y la suma de los puntajes parciales permite definir la clase de calidad visual con base en la comparación, a través de una escala de referencia. (Agenda 21 Local de Campo de Criptana, Auditoría Sostenible). Como resultado de aplicación del método BLM (1996) el paisaje asociado con el Acueducto del Padre Tembleque cuenta con 14 unidades, en ese sentido la calidad visual del acueducto es de clase B, esto significa que su calidad es media, pues es un área cuyos rasgos poseen variedad en la forma, color y línea, comunes en la región estudiada (ver tabla 8) (Ingenieros y Científicos Consultores, Walsh Perú S.A. 2009).

Tabla 8. Resultados de la aplicación del método BLM (1980) en el paisaje del Acueducto del Padre Tembleque

Componentes	Puntuación
Morfología	1
Vegetación	3
Agua	0
Color	1
Fondo escénico	3
Rareza	6
Actuación humana	-
Total	14

Fuente: elaboró María Carolina de Hoyos Vargas con base en el Método BLM (1996).

5. Capacidad de absorción visual

Para determinar la capacidad de absorción visual se desarrolló la metodología de Yeomans (1986). Se sustenta en la asignación de un valor a los factores biofísicos del paisaje, la forma de evaluación de la capacidad de absorción visual se rige con la fórmula siguiente:

> Capacidad de Abosorción Visual = Pendiente x (Diversidad de Vegetación + Estabilidad del suelo y Erosionabilidad + Contrastes de Color + Potencial Estético + Actuación Humana)

$$CAV = S\ (E+R+D+C+V)$$

Donde:
CAV= Capacidad de Absorción Visual
S= Pendientes
D= Diversidad vegetacional
E= Estabillidad del suelo y erosionabilidad
C= Actuación humana
R= Potencial estético
V= Contrastes de color

Con base en los datos establecidos en el estudio de campo del Acueducto del Padre Tembleque se despeja la fórmula con los datos obtenidos y asignados en la tabla 9, de donde:

$$CAV = 2 \times (1+2+1+2+2) = 16$$

Los valores obtenidos ingresan a una fórmula quedando el resultado bajo la clasificación de una escala determinada (ver tabla 9). El paisaje del acueducto es de *clase B*, es decir *moderada*, ya que su paisaje es de absorción visual media con una variación no muy excesiva, salvo la intervención paisajística de gran magnitud (ver anexo 1).

Tabla 9. Aplicación del método Yeomans (1986) al paisaje del Acueducto del Padre Tembleque

Elementos	Valoración	
	Nominal	Numérico
Pendiente	Moderado	2
Diversidad vegetaciones	Bajo	1
Estabilidad del suelo y erosionabilidad	Moderado	2
Contrastes de color	Bajo	1
Potencial estético	Moderado	2
Actuación humana	Moderado	2
Capacidad de Absorción Visual	**Moderado**	**16**

Fuente: elaboración propia con base en la información del método de Yeomans (1986).



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Cerro de Santa María Tecajete.


Siempre fue mi Vocación
Es tu momento...

6. Fragilidad Visual

La fragilidad visual es el conjunto de características del territorio que inciden en la capacidad de respuesta de éste al cambio en sus propiedades paisajísticas. La evaluación se hace con base en el trabajo de Aguiló, quien define los factores biofísicos, de visualización, singularidad y visibilidad (Aguiló, 1992). El modelo se aplica a partir de puntos para cada consideración de los factores contemplados, posteriormente se calcula el promedio (ver tabla 10).

Tabla 10. Aplicación de la matriz Aguiló (1992) para la fragilidad visual

Factores	Elementos	Fragilidad del paisaje
Biofísicos	Pendiente	20
	Densidad vegetacional	30
	Contraste vegetacional	20
	Altura de la vegetación	30
Visualización	Tamaño de la cuenca visual	20
	Forma de la cuenca visual	30
	Compacidad	30
Singularidad	Unidad del Paisaje	10
Visibilidad	Accesibilidad visual	30
	Total	**220**
	Promedio	**24**

Fuente: elaboró María Carolina de Hoyos Vargas con base en la Matriz de Aguiló (1992).

Al considerar el rango que define la matriz de Aguiló (1992), el análisis del paisaje del Acueducto del Padre Tembleque cuenta con un promedio de 24 unidades, por ello, el recorrido le asigna una *fragilidad visual media*.

Valoración síntesis

Para determinar la valoración global del paisaje del acueducto, sabedores de que el paisaje cuenta con una apreciación psicológica sustentada en las características biofísicas, a partir de la identificación y selección de los componentes considerados en el proceso de valoración, los componentes se identifican con los factores físicos, como el uso del suelo, cubierta vegetal, acción antrópica, cuerpos de agua, relieve, colores y rasgos sobresalientes, con base en el método de Albuixech (1996), dado que considera tanto la calidad del paisaje como su fragilidad visual, adquirida para determinar la relación con la capacidad de uso de acuerdo a tres clases:

Tabla 11. Valoración global del paisaje

Clase 1 · Paisaje con alta calidad visual y alta fragilidad visual Todo paisaje que presente estas características deberá recibir un alto grado de protección y de conservación ante los posibles impactos paisajísticos.
Clase 2 · Paisaje con alta calidad visual y baja fragilidad visual Estos paisajes deberán destinarse a actividades en las cuales el paisaje constituya un factor de atracción y que causen poco impacto.
Clase 3 · Baja calidad visual y baja fragilidad visual Estos paisajes deberán destinarse a actividades poco gratas o que causen impactos muy fuertes, ya que estos paisajes tienen poco valor y su aspecto varía poco visualmente.

Fuente: elaboró María Carolina de Hoyos Martínez con base en el Método BLN (1980).

A manera de síntesis y recuento del análisis del paisaje del Acueducto del Padre Tembleque, podemos decir que éste se encuentra en la clase 2 de la valoración global del paisaje.

