

Proyecto

“CONSTRUCCIÓN DEL DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE TLAXCALA, EN TLAXCALA, TLAXCALA”

Subproyecto: CONSTRUCCIÓN DE COLECTORES (OCOTLAN Y ALONSO
ESCALONA) EN LA CIUDAD DE TLAXCALA

Análisis Costo Beneficio Simplificado

Mayo 2015

Contenido

1. RESUMEN EJECUTIVO.....	4
2. SITUACIÓN ACTUAL DEL PROYECTO DE INVERSIÓN.....	15
2.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	16
2.2 ANÁLISIS DE LA OFERTA O INFRAESTRUCTURA EXISTENTE.....	29
2.3 ANÁLISIS DE LA DEMANDA ACTUAL.....	33
2.4 INTERACCIÓN OFERTA-DEMANDA A LO LARGO DEL HORIZONTE DE EVALUACIÓN.....	42
3. SITUACIÓN SIN EL PROYECTO DE INVERSIÓN	44
3.1 OPTIMIZACIONES	44
3.2 ANÁLISIS DE LA OFERTA EN CASO DE QUE EL PROYECTO DE INVERSIÓN NO SE LLEVE A CABO	45
3.3 ANÁLISIS DE LA DEMANDA.....	45
3.4 INTERACCIÓN OFERTA-DEMANDA CON OPTIMIZACIONES	46
3.5 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	50
4. SITUACIÓN CON EL PROYECTO DE INVERSIÓN	54
4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL	54
4.2 ALINEACIÓN ESTRATÉGICA DEL PROYECTO.....	61
4.3 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	65
4.2 CALENDARIO DE ACTIVIDADES.....	67
4.3 MONTO TOTAL DE INVERSIÓN	68
4.4 FINANCIAMIENTO	69
4.5 CAPACIDAD INSTALADA QUE SE TENDRÍA Y SU EVOLUCIÓN EN EL HORIZONTE DE EVALUACIÓN DEL PROYECTO DE INVERSIÓN	70
4.6 METAS ANUALES.....	70
4.7 VIDA ÚTIL.....	71
4.8 FACTIBILIDAD TÉCNICA	72
4.9 FACTIBILIDAD LEGAL.....	72
4.10 FACTIBILIDAD AMBIENTAL.....	74
4.11 ANÁLISIS DE LA OFERTA A LO LARGO DEL HORIZONTE DE EVALUACIÓN, CONSIDERANDO LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO DE INVERSIÓN.....	74
4.12 ANÁLISIS DE LA DEMANDA A LO LARGO DEL HORIZONTE DE EVALUACIÓN, CONSIDERANDO LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO DE INVERSIÓN.....	75
4.13 INTERACCIÓN OFERTA-DEMANDA CON PROYECTO.....	75

5. EVALUACIÓN DEL PROYECTO DE INVERSIÓN	78
5.1 IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS COSTOS DEL PROYECTO DE INVERSIÓN.....	78
5.2 IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS BENEFICIOS DEL PROYECTO DE INVERSIÓN	81
5.3 INDICADORES DE RENTABILIDAD	96
5.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	100
5.5 ANÁLISIS DE RIESGOS	102
6. CONCLUSIONES.....	104
7. FUENTES CONSULTADAS	106

1. Resumen Ejecutivo

El presente estudio pretende determinar la conveniencia para el país de realizar el proyecto “CONSTRUCCIÓN DEL DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE TLAXCALA, EN TLAXCALA, TLAXCALA”, mediante el cálculo de los indicadores sociales de rentabilidad, para lo cual se hace una valoración en términos monetarios de los costos y beneficios asociados a su ejecución y operación.

Problemática, objetivo y descripción de la Obra

Objetivo del PPI

El proyecto de CONSTRUCCIÓN DEL DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE TLAXCALA, TLAXCALA tiene como objetivo proteger de inundaciones la zona centro y sur de la ciudad de Tlaxcala ante precipitaciones con un periodo de retorno esperado de hasta 10 años, esto mediante el incremento en 35.5 m³/s la capacidad de conducción de las aguas pluviales provenientes de las zonas altas de la ciudad.

Con ello, se disminuirán los riesgos asociados a estos fenómenos, como daños materiales a viviendas, comercios e infraestructura urbana, así como problemas de salud pública.

Problemática Identificada

Los colectores pluviales construidos en la ciudad en la década de los setenta, para encauzar los caudales provenientes de las zonas altas y evitar que el centro histórico se inundara, están en su punto máximo de saturación.

En las últimas décadas, como consecuencia del crecimiento poblacional y urbano de la ciudad, superficies anteriormente permeables fueron recubiertas con materiales de construcción. Esto evita que el agua de lluvia se infiltre al subsuelo y provoca mayores caudales de escurrimientos hacia los puntos más bajos de la cuenca.

La probabilidad de inundación (y de problemas subsecuentes, como daños materiales) en estas zonas se ha incrementado año con año, *al grado de que actualmente se esperan*

problemas en el centro de la ciudad de 5 a 10 veces al año; cuando en los noventa la cifra esperada de inundaciones estaba entre 1 y 3 por año.

Los daños ocasionados por esta situación se cuantifican anualmente en 19.2 millones de pesos (mdp), las afectaciones más cuantiosas son por daños a la vivienda (7.6 mdp) daños a infraestructura hidráulica (5.3 mdp) y daños en infraestructura urbana (4.1 mdp). Adicionalmente se incluyó la tabla de los beneficios con sus montos, mismos que son los costos actuales asociados a las inundaciones.

Para el cálculo de dicho daños se tomó como base la información oficial proporcionada por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) referente a las inundaciones ocurridas en febrero de 2010 en las delegaciones Gustavo A. Madero, Venustiano Carranza, Iztacalco e Iztapalapa, y en Ecatepec de Morelos, Nezahualcóyotl, Chalco y Valle de Chalco Solidaridad en el Estado de México¹. Lo anterior ya que la información de afectaciones por inundación en la zona de estudio es escasa y poco confiable, ya que no tiene una metodología establecida como la del CENAPRED. En este sentido, se cuenta con las zonas de afectaciones descritas en el proyecto ejecutivo, pero al no contar con información confiable y precisa, se consideró la definida para los casos de inundación mejor cuantificados.

Se consideró pertinente utilizar la información de evento ocurrido en el Distrito Federal y Estado de México, ya que el análisis climatológico y social arrojó que dicho comparativo resultaría en un supuesto conservador, tal como se verá más adelante².

¹ La recopilación y análisis de la información estuvieron a cargo de la Subdirección de Estudios Económicos y Sociales del CENAPRED, y es producto de información documental recabada de diversas fuentes tanto del sector público como del privado, destacando la Dirección General del Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) y la Dirección General de Protección Civil (DGPC), a través del Centro Nacional de Comunicaciones.

² Este proyecto de inversión se considera de infraestructura económica y su monto de inversión es mayor a los 50 millones de pesos y menor de 500, por lo tanto le aplica un análisis de costo-beneficio simplificado, utilizando información a nivel perfil, es decir, se puede utilizar información proveniente de revistas especializadas, libros en la materia, artículos contenidos en revistas arbitradas, estudios similares, estadísticas e información histórica y paramétrica. Lo anterior de acuerdo con los lineamientos para la

Breve descripción del PPI

El Proyecto consiste en la **construcción de dos colectores (Interceptores de Ocotlán y Alonso Escalona), con una longitud de 4,699.0 metros y 1,665.0 metros respectivamente.** Asimismo; el proyecto contempla un cárcamo de bombeo en la zona centro de la ciudad y la rectificación y revestimiento de la barranca sin nombre dentro de las acciones del interceptor Ocotlán para interceptar el agua de lluvia de las zonas más altas de la cuenca de aportación, evitando que la infraestructura con la que actualmente se cuenta en el centro histórico se sature y se presenten las inundaciones. Además de la infraestructura antes mencionada, se requerirá la ejecución de obras complementarias, dadas las afectaciones que se tendrán por la ejecución del proyecto, como es el caso de las redes de agua potable y de alcantarillado.

De manera específica, en la parte sur y oriente de la zona de estudio se contempla ampliar y rectificar el Interceptor Ocotlán para tener la capacidad de captar y conducir 28.7 m³/s. Esto evitará las inundaciones que se presentan en una zona de la ciudad por donde cruza la carretera Ocotlán-Chiautempan y, por otra parte, evitará la entrada de agua a la barranca de Xico.

El gasto captado por el colector Ocotlán se descargará a la barranca “sin nombre” en la zona de Tepehitec, que además de conducir dicho caudal, interceptará el agua de la subcuenca Barranca poniente, por lo cual el caudal de diseño será de 41 m³/s, ya que se calcula una aportación de la subcuenca propia de 12.3 m³/s.

El segundo colector, denominado Alonso de Escalona, tendrá una capacidad de diseño de 12 m³/s, contará con tres áreas de captaciones e interceptará los escurrimientos que se generan en la subcuenca Escalona, actualmente captados por el colector Independencia, generando inundaciones en la zona centro cuando su capacidad es sobrepasada.

Finalmente, se contempla un cárcamo de bombeo para evitar cualquier inundación en el patio del ex congreso de Tlaxcala, ya que es la zona más baja del área de estudio, dicho cárcamo tiene diseño del 18.73 m³ y dos bombas con capacidad de 5 litros por segundo.

De manera general, los componentes más importantes del proyecto para los recursos de PdR 2015 son:

Concepto	Unidad	Meta	Precio unitarios (incluye IVA)	Monto Total (incluye IVA)
Obra civil				
INTERCEPTOR OCOTLÁN	ML	4,699.0	11,064.93	51,994,104.32
INTERCEPTOR ALONSO DE ESCALONA	ML	1,665.0	27,751.34	46,205,987.32
RECTIFICACIÓN Y REVESTIMIENTO BARRANCA SIN NOMBRE (Canal) (ZONA DE TEPEHITEC)	M2	16,530.0	907.24	14,996,633.02
CÁRCAMO EN LA ZONA CENTRO (ZONA EXCONGRESO)	M3	18.73	5,380.83	100,782.86
REPOSICIÓN DE LA RED DE AGUA POTABLE (INTERCEPTOR OCOTLÁN Y ALONSO ESCALONA)	ML	3,472.3	1,029.96	3,576,314.31
REPOSICIÓN DE LA RED DE ALCANTARILLADO (INTERCEPTOR OCOTLÁN Y ALONSO ESCALONA)	ML	2,899.6	2,234.32	6,478,630.20
OBRAS COMPLEMENTARIAS E INDUCIDAS (REUBICACIÓN DE INSTALACIONES Y CRUCES DE LINEAS ELÉCTRICAS)	ML	3,975.00	3,689.60	14,666,155.33
Equipamiento				
BOMBAS PARA CÁRCAMO EN ZONA CENTRO (ZONA EXCONGRESO)	PZAS	2	21,596.33	43,192.63
TOTAL				138,061,800.00

Las obras antes descritas se ejecutarán en las localidades de Ocotlán, San Gabriel Cuauhtla, Pueblo Heroico de la Trinidad Tepehitec y Tlaxcala de Xicohtécatl; todas pertenecientes al municipio de Tlaxcala.

Horizonte de evaluación, costos y beneficios del Proyecto

Horizonte de Evaluación

El horizonte de evaluación del proyecto es de 21 años (un año de inversión y 20 años de operación).

Descripción de los principales costos del Proyecto

De acuerdo con los datos del proyecto y las estimaciones de la SECODUVI, el costo total de inversión es de 138,061,800 millones de pesos de 2015 (incluyendo IVA). El desglose de este monto es el siguiente:

Concepto	Unidad	Meta	Precio unitarios (incluye IVA)	Monto Total (incluye IVA)
Obra civil				
INTERCEPTOR OCOTLÁN	ML	4,699.0	11,064.93	51,994,104.32
INTERCEPTOR ALONSO DE ESCALONA	ML	1,665.0	27,751.34	46,205,987.32
RECTIFICACIÓN Y REVESTIMIENTO BARRANCA SIN NOMBRE (Canal) (ZONA DE TEPEHITEC)	M2	16,530.0	907.24	14,996,633.02
CÁRCAMO EN LA ZONA CENTRO (ZONA EXCONGRESO)	M3	18.73	5,380.83	100,782.86
REPOSICIÓN DE LA RED DE AGUA POTABLE (INTERCEPTOR OCOTLÁN Y ALONSO ESCALONA)	ML	3,472.3	1,029.96	3,576,314.31
REPOSICIÓN DE LA RED DE ALCANTARILLADO (INTERCEPTOR OCOTLÁN Y ALONSO ESCALONA)	ML	2,899.6	2,234.32	6,478,630.20
OBRAS COMPLEMENTARIAS E INDUCIDAS (REUBICACIÓN DE INSTALACIONES Y CRUCES DE LINEAS ELÉCTRICAS)	ML	3,975.00	3,689.60	14,666,155.33
Equipamiento				
BOMBAS PARA CÁRCAMO EN ZONA CENTRO (ZONA EXCONGRESO)	PZAS	2.0	21,596.33	43,192.63
TOTAL				138,061,800.00

Estas obras pluviales trabajan por gravedad, por lo que su costo de operación es nulo; sin embargo, requieren ser desazolvadas dos veces por año para que su funcionamiento sea óptimo. Con base en las estimaciones presentadas por la SECODUVI, los costos de mantenimiento anual son de 341,974 pesos y se muestran en la siguiente tabla.

Costos de operación	TOTAL (PESOS 2015)
Colector interceptor Ocotlán	204,200
Barranca sin nombre	56,927
Colector interceptor Alonso de Escalona	72,360
Cárcamo de bombeo	8,487
TOTAL	341,974

Fuente: Elaboración propia con base en las estimaciones establecidas por la SECODUVI.

Descripción de los principales beneficios del Proyecto

Con base en la teoría económica asociada para la evaluación de este tipo de proyectos, y en las “Metodologías de Evaluación Socioeconómica para Proyectos de Agua Potable, Alcantarillado, Saneamiento y Protección a Centros de Población” de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2008), se realizó una evaluación que contrasta los beneficios y costos de la ejecución del proyecto. En este sentido, para determinar la conveniencia de ejecutar este proyecto se definió contrastar los costos de las acciones que se tienen que realizar para resolver la problemática, contra los beneficios asociados al proyecto por un periodo de 20 años (i.e., el proyecto genera ahorros en costos de ejecución, lo que representa beneficios sociales).

Los beneficios valorados en esta evaluación están relacionados con los costos evitados de las inundaciones como consecuencia de la ejecución del proyecto. Para efecto de su cuantificación económica, se tomaron en cuenta los siguientes:

Beneficio	Cuantificación anual (pesos 2015)
<i>Costo evitado de limpieza y desinfección de calles</i>	300,771
<i>Costo evitado por implementar campañas de salud</i>	594,874
<i>Costo evitado por daños en las viviendas</i>	7,906,158
<i>Costo evitado por daños en infraestructura urbana</i>	4,249,088
<i>Costo evitado por atención a la emergencia</i>	545,760
<i>Costo evitado por daños en infraestructura educativa</i>	719,720
<i>Costo evitado por daños a infraestructura hidráulica</i>	5,559,151
Total	19,875,522

Monto total de inversión (con IVA)

El monto de la inversión comprende la construcción de los dos interceptores, la rehabilitación de la barranca en Tepehitec, un cárcamo en la zona centro; así como las redes de alcantarillado y agua potable correspondientes.

La inversión requerida es de \$119,018,793.1 más \$19,043,006.90 por concepto de IVA, lo que da un total de:

\$ 138,061,800.00

(Ciento treinta y ocho millones sesenta y un mil ochocientos pesos 00/100).

El financiamiento propuesto es el siguiente:

Origen del financiamiento	Monto
<i>Fuentes federales</i>	
Monto asignado en el PEF 2015	\$138,200,000.00
Retención de 1 al millar (ASF)	- \$138,200.00
Recursos federales disponibles	\$138,061,800
Suma	\$ 138,061,800.00

Riesgos asociados al Proyecto

Entre los principales riesgos se encuentran *la posposición de la ejecución del proyecto y el incremento en los costos de los insumos.*

En el caso de la postergación o incumplimiento de contrato para ejecutar el proyecto, esto provocaría un retraso en la generación de beneficios. El riesgo se mitiga con la cuidadosa elegibilidad de la empresa que proporcione el servicio y la ejecución de la obra; así como con estrictos programas de supervisión y cubriendo los requisitos que determina la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas; entre los que se debe poner especial atención en la fianza de cumplimiento y la fianza de defectos y vicios ocultos.

Existe un riesgo con la variabilidad de los precios, que pueden incrementar el monto requerido de inversión. Este riesgo se calificó como bajo ya que de acuerdo con el análisis de sensibilidad se pueden incrementar los costos en un 40.2% y el proyecto seguiría siendo rentable, para mitigar este riesgo se

recomienda licitar la obra a precio alzado, en cuyo caso el importe de la remuneración o pago total fijo que deba cubrirse al contratista será por los trabajos totalmente terminados y ejecutados en el plazo establecido³, así como realizar un contrato de opciones en dólares de los Estados Unidos Americanos⁴, lo cual ayudará a mitigar la posible depreciación del peso mexicano frente a dicha divisa.

Dado que el proyecto para proteger a la población de inundaciones y que las obras se realizaran por derecho de vía pública dentro de la ciudad, se considera que los riesgos de carácter social, legal y ambiental son poco probables.

En cuanto a los posibles riesgos durante la operación, dado que trabajarán por gravedad, solo se considera el riesgo por vicios ocultos en la construcción, siendo la medida de mitigación la contratación por parte de la empresa ganadora de un seguro que cubra los mismos.

Indicadores de Rentabilidad del Proyecto

Valor Presente Neto (VPN)	\$47,281,310
Tasa Interna de Retorno (TIR)	15.5%

³ Artículo 45, fracción II de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas

⁴ Para mayor información favor de consultar la página de la Bolsa de Derivados de México (MexDer) http://www.mexder.com.mx/wb3/wb/MEX/MEX_Repositorio/vtp/MEX/1ef6_publicaciones/rid/21/mto/3/folleto_opciones_MexDer2.pdf

Conclusión

Conclusión del Análisis del Proyecto

Una vez realizado dicho cálculo se concluye que la ejecución del proyecto es benéfica para el país en términos socioeconómicos, incrementado la riqueza de la nación en 47.28 millones de pesos, la tasa interna de retorno social se calculó en 15.5% superando el 10% estipulado por la SHCP, por lo cual se recomienda su ejecución. Los beneficios directos son los asociados a costos evitados en limpieza, daños a hogares, caminos, infraestructura urbana; así como los relacionados a los impactos en salud por el inadecuado desalojo del agua pluvial.

Por otro lado, el proyecto cuenta con los elemento de factibilidad técnica, legal y ambiental para su puesta en marcha; ya que el proyecto está validado por la CONAGUA y dicho proyecto ejecutivo fue elaborado con recursos del programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (APAZU), lo cual permite que haya sido diseñado de acuerdo a lo establecido en las disposiciones locales y federales correspondientes. Los estudios de mecánica de suelos, levantamientos topográficos y análisis hidrológicos realizados respaldan su puesta en marcha. Asimismo, la instancia ejecutora es el Gobierno del Estado a través de la Secretaría de Obras Públicas, Desarrollo Urbano y Vivienda (SECODUVI) y cuenta con los permisos municipales para la puesta en marcha. El organismo operador será la Comisión de Agua potable y alcantarillado del Municipio de Tlaxcala (CAPAM).

Finalmente, se cuenta con autorización por parte de la Delegación Federal de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales para su ejecución.

En este sentido, considerando las facultades del Gobierno Estatal en la materia, se determinó que su ejecución es factible desde un punto de vista técnico, legal y ambiental.

El calendario de actividades, de acuerdo al monto autorizado por el fondo **Proyectos de Desarrollo Regional 2015**, es el siguiente:

PdR 2015	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Físico (%)	5%	5%	20%	20%	5%	5%
Financiero (\$)	6,903,090	6,903,090	27,612,360	27,612,360	6,903,090	6,903,090
	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Físico (%)	5%	5%	5%	5%	10%	10%
Financiero (\$)	6,903,090	6,903,090	6,903,090	6,903,090	13,806,180	13,806,180

PdR 2015	Total
Físico (%)	100%
Financiero (\$)	138,061,800

Por lo tanto, el proyecto cuenta con todos los permisos y es técnicamente factible de ejecutarse.

Las metas finales del proyecto **para el monto autorizado por PDR** son las que se enlistan en el cuadro a continuación:

Concepto	Unidad	Meta
Obra civil		
INTERCEPTOR OCOTLÁN	ML	4,699.0
INTERCEPTOR ALONSO DE ESCALONA	ML	1,665.0
RECTIFICACIÓN Y REVESTIMIENTO BARRANCA SIN NOMBRE (CANAL) EN ZONA DE TEPEHITEC	M2	16,530.0
CÁRCAMO EN LA ZONA CENTRO (ZONA EXCONGRESO)	M3	18.73
REPOSICIÓN DE LA RED DE AGUA POTABLE (INTERCEPTOR OCOTLÁN Y ALONSO ESCALONA)	ML	3,472.3
REPOSICIÓN DE LA RED DE ALCANTARILLADO (INTERCEPTOR OCOTLÁN Y ALONSO ESCALONA)	ML	2,899.6
Equipamiento		
BOMBAS PARA CÁRCAMO EN ZONA CENTRO (ZONA EXCONGRESO)	PZAS	2.0

2. Situación Actual del Proyecto de Inversión

El Gobierno de Tlaxcala ha puesto en marcha una serie de estrategias y acciones encaminadas a lograr un desarrollo regional sustentable a partir de proyectos de inversión que impacten a la sociedad con mecanismos que generen beneficios en la calidad de vida de la población; aprovechando las mejores prácticas para efficientar y maximizar los recursos disponibles.

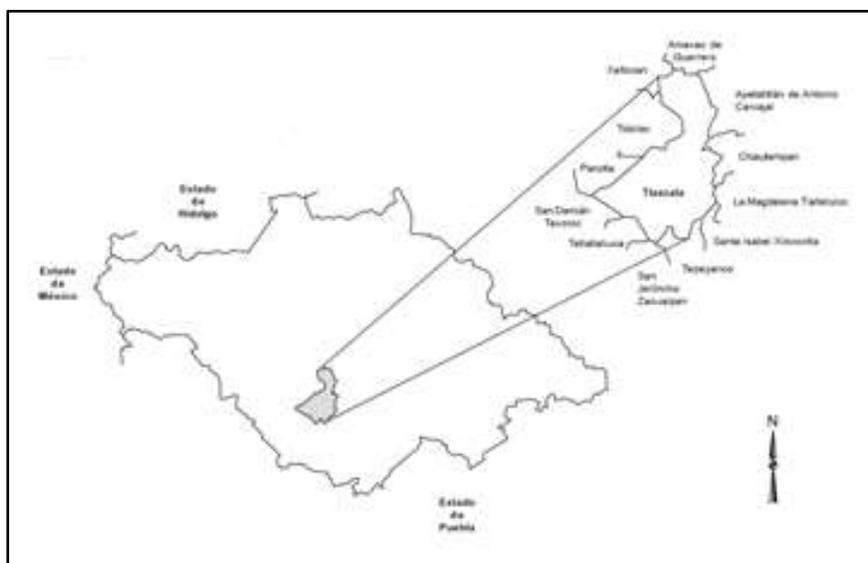
Uno de sus principales objetivos es el uso eficiente y eficaz de los recursos que se destinan a proyectos de infraestructura pública; de tal forma que se logre establecer una planeación de proyectos de inversión basada en la rentabilidad y aprovechamiento de los recursos donde se otorgue prioridad a los proyectos de mayor rentabilidad. Con lo anterior, se logra el mejor aprovechamiento de los recursos bajo una mira de gasto más responsable y que empate con las actuales disposiciones de gasto y políticas de austeridad que el Gobierno Federal ha puesto en marcha.