Anexos

Anexo 1. Valoración para la calidad visual del paisaje

Descripción

		Valor de calidad
		Numérico
Nominal		
Morfología	Baja	2
Colinas suaves, fondos de valle planos, poco o ningún detalle singular pendientes entre 0 y 15%.	Media	3
Formas erosivas interesantes o relieve variado en tamaño y forma. Presencia de formas y detalles interesantes, pero no dominantes o excepcionales.		
Pendientes entre 15 y 30%.	Alta	3
Relieve muy montañoso, marcado y prominente o bien relieve de gran variedad superficial o sistema de dunas o presencia de algún rasgo muy singular. Pendientes mayores a 30%.		
Vegetación	Baja	1
Poca o ninguna variedad o contraste en la vegetación.	Media	2
Alguna variedad en la vegetación, pero sólo uno o dos tipos.	Alta	1
Gran variedad de formaciones vegetales, con formas, texturas y distribución interesantes. Especies visualmente atractivas.		
Fauna	Baja	1
Ausencia de fauna de importancia paisajística.	Media	2

continúa...

Presencia esporádica en el lugar, especies poco vistosas o baja riqueza de especies.	Alta	3
Presencia de fauna permanente en el lugar, especies llamativas o alta riqueza de especies.		
Agua	Baja	1
Ausente o inapreciable.	Media	2
Agua en movimiento o en reposo, pero no dominante en el paisaje.	Alta	3
Factor dominante en el paisaje, apariencia limpia y clara, aguas blancas (rápidos, cascadas), láminas de agua en reposo, grandes masas de agua.		
Acción antrópica	Baja	1
Modificaciones intensas y extensas, que reducen o anulan la calidad escénica.	Media	2
La calidad escénica está afectada por modificaciones poco armoniosas, aunque no en su totalidad, o las actuaciones no añaden calidad visual.	Alta	3
Libre de intervenciones estéticamente no deseadas o con modificaciones que inciden favorablemente en la calidad visual.		
Fondo escénico	Baja	1
El paisaje adyacente no ejerce influencia en la calidad del conjunto.	Media	2
El paisaje circundante incrementa moderadamente la calidad visual del conjunto.	Alta	3
El paisaje circundante potencia mucho la calidad visual.		
Singularidad o rareza	Baja	1
Bastante común en la región.	Media	2
Característico, pero similar a otros en la región.	Alta	3
Paisaje único o poco corriente, o muy raro en la región; posibilidad real de contemplar fauna y vegetación excepcional.		

Fuente: modificado de Aguiló 1992.

Referencias

Aceves García, S. (2011), *Patrimonio Cultural en México*, en *fusda.org*. Consultado el 26 de junio de 2013, disponible en www.fusda.org/no 25 y 26.html

Albuixech, J. (1996), *La fragilidad visual del paisaje. Manual de paisajismo, Tema núm. 7*, España, Universidad Juame.

Agenda 21 Local de Campo de Criptana, Auditoría Sostenible. (s.f.), "Bureau of Land Managment (BLM, 1980)", en *Metodología y descripción del medio natural, Sistema natural y de soporte: agrícola, forestal e hidrológico*, consultado el 3 de julio de 2013, disponible en www.forosocialcriptana.com.

Aguiló, A. (1992), *Guía para la valoración del físico, cap. XI*, España, Ministerio de Obras Públicas Transporte (MOPT).

Bureau of Land Management - EE.UU. (1996), "Visual reource management system", en *Guía para la elaboración de estudios del medio físico*, España, Ministerio de Medio Ambiente.

CONABO (2012), *Dos décadas de historia 1992 - 2012*, México, Gobierno Federal.

Consumidor (2010), ¿Qué son las Normas Oficiales Mexicanas (NOM)? consultado en junio de 2013, disponible en: http://revistadelconsumidor.gob.mx/?p=7077

ICOMOS (1965), Carta Internacional Sobre la Conservación y la Restauración de Monumentos y Sitios (Carta de Venecia 1964), en *II Congreso Internacional de Arquitectos y Técnicos de Monumentos Históricos, Venecia 1964*, consultado el 25 de junio de 2013, disponible en www.icomos.org.

Ingenieros y Científicos Consultores, Walsh Perú S.A. (2009), "Walsh Perú S.A. Proyecto No. IND-1214", en *Nitratos de Perú*, consultado el 5 de julio de 2013, disponible en www.minem.gob.pe/minem/archivo/file/DGGAE/ARCHIVOS/estudios/EIAS%20-%20hidrocarburos/EIA/nitratos/1.0%20Introduccion.pdf.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación, última reforma 9 de enero 2015. http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/pdf/wo83191.pdf

Naranjo, Z. (2006), Convenio Europeo del Paisaje, en *www.upo.es*, consultado el 4 de julio de 2013, disponible en www.upo.es/ghf/giest/documento/paisaje/Zoido_elConvenioEuropeodelPaisaje.pdf.

Reyes Mendiola, R. L., Tenorio, L. M., y Tapia Osorio, S. (2009), *Perspectiva del patrimonio natural y edificado*, México, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Rzedowski, J. (2006), *Vegetación de México*, México, primera edición digital, Comisión Nacional para el Uso de la Biodiversidad (Gobierno Federal).

Yeomans, W. (1986), "Visual Impact Assessment: Changes in natural and rural environment", In Smardon, R.C., Palmer, J.E. and Felleman, J.P. Nueva York, *Foundation for Visual Project Analysis*, John Wiley and Sons.



Edgar Valdés Santiago -Valtiago- (2013). Santa María Tepeyahualco.



Capítulo VI · Biología

Biodiversidad y ambiente

Miguel Mayorga-Rojas
Felipe de Jesús Rodríguez-Romero
Raquel Hinojosa-Reyes
Fidel Vilchis-Romero
Iris Sarai Vilchis-García
Universidad Autónoma del Estado de México

Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Vista de la Arquería Mayor y del río Papalote.

A cada lugar lo baña un cúmulo de características particulares y con una estética natural definida. Es el caso de la construcción del Acueducto del Padre Tembleque.

Esta obra de más de 48 km de longitud es también un espacio que cuenta con una orografía distinguida, una variación de clima que lleva a la necesidad de un perfeccionamiento de la flora y fauna, situación digna de reconocer; además de poseer una biodiversidad amplia, cuenta con usos y costumbres importantes.

En el presente apartado se despliegan a grandes, pero puntuales rasgos, las características naturales más importantes, y la orografía. Veremos que de la ubicación estratégica del Acueducto surgen fenómenos naturales importantes y con ello procesos ecológicos y biológicos que muestran una biodiversidad amplia y digna de conocer para su preservación. Los intereses turísticos y el reconocimiento de este sitio como pueblo mágico son otras de las particularidades a resaltar en el trabajo.