En este contexto, el Gobierno del Estado, a través de la Secretaría de Obras Públicas, Desarrollo Urbano y Vivienda (SECODUVI), ha puesto en marcha el “CONSTRUCCIÓN DEL DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE TLAXCALA, TLAXCALA, el cual tiene por objetivo mejorar las condiciones de servicio con las que hoy opera el ayuntamiento para evitar las inundaciones en las zonas centro y sur del municipio de Tlaxcala (capital del estado).

2.1 Diagnóstico de la situación actual

La ciudad de Tlaxcala se encuentra localizada en el centro sur del estado del mismo nombre, tiene una extensión territorial de 52.46 kilómetros cuadrados, de los cuales 45.29 se consideran superficie urbana; tiene una altitud de 2,230 m.s.n.m.; con una temperatura promedio anual de 24° C, el clima predominante es templado, con lluvias en verano. Los municipios con los que colinda son: al norte, Alocan y Amasa de Guerrero; al noreste, Apetatitlán de Antonio Carvajal; al oeste, Chiautempan y La Magdalena Tlaltelulco; al sureste, Santa Isabel Xiloxoxtla; al sur San Jerónimo Zacualpan, Tetlatlahuca y San Damián Texoloc; por último, al oeste Panotla y Totolac.

Ilustración 1 Localización geográfica de la ciudad de Tlaxcala en el Estado de Tlaxcala.



Fuente: Elaboración propia.

La capital tlaxcalteca está conformada principalmente por las localidades de Tlaxcala de Xicohtécatl, Ocotlán y San Gabriel Chiautla. Dichas localidades cuentan con 44,852 habitantes (CONAPO, 2014), asentados en aproximadamente 23.42 kilómetros cuadrados de superficie urbana.

Está ubicada en una depresión rodeada por una cadena de cerros al oriente y poniente, lo que genera elevadas pendientes en algunas zonas; asimismo, el municipio está flanqueado por la margen izquierda del río Zahuapan.

Ilustración 2 Principales escurrimientos superficiales en la ZM de Tlaxcala



Fuente: Elaboración propia con información de INEGI, 2014.

Ante dichas condiciones naturales la ciudad es susceptible a inundaciones, por lo que se han construido distintas obras pluviales. Sin embargo, este problema no ha podido corregirse de forma global debido a que las acciones realizadas tienen más de 20 años de antigüedad (vida útil rebasada) y a que la dinámica de crecimiento, urbanización y desarrollo de la misma ciudad ha provocado que las zonas de filtración se hayan reducido.

La primera mejora significativa se realizó en 1975, cuando se llevaron a cabo varias obras hidráulicas que liberaron de manera importante los niveles de inundación para la ciudad. Sin embargo, estas acciones siguen vigentes a la fecha y se diseñaron con

una intensidad de lluvia de 40 mm/h (milímetros por hora), que correspondía a un periodo de retorno de 3 años; es decir, el número esperado de inundaciones era una cada tres años en la ciudad. De esta manera, las mejoras realizadas y las estimaciones correspondientes (coeficientes de escurrimiento) fueron pronosticadas para los siguientes veinte años (1995).

A partir de ese momento, la probabilidad de inundación empezó a incrementarse año con año como consecuencia del cambio en el coeficiente de escurrimiento⁵, que se dio producto de la creciente urbanización del territorio. Esto es, cada vez hay más áreas pavimentadas o con techumbres y menos áreas para la libre infiltración del agua de lluvia al subsuelo. En consecuencia, **la probabilidad de inundación creció a tal grado que en la actualidad, se espera que se tengan problemas de inundación de 5 a 10 veces al año.**

Por lo anterior, se identifica que existe una problemática para la ciudad de Tlaxcala debido a que las probabilidades de inundación son mucho mayores a las capacidades de infraestructura (oferta) que actualmente operan.

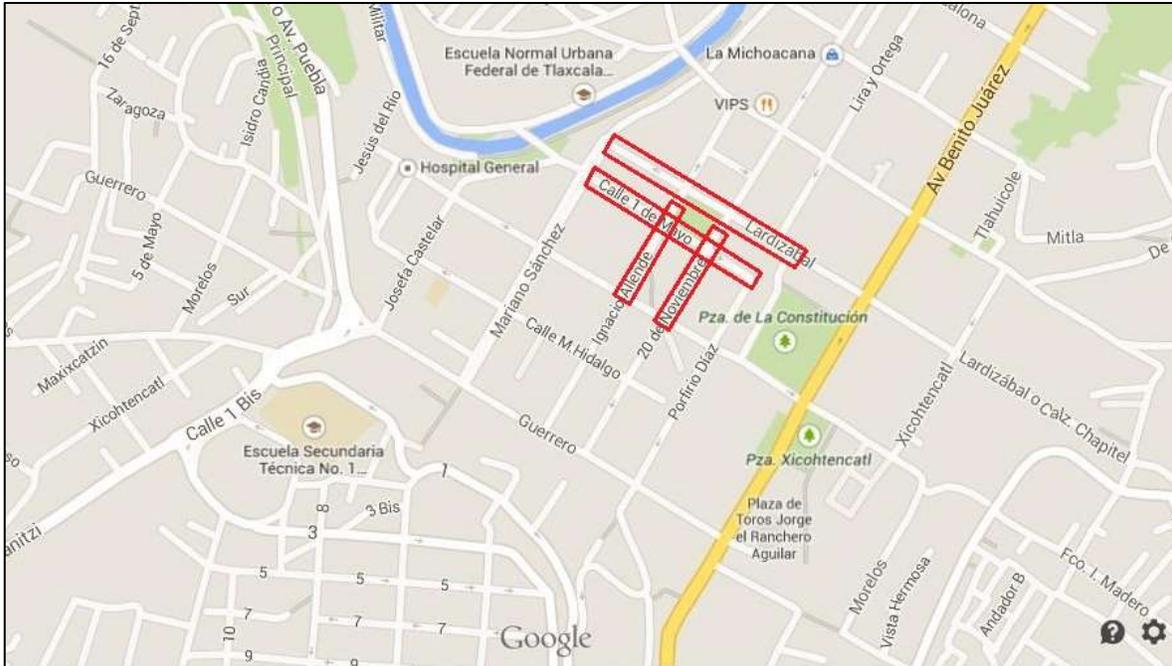
Los problemas de inundación que se presentan en temporada de lluvias se localizan principalmente en la zona centro de la ciudad, particularmente en la avenida Lardizábal desde la calle Plaza de la Constitución hasta la calle Emilio Sánchez Piedras (ver Ilustraciones 3 y 4). En esta calle se presenta el problema de saturación del drenaje que trabaja como mixto; es decir, recibe descargas sanitarias de los predios contiguos y descargas pluviales de las rejillas que se ubican en estas calles.

Otro sitio de inundación es la calle 1º de Mayo, desde Porfirio Díaz hasta el boulevard Mariano Sánchez. En conjunto con las calles Ignacio Allende y 20 de Noviembre, entre las avenidas Lardizábal y Diego Muñoz Camargo, se localizan los puntos más bajos de esta planicie. Anteriormente, se localizaba la barranca de Xico que daba salida de

⁵ El coeficiente de escurrimiento es la relación entre la cantidad de agua de escurrimiento y la cantidad de agua precipitada; se expresa en porcentaje.
De la Lanza-Espino, Guadalupe, 1999. *Diccionario de hidrología y ciencias afines*. Plaza y Valdés, 1999.

forma natural a las aguas de lluvia que se acumulaban en esta zona hacia el río Zahuapan; sin embargo, por el crecimiento de la ciudad esta salida se encuentra saturada.

Ilustración 3 Puntos más bajos (propensos a inundaciones) en el centro de Tlaxcala



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 4 Inundaciones en el centro de Tlaxcala

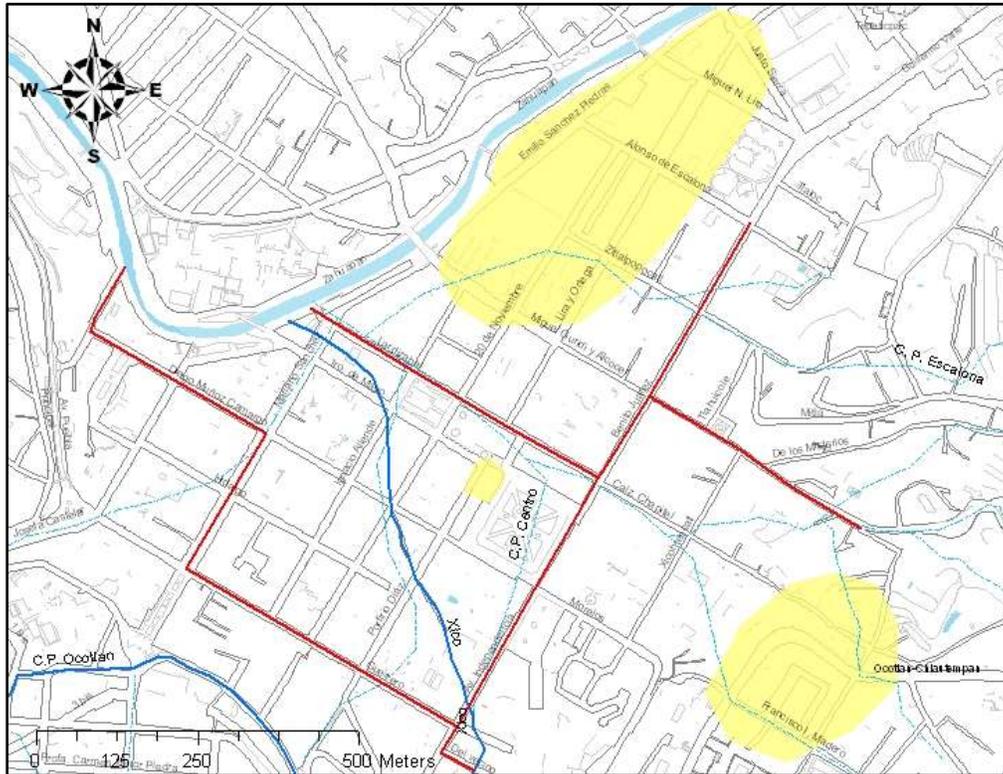


Fuente: Elaboración propia con trabajo de campo y archivo fotográfico de la SECODUVI, 2013.

Estos sitios susceptibles de inundación coinciden con las cotas más bajas de la zona centro y con los tramos con las menores pendientes de los colectores, lo que genera una baja capacidad de desalojo de las aguas que llegan a estos puntos.

En la imagen siguiente (Ver Ilustración 5) se identifican en amarillo las tres zonas mencionadas con problemas de inundación de 5 a 10 veces al año, en época de lluvias. Una de ellas se ubica en la zona en las inmediaciones del mercado central, otra en una parte baja por donde cruza la carretera Ocotlán-Santa Ana y una tercera zona en el pleno centro de la ciudad, frente al antiguo palacio legislativo:

Ilustración 5 Manchas de inundación en el centro de Tlaxcala para un periodo de retorno (T_r) menor al año.