Las etapas históricas que surgen por el paso del tiempo transforman el entorno, y la presencia humana es trascendente para el desarrollo y evolución productiva de cada lugar, ejemplo de ello es el Acueducto y la zona geográfica en la que se ubica, entre el estado de Hidalgo y el de México propiamente; este sitio cuenta con variaciones ecológicas, climáticas, de flora y fauna destacables, razones por las que se llena de riqueza natural y cultural, y lo hacen sumamente rico y poco explorado en nuestros días.

Finalmente, se mencionarán algunas de las amenazas más comunes que ponen a este complejo hidráulico en riesgo, tanto por su construcción como por ser un sitio importante para varias especies de fauna y flora; entre las que destacan el maguey, el nopal, la yuca; además de una gran variedad de plantas, de las que ha dependido la economía de la ecorregión en distintas épocas.

En este mismo sentido de amenaza al canal hidráulico, como se apuntará más adelante, hay un incremento desproporcional de turismo, que tristemente es quien más contribuye al deterioro, pastoreo no controlado, y el avance de la mancha urbana que afecta de manera directa al Acueducto.

Como notamos, son varias las particularidades a resaltar en cuanto a su biodiversidad, ambiente, conformación de zona edificada y natural.

Comenzaremos, pues, con el sistema orográfico y sus rasgos más distintivos que hacen del Acueducto del Padre Tembleque un sitio particular.

Orografía

Está constituida por cadenas montañosas integradas en un sistema orográfico. La zona norte se extiende dentro de la Altiplanicie Meridional, esta región presenta numerosos valles localizados entre cerros y serranías aisladas, el relieve es predominantemente plano, excepto por algunos cerros de la Sierra Madre Oriental, entre ellos se encuentran: La Herradura, Los Pitos, Cerro de Tecajete, Cerro Colorado y Cerro Pelón. La zona sur del Acueducto corre principalmente por llanuras con ondulaciones proporcionadas por lomas y pequeños cerros, los principales son: Cerro del Tlacoyo, Cerro Apio y Cerro San Miguel (ver mapa 1).

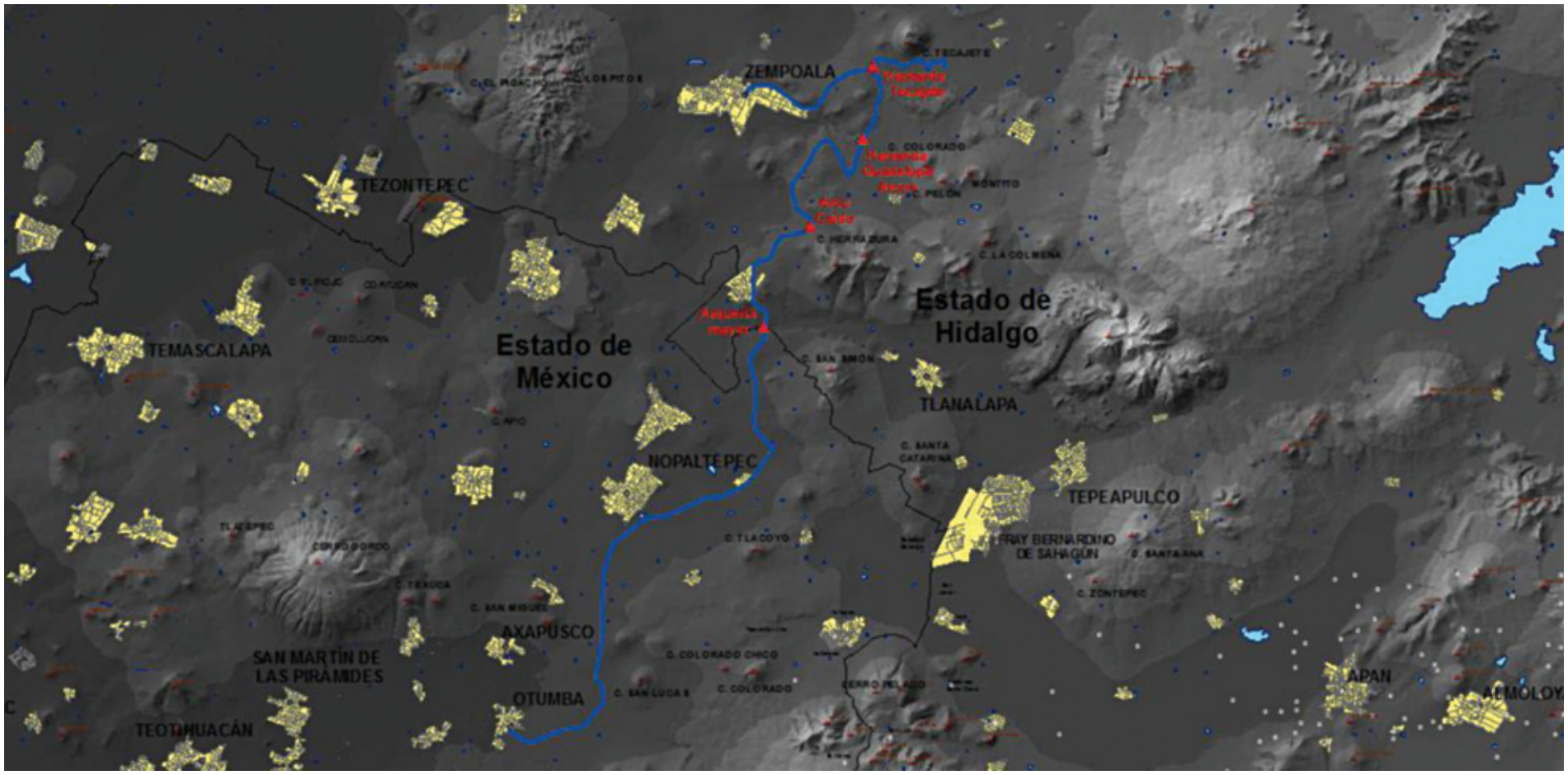
Las ecorregiones donde se ubica el Acueducto son sitios estratégicos de conservación de la biodiversidad; además, cumple con cuatro de los criterios que establece la UNESCO para considerar un sitio como patrimonio mundial:

- Representar fenómenos naturales notables o de áreas de una belleza natural y de una importancia estética excepcionales.
- Ser ejemplos eminentes representativos de los grandes estados de la historia de la tierra, comprendiendo el testimonio de la vida, de procesos geológicos en el desarrollo de las formas terrestres o elementos geomórficos o fisiográficos con gran significado.
- Ser ejemplos eminentes representativos de procesos ecológicos y biológicos en curso, en la evolución y el desarrollo de ecosistemas y comunidades de plantas y de animales terrestres, acuáticos, costeros y marinos.
- Contener los hábitat naturales más representativos e importantes para la conservación *in situ* de la diversidad biológica, comprendiendo aquellos donde sobreviven especies amenazadas que tienen un valor excepcional desde el punto de vista de la ciencia o de la conservación.

Estos criterios corresponden a la presencia y conservación del sitio, considerando las especies biológicas de valor excepcional.

Hidrografía

La hidrografía de la zona del Acueducto está conformada por ríos, lagos y lagunas que constituyen las aguas superficiales. Cuenta con pocos de los elementos mencionados, motivo por el cual desde la época antigua existían



Mapa 1. Orografía de la zona del Acueducto del Padre Tembleque / Fuente: elaboración propia, con base en INEGI 2010.

varios jagüeyes, aljibes, bordos y pequeñas presas, donde se recolectaba el agua en la época de lluvia. El río Papalote es el de mayor cauce y el único que corre en la zona. En la actualidad circulan por él aguas negras provenientes de Tepeapulco y Ciudad Sahagún (ver mapa 2).

Geología

La zona pertenece a una depresión del período Plioceno (último de la era Terciaria); estuvo ocupado por un mar interior, para la época Cuaternaria se había sedimentado. Es un valle de naturaleza volcánica que está cubierto por varios tipos de rocas de origen ígneo como andesitas, basaltos, brecha volcánica y toba; y sedimentario como arenisca y brecha sedimentaria. En su mayor parte (80%) el paso del Acueducto está asentado en suelos de tipo areniscas[4] y tobas[5]. Se localizan cuatro grupos edáficos de los 38 establecidos por la FAO-UNESCO (1988): feozem, litosol, luvisol y cambisol, que son de tipo arcilloso, calizo y rocoso, además de tobas amarillas y tepetate.

Clasificación y uso del suelo

Entre 50 y 75% de las tierras son agrícolas, que se utilizan para la siembra de cultivos de temporal, como el nopal y principalmente el maguey; en menor proporción granos de maíz, frijol, trigo y cebada; otro uso del suelo es pecuario, forestal y de pastoreo en zonas de agostadero. En proporción menor se hace uso urbano, donde están los asentamientos humanos (ver mapa 3).

Debido a la orografía, clima, hidrografía, vegetación y aprovechamiento de los recursos del suelo, la tierra no es muy fértil, es de temporal, pues las lluvias son escasas; la única producción importante que se tuvo fue la de agaves.

Clima

Las características ecológicas corresponden a un clima semidesértico. De acuerdo con la clasificación climática de Köppen (1948) hay dos tipos de clima: el seco estepario y el templado subhúmedo con dos gradientes de humedad, cuya fórmula es BS1kw (w)(i)g, con una temperatura media anual de 14.8 °C y una precipitación anual total de 655.4 mm, distribuyéndose entre los meses de julio, agosto y septiembre, presentándose las primeras heladas en octubre, y las más intensas en los meses de enero y febrero. El clima influye sobre las actividades humanas en el rendimiento productivo, en actividades como la agricultura, ganadería y recursos forestales.

Histórico y desarrollo

Para México se reconocen las siguientes etapas:

- Arqueolítico (30.000 a.C. – 14.000 a.C.). Se caracteriza por un clima muy frío y húmedo aunado a la presencia de corrientes de agua, esto permitió la aparición de pastizales. Periodo en el que da inicio el sedentarismo en la región, restos de esta actividad se encuentran en Santa María Tecajete (Hidalgo) y Otumba (Estado de México), localidades donde inicia y finaliza la trayectoria del Acueducto, aquí hemos encontrado fragmentos de herramientas arcaicas (principalmente de piedra, cerámica y obsidiana).
- Cenolítico (14.000 a.C. - 5.000 a.C.). Periodo de grandes y pronunciados cambios climáticos, se produjeron importantes modificaciones en la flora y fauna del lugar como consecuencia de la última glaciación (Delgado de Cantú, 2002).
- Durante el **Protoneolítico** (5.000 a.C. – 2.500 a.C.) la agricultura se perfecciona. Es importante acotar que durante el Pleistoceno el Valle de México sustentó una variada y rica fauna de vertebrados, la mayoría de ellos desaparecieron al final de éste.

Finalmente, la construcción del Acueducto trajo consigo el cambio de un paisaje árido semidesértico a uno agrícola, que aunque benefició a la población existente asentada alrededor, derivó en cambios climáticos de la zona. Los primeros pueblos nómadas presentaban actividades de caza y recolecta de vegetales, cuando éstos se establecieron cambiaron sus actividades hacia el aprovechamiento cíclico, domesticación de plantas y animales; así se instauraron los primeros cultivos en la zona centro de México. Respecto al cambio climático, el evento más importante fue el cambio de clima frío (última glaciación) a una desertificación, con una importante variación y evolución de la flora y la fauna de la zona.