Fuente: Elaboración propia.

Ante esta problemática de inundación, se plantean obras de intercepción de agua pluvial para evitar la saturación de la infraestructura actual y la consecuente inundación del centro histórico. El proyecto se describe a detalle en la sección 4 del documento.

Metodología para el cálculo de daños y beneficios del proyecto “Construcción del drenaje pluvial de la ciudad de Tlaxcala, Tlaxcala”

El proyecto denominado “Construcción del drenaje pluvial de la ciudad de Tlaxcala, Tlaxcala” se considera un proyecto de infraestructura económica, ya que se trata de la

construcción y ampliación de activos fijos para la prestación del servicio de protección de inundaciones⁶.

Por otra parte dado que la inversión requerida se encuentra entre los 50 y 500 millones de pesos, la conveniencia para el país de ejecutar dicha obra se tiene que realizar mediante un análisis costo-beneficio simplificado⁷ el cual consiste en un evaluación socioeconómica a nivel perfil, es decir, se utiliza la información disponible con que cuenta la dependencia o entidad, tomando en cuenta la experiencia derivada de proyectos realizados y el criterio profesional de los evaluadores.

También se puede utilizar información proveniente de revistas especializadas, libros en la materia, artículos contenidos en revistas arbitradas, estudios similares, estadísticas e información histórica y paramétrica, así como experiencias de otros países y gobiernos.

Dado que la calidad y cantidad de información con la que se cuenta en torno a los costos asociados a las inundaciones que se han presentado en la zona de estudio no satisface las necesidad para evaluar el proyecto, se decidió tomar como referencia el estudio que se publica de manera anual denominado “Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana” editado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) ya que es un estudio que se ha ido perfeccionado metodológicamente desde el año 1999, el cual recopila y analiza información documental recabada de diversas fuentes tanto del sector público como del privado, destacando la Dirección General del Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) y la Dirección General de Protección Civil (DGPC).

⁶ Clasificación de acuerdo con la Sección II, numeral 2, inciso i) de los Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 30 de diciembre del 2013.

⁷ Clasificación de acuerdo con la Sección V, numeral 9, inciso i) de los Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 30 de diciembre del 2013.

Dado que las inundaciones ocurridas en febrero de 2010 en las delegaciones Gustavo A. Madero, Venustiano Carranza, Iztacalco e Iztapalapa, y en Ecatepec de Morelos, Nezahualcóyotl, Chalco y Valle de Chalco Solidaridad en el Estado de México fueron documentadas de manera exhaustiva, y las características climatológicas y sociales hacen apropiada la comparación con el centro de la ciudad de Tlaxcala, se decidió tomar dicho estudio como referencia (ESTUDIO BASE).

Los costos asociados a la inundación del ESTUDIO BASE que fueron tomados en cuenta para el cálculo de los beneficios de la evaluación socioeconómica del PROYECTO son:

- A. Costo evitado de limpieza y desinfección de calles*
- B. Costo evitado por implementar campañas de salud*
- C. Costo evitado por daños en las viviendas*
- D. Costo evitado por daños en infraestructura urbana*
- E. Costo evitado por atención a la emergencia*
- F. Costo evitado por daños a infraestructura de educación*
- G. Costo evitado por daños a la infraestructura hidráulica*

Como ya se comentó, con la ejecución del proyecto se pretende dar protección a la población contra inundaciones, para evaluar este tipo de proyectos la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) establece⁸ que el cálculo de beneficios se debe realizar utilizando la metodología de “daño evitado”.

Dicho cálculo permite determinar el valor esperado de cada uno de los costos evitados, mediante la relación de los mismos con la probabilidad de ocurrencia de la inundación considerando la magnitud de la precipitación, dicha relación se puede interpretar gráficamente como una curva costos-probabilidad de ocurrencia.

⁸ Metodologías de Evaluación Socioeconómica para Proyectos de Agua Potable, Alcantarillado, Saneamiento y Protección a Centros de Población. CONAGUA 2008.

La presente descripción metodológica pretende explicar de manera clara y detallada el procedimiento realizado para el cálculo de los beneficios de la evaluación socioeconómica del proyecto denominado “Construcción del drenaje pluvial de la ciudad de Tlaxcala, Tlaxcala” el resto del documento se divide de la siguiente manera, en el numeral dos se describe la manera en que se trabajaron los datos del Estudio Base para poder ser utilizados en la evaluación socioeconómica, en el numeral tres se detalla la forma en que se calculó el daño por cada periodo de retorno y el costo total anual por la esperanza matemática para tormentas con periodos de retorno de 1, 3, 5 y 10 años, por último en el numeral cuatro se dan a conocer las fuentes de información consultadas.

Extrapolación de datos

El primer paso para extrapolar la información del ESTUDIO BASE fue calcular todos los costos de manera unitaria, es decir distribuir los costos de la inundación entre la población afectada, de este modo se desasocian los costos con los volúmenes de precipitación presentados.

- Cálculo de la población afectada

Primero se calculó el índice de hacinamiento de cada delegación o municipio comprendido en el ESTUDIO BASE dividiendo el número de hogares totales entre la población total de cada delegación o municipio.

$$\frac{h}{p} = IH$$

Donde:

h= hogares

p = población municipal o delegacional

IH= índice de hacinamiento.

Después se calculó la población afectada multiplicando el índice de hacinamiento por la cantidad de hogares afectados señalados en el ESTUDIO BASE.

$$(hf)(IH) = Paf$$

Donde:

hf= hogares afectados en la inundación de 2010

IH= índice de hacinamiento

Paf= población afectada (habitante)

- Costo unitario del ESTUDIO BASE

Para obtener el costo unitario de la contingencia registrada por el CENAPRED en 2010 se dividió el costo de cada concepto entre la población afectada.

$$\frac{Ct}{Paf} = Cu$$

Donde:

Paf= Población afectada en 2010

Ct= Costo reportado por cada rubro en el ESTUDIO BASE

Cu= Costo unitario (pesos del 2010)

Se realizó este procedimiento para cada uno de los beneficios cuantificados en la evaluación y se actualizó por el índice nacional de precios al consumidor (INPC) para considerar el efecto inflacionario del periodo 2010-2015.

El INPC base fue el de febrero de 2010 y que se utilizó para actualizarlo fue febrero de 2015

$$\frac{INPC\ 2010}{INPC\ 2015} = \text{factor de actualización}$$

Costo total de las afectaciones por periodo de retorno.

- Costo del daño por periodo de retorno

Una vez obtenidos los costos unitarios del ESTUDIO BASE, se calcula la población potencialmente afectada en Tlaxcala de Xicotencatl tomando en cuenta el área de inundación expresada en metros cuadrados en cada periodo de retorno y se multiplica por la densidad de población de dicha ciudad.

Para obtener la afectación monetaria de cada periodo de retorno se multiplica los costos totales unitarios actualizados del ESTUDIO BASE, por la población afectada correspondiente a cada periodo de retorno.

$$\left(\sum Cu\right)(P_{trx}) = CT_{trx}$$

Donde:

Cu= Costo unitario actualizado del ESTUDIO BASE

P_{trx}= Población afectada en un periodo de retorno determinado

CT_{trx}= Costo total en un periodo de retorno determinado (pesos del 2015)

Una vez que se tienen costo total correspondiente a cada periodo de retorno se calcula la esperanza matemática

- Costo total anual calculado por la esperanza matemática

La probabilidad de ocurrencia de los daños potenciales que podrían ser generados por una inundación, está determinada por el periodo de retorno (Tr) de una tormenta

capaz de generar una acumulación de agua en la zona de influencia dadas las condiciones de la infraestructura hidráulica existente.

Para estos análisis, la probabilidad de ocurrencia es el inverso del periodo de retorno, de acuerdo a la siguiente función:

$$Pr = \frac{1}{T_r}$$

Donde:

Pr = Probabilidad de ocurrencia de un evento de inundación

Tr = Periodo de retorno de una tormenta

Se considera el área bajo la curva como los beneficios de proyecto considerando la probabilidad de ocurrencia de cada periodo de retorno, por lo cual se sumaron las áreas bajo la misma tomando como referencia el valor promedio de los daños entre dos periodos de retorno consecutivos y la diferencia de las probabilidades de cada escenario de ocurrencia entre los mismos.

$$\frac{\$i + \$n}{2} X (P_i - P_n) = \varepsilon$$

En donde:

$\$i$ = Beneficio del periodo de retorno con mayor probabilidad de ocurrencia

$\$n$ = Beneficio del periodo de retorno con menor probabilidad de ocurrencia

P_i = Probabilidad de ocurrencia del periodo de retorno con mayor probabilidad de ocurrencia (1/periodo de retorno)

P_n = Probabilidad de ocurrencia del periodo de retorno con menor probabilidad de ocurrencia (1/periodo de retorno)

ε = esperanza matemática

De esta forma, al relacionar el valor de los daños potenciales de una serie de posibles eventos de inundación, con respecto a la probabilidad de ocurrencia de dichos eventos, se pudo cuantificar el beneficio estimado por daño evitado.

Este cálculo se realizó para los periodos $(Tr_1 - Tr_3)$, $(Tr_3 - Tr_5)$ y $(Tr_5 - Tr_{10})$ y se suman los resultados para conocer el beneficio anual.

$$\sum_{(Tr_5 - Tr_{10})}^{(Tr_1 - Tr_3)} \varepsilon = \text{Beneficio anual del proyecto}$$

Los periodos de retorno analizados se tomaron en función de la capacidad hidráulica de las obras a ejecutar, las cuales están pensadas para tormentas con un periodo de retorno de hasta diez años.⁹

Considerando lo anterior, los costos que representan estas inundaciones se calcularon extrapolando información del reporte levantado en 2010 por el CENAPRED en relación a las inundaciones en el oriente de la Ciudad de México y municipios aledaños al Estado de México:

⁹ Fuentes consultadas:

Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2011. Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2010.

Consejo Nacional de Población, 2010. Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2010.

Consejo Nacional de Población, 2013. Proyecciones de la Población de las Localidades de México 2010-2030.

Comisión Nacional del Agua, 2008. Metodologías de Evaluación Socioeconómica para Proyectos de Agua Potable, Alcantarillado, Saneamiento y Protección a Centros de Población. México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010. Marco Geoestadístico 5.0. a al cierre del Censo de Población y Vivienda.

Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión, consultado en el Diario Oficial de la Federación del 30 de diciembre del 2013

Costo	Cuantificación anual
<i>Costo por limpieza y desinfección de calles</i>	300,771
<i>Costo por implementar campañas de salud</i>	594,874
<i>Costo por daños en las viviendas</i>	7,906,158
<i>Costo por daños en infraestructura urbana</i>	4,249,088
<i>Costo por atención a la emergencia</i>	545,760
<i>Costo por daños en infraestructura educativa</i>	719,720
<i>Costo por daños a infraestructura hidráulica</i>	5,559,151
Total	19,875,522

2.2 Análisis de la Oferta o infraestructura existente

Como se señaló en secciones previas, los trabajos realizados en años anteriores para evitar las inundaciones consistieron en la estructuración de un sistema de colectores pluviales en el centro de la ciudad que descargan los niveles de agua en diferentes puntos del río Zahuapan (uno sobre la calle Lardizábal y otra sobre la calle Jesús del Río). Asimismo, de manera complementaria, la barranca de Xico se “entubó” en el tramo del centro de la ciudad (parque central), descargando al mismo cuerpo receptor

del río. Finalmente, en la parte alta de la ciudad se construyó un canal interceptor para evitar que escurran al centro de la ciudad las aguas pluviales de la región de Ocotlán y la Colonia del Maestro; cuyo canal descarga al sur-poniente de la central camionera en otra afluyente del Río Zahuapan.

Dado que la infraestructura pluvial mencionada cuenta con aproximadamente 40 años de antigüedad, se encuentra deteriorada en algunos tramos, por lo que se consideró pertinente modificar el coeficiente de rugosidad de las tuberías ($n = 0.016$); lo cual reduce la capacidad de conducción y por lo tanto la oferta actual del servicio de conducción y desalojo de agua pluvial.

A continuación se describen de manera más detallada estas obras:

Colector calle Guerrero - Mariano Sánchez - Diego Muñoz

En la zona más alta de captación, el colector se compone de un sistema de tuberías de concreto hidráulico con diámetros de 30, 38 y 45 cm y posteriormente se conforma en una sección de 1.45 m de base y 0.60 m de altura.

Conduce $0.713 \text{ m}^3/\text{s}$ y se alimenta de los gastos provenientes de 13.25 hectáreas localizadas al poniente del centro de la ciudad.

Las aguas conducidas por este colector son descargadas en la margen izquierda del río Zahuapan, a la altura de la calle Jesús del Río en la cota 2225.51 m.s.n.m.

Colector barranca "Xico"

Cuenta con una sección de canal de 1.50 m de base y 1.65 m de altura, que posteriormente se reduce a 1.20 m de altura y 1.40 m de base, con una capacidad de $2.61 \text{ m}^3/\text{s}$. El área de aportación mide 38.02 hectáreas ubicadas al sur de la zona centro.

Dicho colector descarga el caudal conducido hasta la margen izquierda del río Zahuapan, a la altura de la calle 1° de Mayo en la cota 2,224.36 m.s.n.m.

Colector Independencia - Lardizábal

Está conformado por un sistema de tuberías de concreto hidráulico con diámetros que van desde los 30 a los 122 cm al inicio del colector, y posteriormente transita hacia una sección de concreto de 1.05 m de base y 1.15 m de altura; su capacidad de conducción es de 3.481 m³/s.

Desaloja un área de 61.95 hectáreas, las cuales se localizan desde las partes altas de la zona de Ocotlán y hasta el área sur de la zona centro, descargando en la margen izquierda del río Zahuapan a la altura de la calle Lardizábal en la cota 2,224.85 m.s.n.m.

Colector Ocotlán

El colector Ocotlán se localiza en la parte oriente y sur de la zona de estudio, tiene una capacidad de diseño de 5.2 m³/s y su área de aportación es la subcuenca Ocotlán con una superficie de 262.82 hectáreas.

Barranca "sin nombre"

Las aguas conducidas por el colector Ocotlán se descargan en el arroyo pluvial conocido como barranca sin nombre, la cual intercepta 12.3 m³/s de la subcuenca Barranca poniente que tiene una extensión de 166 hectáreas. La capacidad de conducción de esta barranca es de 17.5 m³/s, y dicho caudal es descargado en el río Zahuapan.

Una vez descritos los principales componentes, en la siguiente tabla se muestra un resumen de la oferta actual (conjunta) con la que cuenta la ciudad de Tlaxcala para el desalojo de agua de lluvia:

Tabla 1. Oferta actual del servicio

Componente	Tipo de obra	Gasto m ³ /s	Longitud	Materiales	Sección	Diámetros	Estado de conservación	Descarga	Sección
Colector Independencia	Tubería/canal	3.48	2020 m	concreto	circular	30 a 120 cm	funcional	rectangular	1.05 x 1.15 m
Colector Guerrero	Tubería/canal	0.713	1150 m	concreto	circular	30 a 45 cm	funcional	rectangular	1.45 x 0.6 m
Barranca Xico	Canal	2.61	882 m	terreno natural	trapezoidal irregular	1.2 x 1.4 m	con maleza		
			820 m	<u>boveda</u>	circular		deteriorada		
Sistema Ocotlán - Barranca	Colector/Barranca	17.5	1601 m	concreto	rectangular	3.0 x 1.8 m	funcional		
Total		24.3							

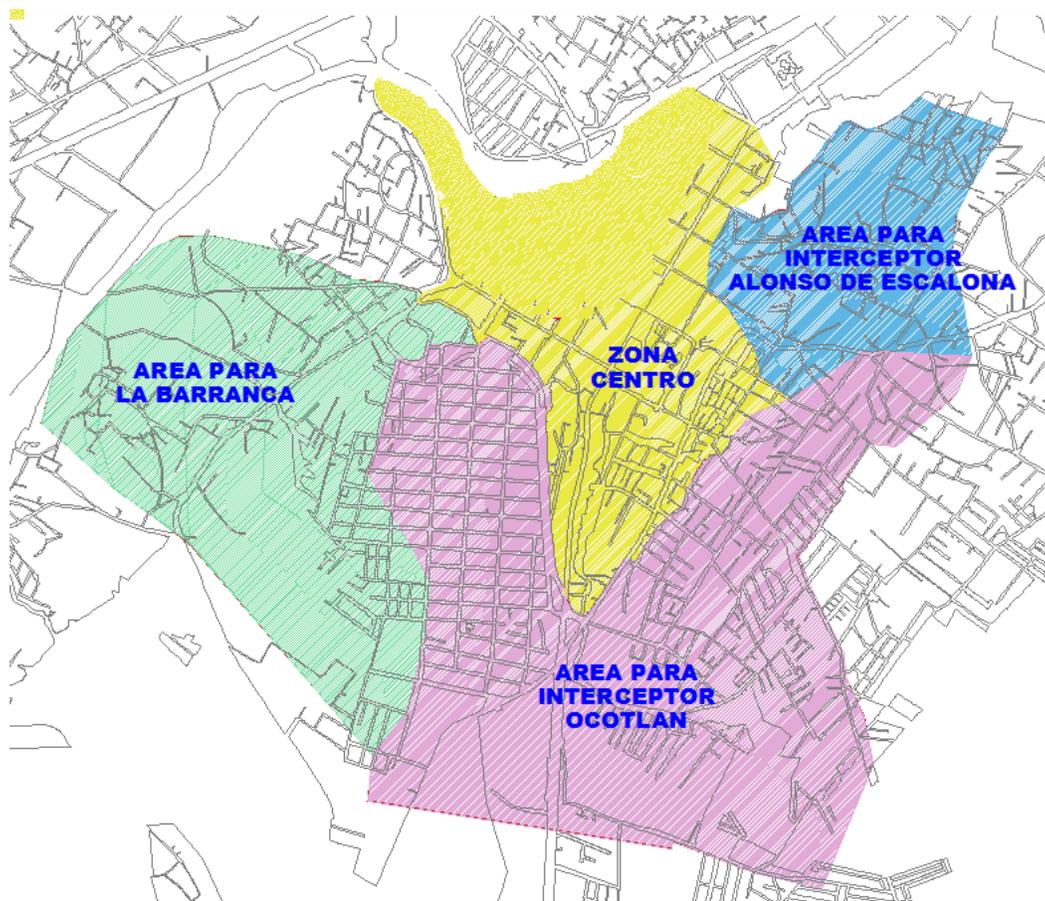
Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, se tiene una oferta máxima para recibir un gasto de 24.3 m³/s en la ciudad de Tlaxcala; la cual permanecería constante en el tiempo en caso de no realizarse algún tipo de mejora.

2.3 Análisis de la Demanda actual

La demanda actual de los servicios se calcula en función del análisis de las cuencas de aportación, las cuales se definen como aquellas áreas de terreno donde el agua de lluvia que cae sobre la superficie no se filtra y debe ser conducida hasta un punto de salida, en este caso el río Zahuapan (ver Ilustración 6).

Ilustración 6 Subcuencas que conforman el área de aportación.

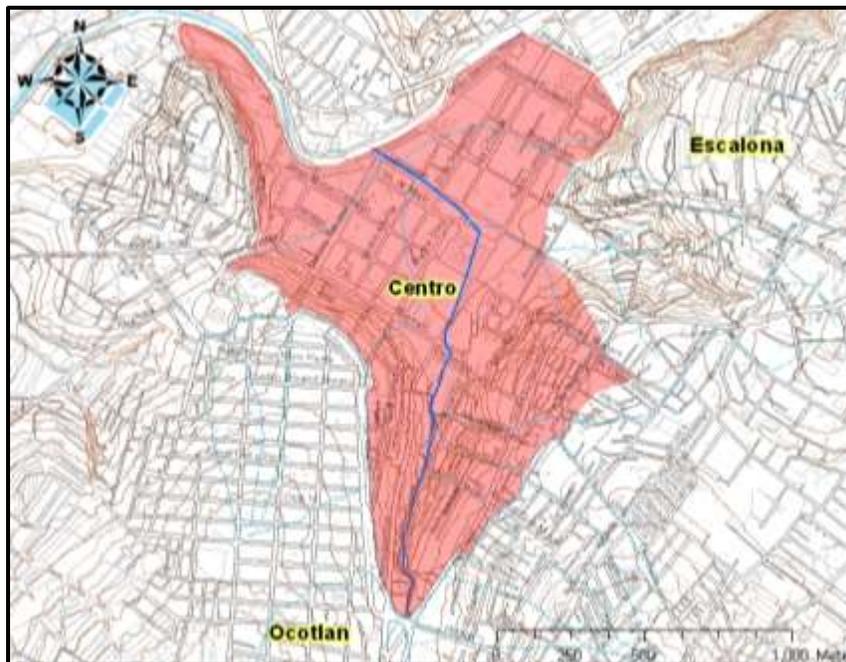


Fuente: SECODUVI.

A continuación se presentan los análisis de las subcuencas de aportación y la determinación de valores geométricos para la estimación de la demanda actual; definida junto con los coeficientes de escurrimiento y las pendientes de los cauces:

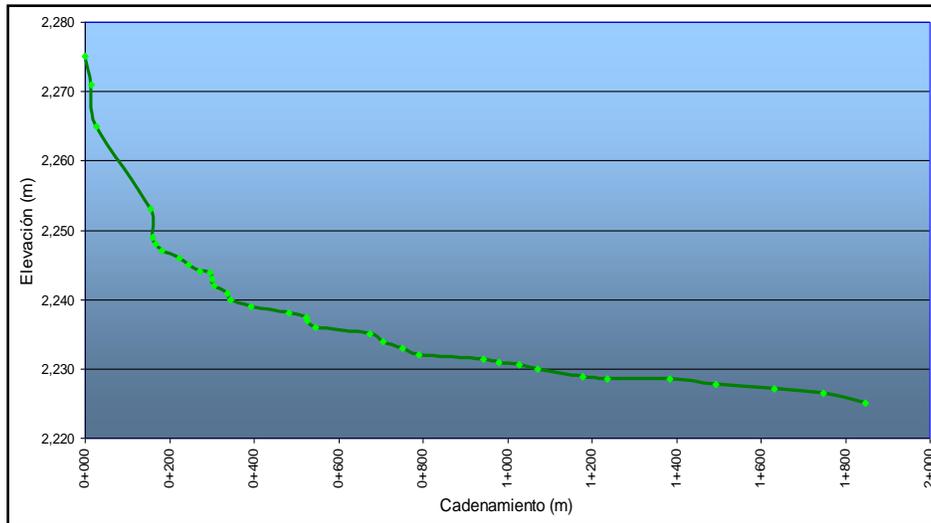
La **zona número 1 “Centro”** se ubica en la parte más baja de la cuenca de aportación. El cauce inicia en la cota 2,275 m.s.n.m. y después de 1,846.50 m desemboca en el río Zahuapan en la cota 2,225 m.s.n.m., dando un total de 50 m de desnivel total y una pendiente media del 2%. Para la determinación del área de aportación, se tomó principal énfasis en las curvas de nivel y se siguió el trazo de las mismas a fin de obtener el polígono de aportación y delimitar la subcuenca; la cual cuenta con un área de aportación de 138.10 hectáreas.