Biodiversidad

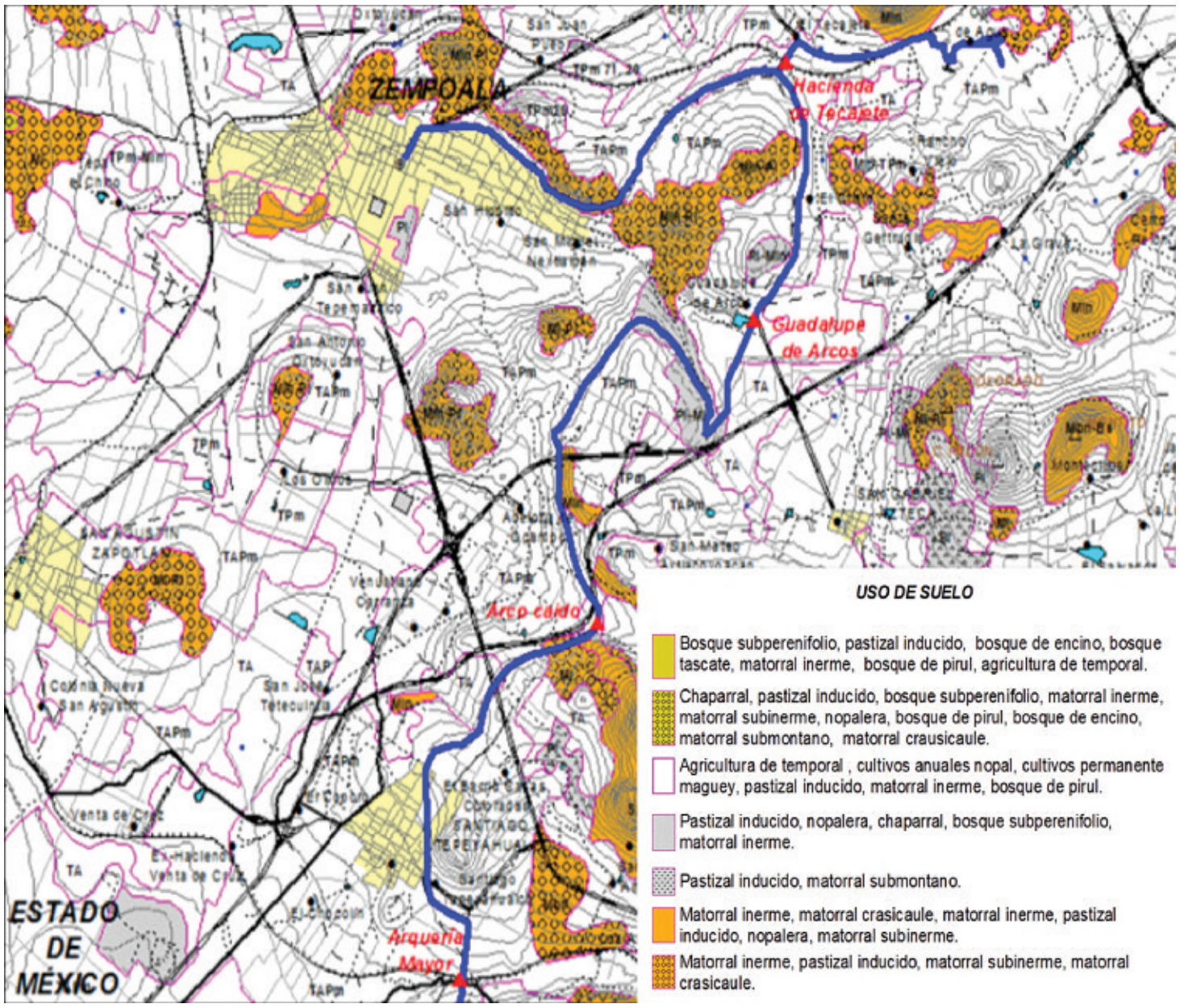
En la actualidad, el valor de la biodiversidad involucra diferentes características como capital ecológico, no evaluable en cantidades monetarias. La riqueza ecológica de México ofrece funciones vitales, identificada con una corriente de bienes y servicios ambientales, entre ellos: especies de flora y fauna, regulación de la composición química de la atmósfera, captación y saneamiento de aguas superficiales y subterráneas, protección contra la erosión y control de sedimentos, generación de biomasa y nutrientes para actividades productivas, control biológico de plagas y enfermedades, funciones productivas directas en términos de recursos y materias primas, recreación y turismo con valores escénicos y paisajísticos pertenecientes

[4] La arenisca es una roca sedimentaria de tipo detrítico, de color variable, que contiene clastos de tamaño arena. Tras las lutitas son las rocas sedimentarias más comunes en la corteza terrestre.
[5] La toba es un tipo de roca ígnea volcánica, ligera, de consistencia porosa, formada por la acumulación de cenizas u otros elementos volcánicos muy pequeños expelidos por los respiraderos durante una erupción volcánica piroclástica.

Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). El nopal es una de las plantas predominantes de las diferentes zonas que abarca el acueducto.



Mapa 2. Hidrografía de la zona del Acueducto del Padre Tembleque. / Fuente: elaboración propia con base en INEGI 2010.



Mapa 3. Uso de suelo de la zona del Acueducto del Padre Tembleque. / Fuente: elaboración propia con base en INEGI 2010.

al ambiente, explotados sustentablemente a partir de recursos naturales presentes en la zona.

La ecorregión por donde cruza el complejo hidráulico posee una riqueza de biodiversidad importante, pues es uno de los sitios donde confluyen las dos grandes provincias biogeográficas del continente americano: Neártica y Neotropical, que presentan comunidades vegetales, principalmente de tipo matorral xerófilo endémicos del centro de México.

Flora

El tipo de vegetación, según Rzedowski (2006), es de tipo matorral xerófilo con algunos arbustos leñosos. Es propicio para la reproducción de plantas xerófilas, dadas las condiciones climatológicas del lugar son las principales el maguey (*Agave salmiana*), nopal (*Xoconostle*), yuca (*Yuca filifera*) y nopal cardón (*Opuntia streptacantha*); plantas de las cuales ha dependido la economía de la ecorregión en distintas épocas. En lo que se refiere a los árboles podemos distinguir al pirul (*Schinus molle*), el pino, la uña de gato (*Mimosa biuncifera*), la limpia tuna (*Zaluzania augusta*) nativa y endémica, los mezquites, los truenos, los huisaches, la palma silvestre o de potrero, además de observarse una gran variedad de hierbas, verduras, plantas medicinales y de ornato, pastos nativos en forma silvestre que integran el paisaje y son aprovechados por los pobladores.