Ilustración 7 Subcuenca de aportación zona Centro



Fuente: Elaboración propia.

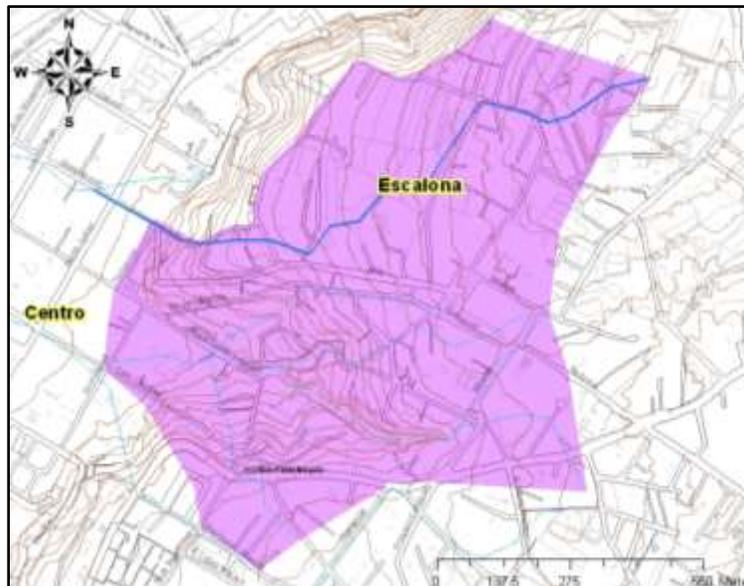
Ilustración 8 Perfil del cauce principal en la zona centro



Fuente: Elaboración propia.

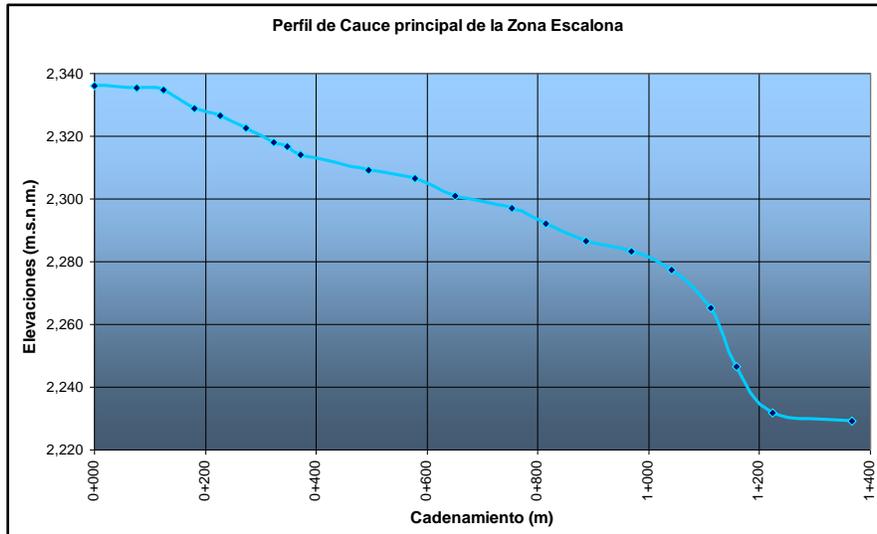
La **zona número 2 “Escalona”** cuenta con un área de aportación de 79.63 hectáreas; su cauce principal inicia en la cota 2,336 m.s.n.m. y después de 1,336 m termina en la cota 2,229 m.s.n.m., dando un total de 107 m de desnivel total y una pendiente media del 5%.

Ilustración 9 Subcuenca de aportación zona Escalona



Fuente: Elaboración propia.

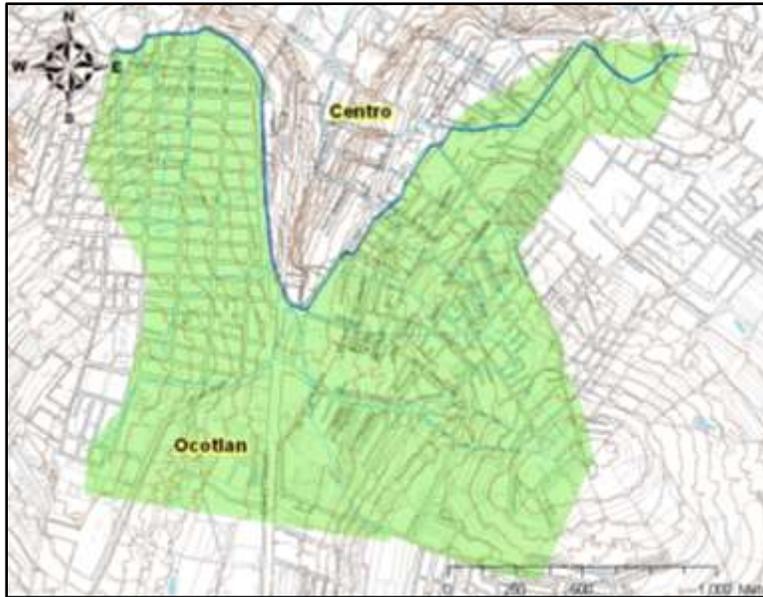
Ilustración 10 Perfil del cauce principal en la zona Escalona



Fuente: Elaboración propia.

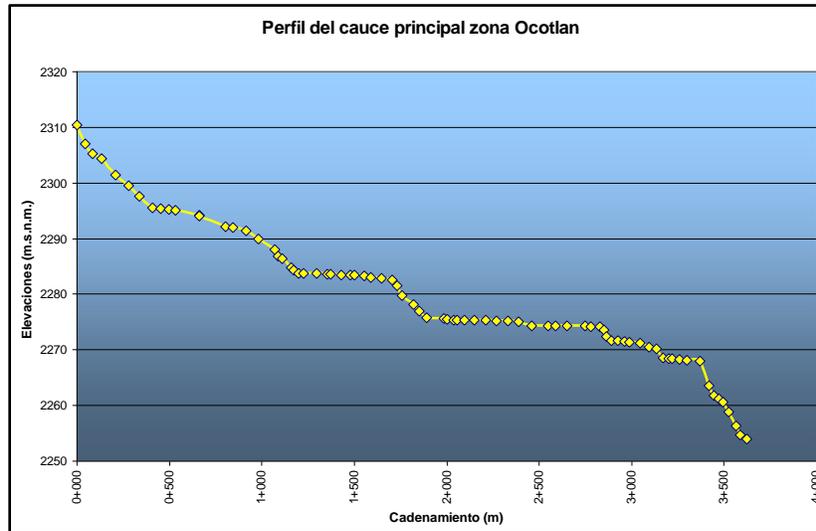
La **zona número 3 “Ocotlán”** está integrada por la subcuenca ubicada en la zona sur del estudio y contiene la cota más alta dentro del área total de captación; cuenta con un área de aportación de 262.82 hectáreas y su cauce principal inicia en la cota 2,310 m.s.n.m. y después de 3,623 m termina en la cota 2,254 m.s.n.m., dando un total de 56 m de desnivel total y una pendiente media del 0.3%.

Ilustración 41 Subcuenca de aportación zona Ocotlán



Fuente: Elaboración propia.

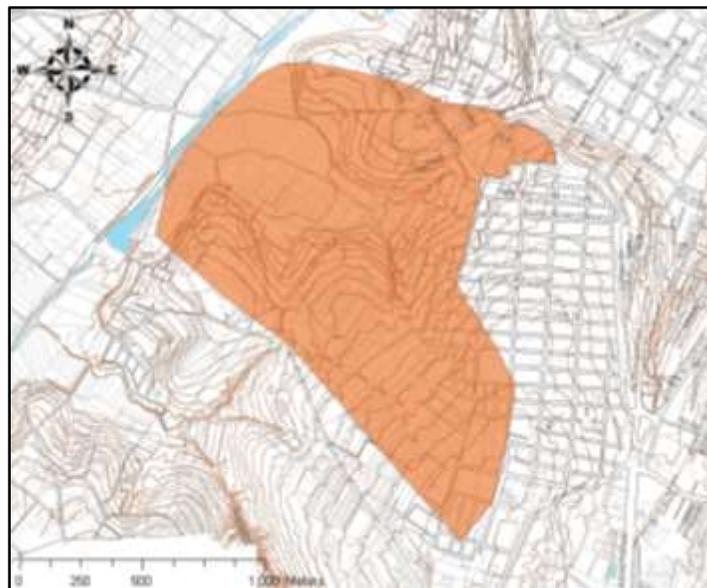
Ilustración 5 Perfil del cauce principal en la zona Ocotlán



Fuente: Elaboración propia.

La zona **número 4 “Barranca poniente”** está integrada por la subcuenca ubicada en la zona sur-poniente del estudio y contiene la cota más baja en donde se realizará la descarga final del colector Ocotlán; cuenta con un área de aportación de 166.50 hectáreas y su cauce principal inicia en la cota 2,254 m.s.n.m.; el gasto generado en esta zona es de 12.3 m³/s.

Ilustración 6 Subcuenca de aportación Barranca poniente



Fuente: Elaboración propia.

Una vez definidas las áreas de aportación y su pendiente media, se realizó el análisis estadístico de escurrimientos y permeabilidad para conocer los caudales que efectivamente escurren hasta la zona más baja de la ciudad.

Las áreas urbanas o susceptibles de urbanización están sujetas a una clasificación de usos futuros del suelo. Tomando en consideración dichos usos, se definen los coeficientes de escurrimiento con base en coeficientes preponderados según el uso del suelo, mismos que toman como base los valores recomendados por diversas publicaciones de hidrología urbana.

A continuación se presenta el análisis de los coeficientes de escurrimiento por área urbana:

Tabla 2. Coeficientes de escurrimiento por tipo de suelo

TIPO DEL ÁREA DRENADA	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	
	MÍNIMO	MÁXIMO
ZONAS COMERCIALES:		
Zona comercial	0.75	0.95
Vecindarios	0.50	0.70
ZONAS RESIDENCIALES		
Unifamiliares	0.30	0.50
Multifamiliares, espaciados	0.40	0.60
Multifamiliares compactos	0.60	0.75
Semiurbanas	0.25	0.40
Casas habitación	0.50	0.70
ZONAS INDUSTRIALES		
Espaciado	0.50	0.80
Compacto	0.60	0.90
CEMENTERIOS, PARQUES	0.10	0.25
CAMPOS DE JUEGO	0.20	0.35
PATIOS DE FERROCARRIL	0.20	0.40
ZONAS SUBURBANAS	0.10	0.30
CALLES:		
Asfaltadas	0.70	0.95
De concreto hidráulico	0.80	0.95
Adoquinadas	0.70	0.85
Calzadas y banquetas	0.75	0.85
ESTACIONAMIENTOS	0.75	0.95
TECHADOS	0.75	0.95
SUELOS		
Arenosos	0.05	0.20
Arcillosos	0.10	0.35

Fuente: Elaboración propia con información de la SECODUVI.

Por otro lado, para la determinación de la demanda se asociaron dichos coeficientes con las áreas marcadas en el Plan Municipal de Desarrollo de Tlaxcala; en el cual se

especifica que para el caso del área de estudio, no se tiene proyectada una modificación del uso de suelo dado que es una zona consolidada. Por lo tanto, el análisis se basó en las características propias de las áreas clasificadas (construidas y patios, tipos de pavimentos, guarniciones, banquetas, terrenos baldíos, parques jardines) como a continuación se detalla:

Tabla 3. Áreas por tipo de suelo

Tipo de área	m2	Hectárea	Coefficiente de escurrimiento	Área por coeficiente de escurrimiento
área construida	1,466,709	146.67	0.74	108.54
banquetas	425,719	42.57	0.8	34.06
calles	1,514,280	151.43	0.7	106.00
áreas verdes	755,993	75.6	0.2	15.12
suelos arcillosos	1,163,092	116.31	0.15	17.45
patios	1,144,662	114.47	0.6	68.68
Total	6,470,455	647.05		349.84

Fuente: Elaboración propia con información de la SECODUVI.

Definidos los parámetros y variables de todos los componentes, se calculó el coeficiente de escurrimiento promedio de las zonas de aportación definidas para el proyecto en la ciudad de Tlaxcala:

$$\text{Coeficiente de escurrimiento} = \frac{\sum(A \times CE)}{\text{área total en hectáreas}} = \frac{349.84}{647.05} = 0.54$$

A continuación se presenta un resumen de cada una de los valores de las subcuencas.

Tabla 4. Valores definidos por área específica

No.	Zona	Coef. Escurrimiento	Pendiente Cauce principal	Desnivel (m)	Tiempo de Concertación (min.)
1	Centro	0.54	1.51 %	50.08	27.60
2	Escalona	0.54	5.02 %	106.78	21.0
3	Ocotlán-Barranca Pte.	0.54	0.3%	56.48	47.4

Fuente: Elaboración propia.

Dadas las características de la cuenca y los datos pluviográficos de la zona, se determinó la demanda por el *método racional americano*, el cual cumple con las condiciones para este tipo de proyectos; lo cual implica una **demanda de 59.5 m³/s considerando un periodo de retorno (Tr)¹⁰ de 10 años.**

Tabla 5. Resumen de la demanda actual por zonas

Zona de la ciudad	Demanda actual (m ³ /s)
Ocotlán	26
Barranca	12.3
Centro	11.2
Escalona	10
Total	59.5

Fuente: Elaboración propia.

¹⁰ Es el tiempo promedio entre dos lluvias de la misma intensidad y duración; es la inversa del intervalo de recurrencia. Así, una lluvia con un periodo de retorno de 10 años se presenta en promedio una vez cada 10 años. Para fines de diseño de drenajes pluviales, cuanto más grande es el periodo de retorno seleccionado más grande es el caudal máximo de escurrimiento, que resulta en una mejor protección contra las inundaciones, aunque a un costo más grande. La selección de un valor del periodo de retorno depende de las reglas de la ingeniería y de las prácticas en uso en la región en estudio. También, puede determinarse por el valor de las propiedades que se deben proteger o por la importancia de los daños causados por el reflujo del sistema de desagüe.

Brière, François G. *Distribución de Agua Potable y Colecta de Desagües y de Agua de Lluvia*. Presses inter Polytechnique, 2005.

Es importante mencionar que la demanda se calcula considerando un periodo de retorno de 10 años ya que las obras que engloba el proyecto están diseñadas para conducir una avenida contenida dentro de ese periodo de retorno.

2.4 Interacción oferta-demanda a lo largo del horizonte de evaluación

El tema de este estudio se refiere específicamente a los excesos temporales y repetitivos de agua pluvial, históricamente incidentes en el centro de Tlaxcala como el punto más bajo de la ciudad. Durante estos episodios el caudal conjunto de todas la cuencas que descargan en el río Zahuapan es de $59.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (a partir de una lluvia con periodo de retorno $Tr=10$ años). De acuerdo con los niveles de oferta actual, la ciudad únicamente puede captar y conducir $24.3 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que implica un déficit de este servicio de $35.19 \text{ m}^3/\text{s}$.

Es importante resaltar el hecho de que la zona de influencia del proyecto está consolidada; por lo tanto, los coeficientes de escurrimiento permanecen constantes a lo largo del tiempo.

Considerando el comportamiento de la oferta y la demanda de servicios de drenaje pluvial, a continuación se presenta de manera gráfica su interacción en un horizonte de evaluación de 20 años (escenario tendencial):

Ilustración 7 Interacción oferta y demanda en la situación actual



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la gráfica, en la situación actual tanto la oferta como la demanda se mantienen constantes a lo largo del horizonte de evaluación. Por el lado de la demanda, la zona de influencia ya está totalmente urbanizada, por lo cual no se espera que el tipo de superficie cambie como en años anteriores; de modo que los coeficientes de escurrimiento permanecen constantes.

Tabla 6. Balance oferta - demanda en la situación actual

Año	Oferta (m³/s)	Demanda (m³/s)	Balance (m³/s)
2015	24.3	59.5	-35.2
2016	24.3	59.5	-35.2
2017	24.3	59.5	-35.2
2018	24.3	59.5	-35.2
2019	24.3	59.5	-35.2
2020	24.3	59.5	-35.2
2021	24.3	59.5	-35.2
2022	24.3	59.5	-35.2
2023	24.3	59.5	-35.2
2024	24.3	59.5	-35.2
2025	24.3	59.5	-35.2
2026	24.3	59.5	-35.2
2027	24.3	59.5	-35.2
2028	24.3	59.5	-35.2
2029	24.3	59.5	-35.2
2030	24.3	59.5	-35.2
2031	24.3	59.5	-35.2
2032	24.3	59.5	-35.2
2033	24.3	59.5	-35.2
2034	24.3	59.5	-35.2
2035	24.3	59.5	-35.2

Fuente: Elaboración propia.

Al analizar este comportamiento se tiene que la demanda de servicios el día de hoy rebasa las condiciones de oferta máxima que las instalaciones de drenaje ofrecen en la situación actual. Por ello es necesario tomar medidas que prevengan de manera efectiva este escenario.

Los $35.19 \text{ m}^3/\text{s}$ que exceden la capacidad de la infraestructura actual, provocan las inundaciones antes comentadas, mismas que generan pérdidas anuales estimadas en 19.8 millones de pesos, en el capítulo 5 se dará una explicación detallada de este cálculo.

3. Situación Sin el Proyecto de Inversión

3.1 Optimizaciones

Para la determinación de la situación sin proyecto deben considerarse las posibles medidas de optimización que eviten una sobreestimación de los beneficios y costos del proyecto.

La medida administrativa de bajo costo que se considera normalmente en obras de conducción es el desazolve de las mismas.

Sin embargo, dado que la infraestructura actual está rebasada en su capacidad de manera considerable y que actualmente se presentan inundaciones en la zona de estudio a pesar de que se realizan trabajos de desazolve de manera previa a la temporada de lluvias, no se considera la misma como una medida paliativa.

Esta situación se explica en el “Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento; Alcantarillado Pluvial” editado por la CONAGUA en diciembre de 2008, en el que se menciona que dentro de las políticas de operación de la red deben estar contemplados programas de mantenimiento preventivo y correctivo, con el propósito de lograr que el sistema funcione de manera óptima. Sin embargo, cuando se presentan lluvias mayores a la que corresponde al periodo de diseño es de esperarse que trabajen a presión y como consecuencia se produzcan inundaciones en la zona.

Como ya se ha abordado en los capítulos anteriores, los eventos de inundación se han ido agravando por causa de la urbanización que se vivió en las zonas altas que aportan caudales pluviales al centro de la ciudad, lo cual genera que la capacidad de diseño de los colectores se va rebasada de 5 a 10 veces al año.

Ante la ausencia de una alternativa de bajo costo que se considere relevante para la mitigación del problema que motiva este proyecto, no se consideran medidas de optimización técnicamente factibles.

3.2 Análisis de la Oferta en caso de que el proyecto de inversión no se lleve a cabo

Al no existir una posible medida de optimización, se considera que la oferta del servicio de captación y conducción de agua de lluvia en la ciudad de Tlaxcala se mantendrá igual que en la situación actual. Esto se debe a que en la situación actual se toma en cuenta el desazolve de la infraestructura pluvial de la zona de estudio; siendo ésta la medida de optimización para este tipo de proyectos.

Como se mencionó en la sección 2.2, la oferta actual es de 24.3 m³/s de manera constante a lo largo del periodo de evaluación, ya que el mantenimiento que se les da a los colectores dos veces al año permitirá mantener su operación estable.

Tabla 7. Oferta en la situación sin proyecto

Estructura de los componentes	Tipo de obra	Gasto (m³/s)
Colector Independencia	Tubería/Canal	3.481
Colector Guerrero	Tubería/canal	0.713
Barranca Xico	Canal	2.61
Sistema Ocotlán-Barranca	Colector/barranca	17.5
TOTAL		24.3

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Análisis de la Demanda

La demanda se calcula en función de dos variables: precipitación y coeficiente de escurrimiento; mismas que no se ven alteradas por la ejecución del proyecto.

En el caso de la primera variable, se considera un periodo de retorno de 10 años, por lo cual se calcula con base en estadísticas de ocurrencia. Por otro lado, el coeficiente de escurrimiento se calcula tomando en cuenta la composición de la superficie comprendida en las subcuencas tributarias. Al igual que la oferta, la demanda permanece constante con un caudal de 59.5 m³/s a lo largo del periodo de evaluación, ya que no se espera que el coeficiente de escurrimiento cambie en dicho lapso al considerar que la zona de estudio está consolidada urbanísticamente.

Esta consolidación se ve reflejada en las proyecciones de crecimiento poblacional publicadas por la Comisión Nacional de Población para las localidades tributarias en la zona de estudio, mismas que tiene una tasa negativa de crecimiento promedio de -1.6% en el periodo comprendido entre 2010 y 2030, tal como se aprecia a continuación.

Nombre de la localidad	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Tlaxcala de Xicohténcatl	14,871	14,717	14,532	14,336	14,130	13,913	13,687	13,452	13,209	12,958	12,700
Ocotlán	22,519	22,441	22,313	22,164	21,997	21,810	21,604	21,380	21,140	20,882	20,608
San Gabriel Cuauhtla	8,008	8,188	8,353	8,513	8,668	8,817	8,961	9,099	9,230	9,354	9,471
Santa María Ixtulco	5,357	5,540	5,715	5,891	6,066	6,241	6,415	6,587	6,758	6,927	7,093
La Trinidad Tepehitec	2,183	2,304	2,425	2,551	2,681	2,815	2,952	3,094	3,239	3,388	3,540
Total	52,938	53,189	53,338	53,455	53,541	53,596	53,619	53,613	53,576	53,509	53,413
Diferencia porcentual		0.47%	0.28%	0.22%	0.16%	0.10%	0.04%	-0.01%	-0.07%	-0.12%	-0.18%

Nombre de la localidad	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Tlaxcala de Xicohténcatl	12,436	12,167	11,893	11,615	11,334	11,050	10,766	10,482	10,197	9,914
Ocotlán	20,319	20,017	19,702	19,375	19,037	18,689	18,335	17,975	17,609	17,237
San Gabriel Cuauhtla	9,581	9,684	9,779	9,866	9,946	10,018	10,084	10,142	10,194	10,238
Santa María Ixtulco	7,257	7,418	7,576	7,731	7,881	8,029	8,173	8,314	8,451	8,584
La Trinidad Tepehitec	3,696	3,856	4,018	4,184	4,353	4,525	4,701	4,880	5,062	5,247
Total	53,290	53,141	52,968	52,771	52,551	52,312	52,059	51,792	51,512	51,220
Diferencia porcentual	0	-0.28%	-0.33%	-0.37%	-0.42%	-0.45%	-0.48%	-0.51%	-0.54%	-0.57%

3.4 Interacción oferta-demanda con optimizaciones

De no ejecutarse el proyecto, la zona de estudio tendría un déficit constante de 35.2 m³/s en la prestación del servicio de captación y recolección de agua pluvial, con lo cual se continuarían presentando inundaciones en las partes más bajas del centro

histórico de manera recurrente; trayendo consigo pérdidas materiales para la sociedad y el ayuntamiento.