Fauna

La fauna se localiza en sitios elevados (cerros) y bajos (praderas). Es relativamente escasa debido a la intensa deforestación y la escasez de mantos acuíferos superficiales. Algunas especies abundantes que comprenden vertebrados como el conejo del desierto (*Sylvilagus audubonii*), la liebre cola negra (*Lepus californicus*), ardilla (*Sciurus spp*), zorrillo *(Spilogale pygmaea)*, tuza *(Geomys bursarius)*, tlacuache (*Didelphis spp*), mapache (*Procyon lotor*), armadillo (*Dasypus novemcinctus*), ratón de campo (*Apodemus sylvaticus*), camaleón (*Phrynosoma orbiculare*), lagartija espinosa (*Sceloporus mucronatus*), cascabel pigmea (*Crotalus ravus*), culebra de agua (*Thamnophis melanogaster*), culebrita de piedra, cincuate o alicante (*Pituophis deppei*), ganado bovino *(Bos taurus)* y caprino *(Capra hircus)*, aguililla (*Hieraaetus pennatus*), gavilán (*Accipiter nisus*), pato *(Anas acuta)*, codorniz coluda neovolcánica *(Dendrortyx macroura)* zopilote (*Coragyps atratus*) y correcaminos (*Geococcyx californianus*), cenzontle (*Mimus polyglottos*), colibrí *(Colibri thalassinus)*, verdugo *(Lanius ludovicianus)*, mosquero llanero *(Sayornis saya)*, gorrión casero *(Passer domesticus)*, pájaro piñonero *(Spinus notatus)*, chachalaca (*Ortalis ligata*), calandria (*Mimus saturninus*), pájara vieja *(Pipilo fuscus)*, chichicuilote *(Calidris minutilla)* y tordo cabeza amarilla *(Xanthocephalus xanthocephalus)*, así como diversos artrópodos: alacrán *(Centruroides gracilis)*, tarántulas *(Brachypelma* sp.*)*, avispas *(Cynips* sp.*)*, abejas *(Apis mellifera)*, jicotes *(Melipona beecheii)*, araña roja *(Latrodectus hasselti)*, hormiga roja *(Solenopsis invicta)*, araña capulina *(Latrodectus mactans)* y araña zancuda *(Scytodes globula)*; lo antes descrito evidencia una historia evolutiva de amplia magnitud que aún podemos considerar en proceso, dada la riqueza específica de la misma.

Finalmente, se comenta que esta zona presenta algunas amenazas: introducción de especies invasoras, crecimiento constante del turismo, aumento poblacional, pastoreo intensivo, procesos agrícolas y caza ilegal como en todos los sitios naturales del planeta. No obstante, las instancias federales y estatales del sector ambiental deberán, en conjunto con los ponentes de este trabajo, implementar, monitorear y manejar los recursos naturales de la zona de una manera adecuada y sustentable para fortalecer las estrategias que minimicen su impacto y generen beneficios sociales importantes en la región. Para ello, se deberá crear una zona natural protegida que, entre otros temas, se encargue de políticas de planificación, residencia, salud, educación, turismo, ecoturismo, producción agropecuaria y control total de especies exóticas introducidas, además de implementar programas que deberán seguir las normas y legislación vigentes en cuestión de implementación y manejo de áreas naturales protegidas, tanto nacionales como internacionales.

Referencias

Challenger, A. y J. Soberón (2008), "Los ecosistemas terrestres. Capital natural de México", en vol. I: *Conocimiento actual de la biodiversidad,* México, CONABIO, pp. 87-108.

Delgado de Cantú, G. M. (2002), *Historia de México. El proceso de gestación de un pueblo*, vol. 1, México, Pearson Educación.

FAO/Unesco (1988), *Soil map of the world, revised legend, with corrections and updates. World Soil Resources* Report, Rome, ISBN 92-5-103022-7.

Gobierno del Estado de México, "Estadística básica municipal. Axapusco". consultado en mayo de 2013, disponible en http://igecem.edomex.gob.mx/recursos/Estadistica/PRODUCTOS/AGENDAESTADISTICABASICAMUNICIPAL/ARCHIVOS/Axapusco.pdf.

Gobierno del Estado de México, "Estadística básica municipal. Nopaltepec", consultado en mayo de 2013, disponible en http://igecem.edomex.gob.mx/recursos/Estadistica/PRODUCTOS/AGENDAESTADISTICABASICAMUNICIPAL/ARCHIVOS/Nopaltepec.pdf.

Gobierno del Estado de México, "Estadística básica municipal. Otumba", consultado en mayo de 2013, disponible en http://igecem.edomex.gob.mx/recursos/Estadistica/PRODUCTOS/AGENDAESTADISTICABASICAMUNICIPAL/ARCHIVOS/Otumba.pdf.

Instituto Nacional de Geografía y Estadística (2010), Carta topográfica e14b11, escala 1:50,000.

Instituto Nacional de Geografía y Estadística (2010), Carta topográfica e14b21, escala 1:50,000.

Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 1406 pp.

Köppen W. (1948), *Climatología. Con un estudio de los climas de la Tierra*, México, Fondo de Cultura Económica, Sección de obra de Geografía.

Rzedowski J. (2006), *Vegetación de México*, digital, México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Rzedowski, G. C. de, J. Rzedowski (2005), *Flora fanerogámica del Valle de México*. Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2 ª. ed., 1 ª reimp, México, pp. 1406.

http://www.hidalguia.com.mx/zempoala/ubicacion.htm, consultado en abril de 2013.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Vista aérea de la arquería de Santa María Tecajete.





Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Panorámico de la Arquería Mayor.



Capítulo VII · Sustentabilidad

en la protección y conservación del Acueducto del Padre Tembleque

Silverio Hernández-Moreno
René L. Sánchez Vértiz-Ruiz
Universidad Autónoma del Estado de México



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Estanque de agua ubicado al interior de la Hacienda de Santa M;aría Tecajete.

Al hablar de sustentabilidad de un bien patrimonial no solamente nos referimos a lo edificado, sino también al medio natural donde se ubica e inclusive podemos referirnos a aspectos intangibles (Jones, 2012). En el Acueducto del Padre Tembleque, desde el momento del diseño y construcción, se visualizó el uso sustentable a lo largo de toda su vida útil. Cabe considerar que desde el siglo XVI se detectaron las consecuencias negativas del deterioro ambiental producido por la actividad humana, aplicándose ciertas medidas legales al respecto.

A inicios de la etapa colonial, la intensa actividad constructiva de la Ciudad de México requirió enormes volúmenes de vigas de madera para las cubiertas y entrepisos de grandes palacios e iglesias, que ocasionaron la deforestación del entorno lacustre del valle. Asimismo, la demanda de carbón y leña en el altiplano era considerable, como consecuencias inmediatas, aumentaron la sedimentación del lago, los deslaves en las montañas y el proceso de erosión, por lo que grandes inundaciones amenazaron a la capital. Para 1533 las autoridades municipales nombraron una comisión que limitó las zonas de tala, pero el radio de explotación se extendió más allá del control de la municipalidad, en otra etapa se designaron guardias forestales para la vigilancia del entorno (Kubler, 1984).

En la actualidad, nos corresponde (a organismos gubernamentales y no gubernamentales) proteger y conservar este Bien de manera integral, a través de distintos y diversos usos sustentables que le podamos dar (Feilden, 2003), así como establecer estrategias de rediseño arquitectónico y de mantenimiento del Bien para que pueda seguir siendo sustentable y poder seguir disfrutando, por muchos años más, de dicha obra excepcional.

Los organismos que deben estar involucrados, a cargo del manejo y gestión general del área del Bien son: Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Consejo Nacional para la Cultura y las Artes (CONACULTA), Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), Secretaría de Turismo, Gobierno del Estado de México y Gobierno del Estado de Hidalgo, así como algunos organismos no gubernamentales adheridos. Particularmente en materia sustentable, para mantener, proteger y conservar la biodiversidad ecológica del sitio y del patrimonio edificado, son directamente las dependencias de medio ambiente y turismo de los gobiernos involucrados, asimismo la CONANP y el INAH.

El presente capítulo se enfoca en describir los principales usos sustentables del Bien, así como mitigar en gran medida los impactos ambientales que causaría el turismo y otros usos en su entorno (Campagna y Frey, 2008). A la par, el capítulo se centra en señalar las diversas estrategias de diseño y rediseño arquitectónico sustentable que se proponen para el complejo hidráulico, lo cual facilita su mantenimiento y cuidado (Hernández, 2010).

Usos sustentables potenciales del Bien como patrimonio edificado y natural

Para definir los potenciales usos sustentables del Acueducto del Padre Tembleque y el sitio donde se ubica, primero se revisaron los programas y planes existentes por realizar, en ellos se establecen los acuerdos para el desarrollo regional sustentable, además se seleccionaron actividades que generan riqueza en la región, e impactan con el de forma positiva en materia ambiental, social y cultural, principalmente en las comunidades aledañas, de acuerdo con el uso de suelo original y adaptativo del área de influencia del Bien (Jones, 2012), a través de los tres ámbitos de la sustentabilidad:

1. Económico
2. Ambiental
3. Social

En el ámbito económico, el Bien tiene potencial para los siguientes usos:

a) Turismo sustentable: creación de parques ecológicos, paraderos turísticos, rehabilitación de ex haciendas, campismo, senderismo, áreas para globos y papalotes, etcétera.

b) Actividades agropecuarias: principalmente el aprovechamiento sustentable del maguey para la creación del pulque, el ganado caprino y de gusanos de maguey (blancos y rojos).

c) Comercio: artesanías del lugar.

Cabe mencionar que uno de los principales usos sustentables potenciales de este Bien es el turismo, para lo cual, toda la infraestructura realizada cerca del área del núcleo o de amortiguamiento será mediante la aplicación integral de la norma técnica ambiental sobre ecoturismo: NMX-AA-133-SCFI-2006 (NMX, 2006).

En el ámbito ambiental, el Bien tiene potencial para los siguientes usos sustentables:

a. Protección y conservación del patrimonio natural: aspectos bióticos y abióticos del sitio y del paisaje.
b. Protección y conservación del patrimonio cultural edificado (Acueducto).
c. Creación de un jardín botánico.
d. Captación de agua pluvial.
e. Rehabilitación del Río Papalote.

En el ámbito social, el Bien tiene potencial para los siguientes usos sustentables:

a. Educación ambiental: referida a la cultura del lugar en relación con el Acueducto y el Medio natural.
b. Promoción y difusión del patrimonio intangible de la zona: costumbres y tradiciones.

Cada uno de estos usos sustentables, en su conjunto, coadyuvarán a la conservación del patrimonio tanto tangible como intangible, de tal forma que a través de estos usos el Bien pueda mantenerse y perdurar por varias décadas más.

Estrategias de diseño y re-diseño sustentable del Bien en materia arquitectónica

Un aspecto muy importante, en materia de sustentabilidad del Bien, se refiere a la parte arquitectónica, por lo que a continuación se señala una lista de las principales estrategias de rediseño que se requiere implementar en el Bien edificado y en el sitio.

Plan de diseño sustentable en edificación por rubro ambiental, que incluye estrategias sobre re-diseño sustentable, aplicadas al Acueducto del Padre Tembleque

a. Estrategias de sitio

1. Evitar sitios vulnerables de riesgo o protegidos como reservas.
2. Orientación del edificio y emplazamiento en el terreno natural del sitio.
3. Análisis del equipamiento e infraestructura urbana.
4. Plan de manejo de la obra exterior u obras anexas (pavimentos, andadores, calles).
5. Control de la erosión y plan de manejo del paisaje entorno al sitio.
6. Alternativas de transporte: peatonal, bicicleta, motocicleta, transporte público, y privado.
7. Desarrollo del sitio en su protección y restauración.
8. Planeación y control de la cantidad de agua de lluvia en el sitio.
9. Reducción de islas de calor.
10. Reducción de la contaminación lumínica, acústica y por malos olores.

b. Estrategias de agua

11. Simulación de la eficiencia en el funcionamiento del flujo de agua, en el Acueducto.
12. Aseguramiento y medición del rendimiento de la cantidad del agua, que tuvo en su tiempo de funcionamiento.
13. Instalaciones adicionales que fueron necesarias para la conducción y distribución del agua en su época (simulación).
14. Determinación del plan de mantenimiento del Acueducto.
15. Aseguramiento de la distribución del agua durante su mantenimiento en su época.
16. Captación de agua de lluvia como complemento a los manantiales.
17. Volumen diario promedio estimado del flujo total de la época.

c. Estrategias de energía

Control pasivo

18. Orientación y asoleamiento del Bien.
19. Optimización del envolvente del edificio.
20. Control de la humedad en el inmueble.
21. Verificar si en construcciones anexas al Acueducto calentaban el agua por medios pasivos, como se hacía en los baños de Nezahualcóyotl.

Control activo

22. Iluminación artificial del bien (propuesta arquitectónica).

d. Estrategias de confort

Calidad del aire

23. Controlar la humedad y prevenir agentes que afecten el deterioro.

Factores humanos

24. Proveer buenas condiciones térmicas.
25. Proveer buena iluminación.
26. Proveer buenas condiciones acústicas.
27. Proveer buenas condiciones de vibraciones.
28. Controlar los malos olores.
29. Control de condiciones de humedad en el sitio.

e. Estrategias en materiales de construcción

30. Limpieza y mantenimiento del inmueble.
31. Uso de materiales de bajo impacto ambiental durante su ciclo de vida.
32. Uso de materiales de la región.
33. Uso de materiales renovables.
34. Uso de materiales de baja emisión de sustancias volátiles.
35. Uso de materiales durables.
36. Uso de materiales reusables, reciclables y biodegradables.

f. Estrategias en desperdicios de construcción y mantenimiento

37. Reducción de los desechos y desperdicios en todo el ciclo de vida.
38. Elaboración de un manual de mantenimiento y restauración.
39. Re-uso de edificios existentes.
40. Diseño para un menor uso de materiales.
41. Diseño de edificios pluri-funcionales o adaptables.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Fotografía de la arquería de la Hacienda Guadalupe de Arcos ubicada en el estado de Hidalgo.

42. Reducir, reusar y reciclar los desperdicios de construcción.
43. Reducir y reciclar los desperdicios de envasado de productos.
44. Reducir y reciclar los desperdicios de los usuarios del edificio.
45. Reducir y tirar apropiadamente los desperdicios peligrosos.

Referencias

Campagna, Barbara y Frey, Patrice (2008), "The impact of envolving LEED standard son historic preservation projects", en *Journal of Green Building*, vol. 3 (4), pp. 21-30.

Feilden, Bernard M. (2003), *Conservation of historic building*, tercera ed., Architectural Press, Boston, MA.

Hernández Moreno, Silverio (2010), *Diseño y manejo sustentable en edificación*. México, Universidad Autónoma del Estado de México.

Jones, Tim (2012), *Proceedings of the Members Assembly: World Conservation Congress*, Jeju, Republic of Korea, 6-15 September; ISBN: 978-2-8317-1573-5.

Kubler, George (1984), *Arquitectura mexicana del siglo XVI*, México, Fondo de Cultura Económica.

NMX (2006), *Requisitos y especificaciones de sustentabilidad en ecoturismo*, México, Secretaría de Economía.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Imagen de la vía que cruza uno de los arcos del Acueducto.



Nadia García Espino (2013). Foto del interior de uno de los manantiales que alimentan el sistema hidráulico.



Apéndice

FOTOGRÁFICO



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Parroquia de Zempoala, Hidalgo





Dolores Contreras Chávez (2013). Escultura del Padre Tembleque.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Cruz atrial de la Parroquia de Zempoala, Hidalgo.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Cerro de Tecajete, Santa María Tecajete, Hidalgo.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Cerro de Tecajete, Santa María Tecajete, Hidalgo.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Vista aérea de las faldas del Cerro de Tecajete, Hidalgo.





Edgar Valdés Santiago -*Valtiago-* (2013). Panorámica del Cerro de Tecajete, Hidalgo.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Caja de agua que alimenta al complejo hidráulico del Acueducto del Padre Tembleque.





Nadia García Espino (2013). Fotografía del canal de una de las cajas de agua que alimentan el sistema hidráulico.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Fotografía del canal que inicia la conducción de agua hacia Santa María Tecajete.

Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Panorámica de la Hacienda y los arcos de Santa María Tecajete, Hidalgo.





Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Vista oriente de la arquería que cruza la Hacienda de Santa María Tecajete.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Arquería de Santa María Tecajete, al fondo la antigua estación del tren.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Fotografía panorámica en la que se observa parte de la arquería de Santa María Tecajete.





Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Detalle de la arquería que se localiza al interior de la Hacienda de Santa María Tecajete, Hidalgo.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Arquería de Guadalupe de Arcos, Hidalgo.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Vista aérea de la Hacienda y arquería de Guadalupe de Arcos, Hidalgo.





Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Fotografía de la arquería de Guadalupe de Arcos, Hidalgo.





Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Arco caído, Hidalgo.





Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Caja de agua ubicada a la orilla de Zempoala, Hidalgo.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Interior de la caja de agua de Zempoala, Hidalgo.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago-* (2013). Fotografía de la fachada norte de la caja de agua ubicada a la orilla de Zempoala, Hidalgo.





Dolores Contreras Chávez (2013). Caja repartidora de agua ubicada en la Parroquia de Zempoala, Hidalgo.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Pileta de agua localizada a un costado de la Parroquia de Zempoala, Hidalgo.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago-* (2013). Panorámica de la Arquería Mayor, la cual converge entre el Estado de México y el estado de Hidalgo.





Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Arquería Mayor, Santiago Tepeyahualco, Hidalgo.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Arquería Mayor, Santiago Tepeyahualco, Hidalgo.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Arquería Mayor, Santiago Tepeyahualco, Hidalgo.





Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Vista aérea de la Arquería Mayor, Santiago Tepeyahualco, Hidalgo.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Arquería Mayor, Santiago Tepeyahualco, Hidalgo.

Edgar Valdés Santiago -*Valtiago-* (2013). Arquería Mayor, Santiago Tepeyahualco, Hidalgo.





Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Arquería Mayor, Santiago Tepeyahualco, Hidalgo.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Detalle de uno de los arcos de Santa María Tepeyahualco, Hidalgo.



Dolores Contreras Chávez (2013). Fotografía que exhibe la cimbra de adobe que se utilizó para la construcción de los arcos.





Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Detalle de la parte central de la Arquería Mayor, al atardecer, Santiago Tepeyahualco, Hidalgo.





Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Fotografía que muestra la vía por donde hace algunos años transitó el tren.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Detalle del nicho que resguarda la imagen de la Virgen, ubicado justo al centro de la Arquería Mayor.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Fotografía de la parte norte de la Arquería Mayor, Santiago Tepeyahualco, Hidalgo.





Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Vista de oriente a poniente de la Arquería Mayor.



Dolores Contreras Chávez (2013). Detalle del canal de la parte superior de la Arquería Mayor.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Pastoreo de ganado ovino en los alrededores de la Arquería Mayor.





Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Caja de agua localizada en la parte sur de la Arquería Mayor.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Caja de agua localizada en el sur de la arquería de Santa María Tecajete, Hidalgo.



Edgar Valdés Santiago -*Valtiago*- (2013). Caja de agua localizada en Otumba.





Edgar Valdés Santiago -*Valtiago-* (2013). Parroquia de Otumba.



Acueducto del Padre Tembleque. Patrimonio Cultural de la Humanidad,
coordinado por Jorge Olvera García y Juan Arturo Ocaña Ponce, se terminó de imprimir
en enero de 2016 en los talleres de Lithokolor S.A de C.V.
El tiraje consta de 2 000 ejemplares.