Ilustración 15 Interacción oferta -demanda en la situación sin proyecto



Tabla 8. Balance oferta - demanda en la situación sin proyecto

Año	Oferta (m ³ /s)	Demanda (m ³ /s)	Balance (m ³ /s)
2015	24.3	59.5	-35.2
2016	24.3	59.5	-35.2
2017	24.3	59.5	-35.2
2018	24.3	59.5	-35.2
2019	24.3	59.5	-35.2
2020	24.3	59.5	-35.2
2021	24.3	59.5	-35.2
2022	24.3	59.5	-35.2
2023	24.3	59.5	-35.2
2024	24.3	59.5	-35.2
2025	24.3	59.5	-35.2
2026	24.3	59.5	-35.2
2027	24.3	59.5	-35.2
2028	24.3	59.5	-35.2
2029	24.3	59.5	-35.2
2030	24.3	59.5	-35.2
2031	24.3	59.5	-35.2
2032	24.3	59.5	-35.2
2033	24.3	59.5	-35.2
2034	24.3	59.5	-35.2
2035	24.3	59.5	-35.2

Fuente: Elaboración propia.

Esta situación provoca que año con año se sufra de pérdida materiales, las cuales se cuantifican en 19.2 millones de pesos (mdp), las afectaciones más cuantiosas son por daños a la vivienda (7.6 mdp) daños a infraestructura hidráulica (5.3 mdp) y daños en infraestructura urbana (4.1 mdp).

Para el cálculo de dicho daños se tomó como base la información oficial proporcionada por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) referente a las inundaciones ocurridas en febrero de 2010 en las delegaciones Gustavo A. Madero, Venustiano Carranza, Iztacalco e Iztapalapa, y en Ecatepec de Morelos, Nezahualcóyotl, Chalco y Valle de Chalco Solidaridad en el Estado de México¹¹.

¹¹ La recopilación y análisis de la información estuvieron a cargo de la Subdirección de Estudio Económicos y Sociales del CENAPRED, y es producto de información documental recabada de diversas fuentes tanto del sector público como del privado, destacando la Dirección General del Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) y la Dirección General de Protección Civil (DGPC), a través del Centro Nacional de Comunicaciones.

Lo anterior ya que la información de afectaciones por inundación en la zona de estudio es escasa y no tan confiable, ya que no tiene una metodología establecida como la del CENAPRED.

Se consideró pertinente utilizar la información de evento ocurrido en el Distrito Federal y Estado de México ya que el análisis climatológico y social arrojó que dicho comparativo resultaría en un supuesto conservador, tal como se verá en el capítulo 5¹².

Este aproximado de daño se cuantificó tomando en cuenta la metodología avalada por CONAGUA de “daño esperado”, en donde se calculan los daños esperados en diferentes escenarios de intensidad de lluvia y se multiplican por la probabilidad de ocurrencia de dicha precipitación, para luego obtener por esperanza matemática de los periodos comprendidos en la capacidad hidráulica de la obra a ejecutar el daño anual de dicha situación. En el capítulo 5 se ahondará más sobre esta metodología y el cálculo realizado.

¹² Este proyecto de inversión se considera de infraestructura económica y su monto de inversión es mayor a los 50 millones de pesos y menor de 500, por lo tanto le aplica un análisis de costo-beneficio simplificado, utilizando información a nivel perfil, es decir, se puede utilizar información proveniente de revistas especializadas, libros en la materia, artículos contenidos en revistas arbitradas, estudios similares, estadísticas e información histórica y paramétrica. Lo anterior de acuerdo con los lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión vigentes.

3.5 Alternativas de solución

Respecto a los colectores como medida de canalizar los flujos de agua pluvial, se analizó la posibilidad de utilizar tubería, aunque se tiene el inconveniente de que requiere una altura mínima de terreno sobre el lomo del tubo que sirva como amortiguamiento de las cargas vivas que se tendrán, ya que esta situación se presenta mayormente en la zona del centro de la ciudad y particularmente en el zócalo debido a una topografía casi plana. Asimismo, esta situación se presenta en la zona donde cruza la carretera a Ocotlán con la carretera federal Tlaxcala–Puebla y en la zona de la central camionera. Por lo tanto, el nivel de plantilla al arranque se deba ubicar a una profundidad de 1.0 m sobre el lomo; provocando que se diseñe con pendientes bajas, lo que genera que en el sitio de descarga al río se encuentre en un nivel cercano a los 3.0 metros de profundidad; de tal forma que en caso de que el río Zahuapan tenga un caudal que provoque un tirante al nivel medio de su altura no permita la descarga de las aguas pluviales.

Por lo anterior, se plantea como medida factible técnicamente utilizar un conducto rectangular con capacidad de carga viva sobre su estructura para que pueda ser construido a menores niveles de profundidad, naturalmente aun así es necesario diseñarlos con una pendiente, lo que provoca que el nivel de descarga no sea igual al de terreno en la llegada, pero permite que la descarga se conserve en un nivel más superficial en el punto de descarga.

Esta solución permite que el conducto inicie prácticamente desde la superficie de rodamiento de la vialidad, y que las excavaciones necesarias sean las mínimas, lo cual posibilita que los colectores trabajen a descarga libre.

Por ello, se considera la ejecución de los colectores con un conducto rectangular, teniendo como alternativas de solución dos técnicas constructivas; instalación de secciones prefabricadas y colado en sitio.

Este análisis arroja elementos de comparación más cercanos a la solución que se requiere, evitando comparar con una solución que no resuelve el problema como son los tubos.

El análisis cuantitativo se realizó mediante el costo anual equivalente de las inversiones iniciales, excluyendo los costos de mantenimiento, ya que en ambas opciones son los mismos. En cuanto al costo de operación, este es cero debido a que el funcionamiento de los colectores es a gravedad.

El análisis económico se complementó con un análisis técnico, tal como se muestra más adelante.

Tabla 9. Análisis de alternativas colector Alonso Escalona

Concepto	Monto considerando el colado en sitio	Monto considerando prefabricados
Preparación del área y preliminares	2,081,572	2,081,572
Fabricación y colado de concreto vibrado y curado	29,285,288	1,754,386
Construcción de área de rodamiento	5,072,939	5,072,939
Suministro e instalación de piezas especiales (cajones) prefabricadas de concreto reforzado para carga vehicular HS-20, con colchón de relleno Hr= 0 a 2 metros para dren pluvial.	2,992,833	29,036,595
Suma	39,432,632	37,945,491
16% de IVA	6,309,221	6,071,279
Importe total	45,741,853	44,016,770
Longitud	1,665	1,665
Costo por hora de desazolve	2,716	2,716
Horas requeridas por km	8	8
Número de veces que se desazolva al año	2	2
Costos de mantenimiento	74,598	74,598
Costo anual equivalente	4,631,742	4,457,063

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Análisis de alternativas colector Ocotlán

Concepto	Monto considerando el colado en sitio	Monto considerando prefabricados
Preparación del área y preliminares	4,217,060	4,217,060
Fabricación y colado de concreto vibrado y curado	31,856,011	8,466,374
Construcción de área de rodamiento	11,675,342	11,675,342
Suministro e instalación de piezas especiales (cajones) prefabricadas de concreto reforzado para carga vehicular HS-20, con colchón de relleno Hr= 0 a 2 metros para dren pluvial.	0	20,463,728
Suma	47,748,413	44,822,504
16% de IVA	7,639,746	7,171,601
Importe total	55,388,159	51,994,105
Longitud	4,669	4,699
Costo por hora de desazolve	2,716	2,716
Horas requeridas por km	8	8
Número de veces que se desazolva al año	2	2
Costos de mantenimiento	149,632	149,632
Costo anual equivalente	5,608,511	5,264,834

Fuente: Elaboración propia.

Después de realizar el análisis cuantitativo, se consideraron los aspectos técnicos y de logística para cada una de las alternativas (Ver Tabla):

Tabla 11. Análisis cualitativo de las alternativas

Elementos prefabricados	Colado en sitio
Menor costo de construcción	Mayor costo de construcción
Menor tiempo de ejecución	Mayor tiempo de ejecución
Menor tiempo de apertura de calles	Mayor tiempo de apertura de calles
Menor afectación a comercios y población en general	Mayor afectación a comercios y población en general
Mayor control de calidad de los elementos estructurales que conforman la sección	Riesgo de falla en colados y armados
Menor sensibilidad a efectos provocados por lluvia durante la construcción	Mayor riesgo de daños o falla en la calidad de la obra en caso de lluvia durante la construcción
Menor contaminación por cierres de calles en periodos cortos	Mayor contaminación por cierres de calles

Fuente: Elaboración propia.

Una vez definidos los aspectos cuantitativos y cualitativos, se determinó que la opción más conveniente es la construcción de los colectores mediante materiales prefabricados, ya que esta técnica asegura una mayor calidad de la obra, una ejecución más rápida y menores costos de inversión (condiciones de factibilidad técnica y económica).

4. Situación Con el Proyecto de Inversión

4.1 Descripción general

Instancia Ejecutora

La instancia ejecutora es la Secretaría de Obras Públicas, Desarrollo Urbano y Vivienda (SECODUVI) del Gobierno del Estado de Tlaxcala.

Propósito

Como se ha señalado, el centro histórico de la ciudad de Tlaxcala sufre constantemente de inundaciones debido a que se encuentra en el punto más bajo de la cuenca y a la falta de capacidad de conducción de las aguas pluviales, ya que la infraestructura con la que se cuenta para este fin se construyó hace más de 20 años.

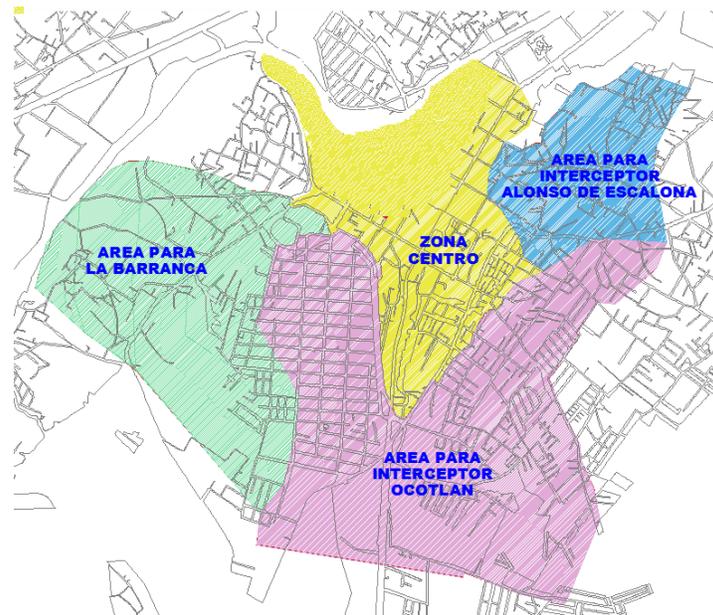
El propósito de este proyecto es evitar las inundaciones en el centro de la ciudad de Tlaxcala ante las lluvias comprendidas en un periodo de retorno de 10 años, disminuyendo los riesgos inherentes de esta catástrofe natural, tanto para sus pobladores y pertenencias, como para los bienes públicos.

Componentes

Para evitar estas inundaciones se plantea la recuperación de la capacidad hidráulica del drenaje actual a partir del desvío de la trayectoria natural del agua de lluvia que escurre de las partes más altas; de forma tal que se evite la saturación de la infraestructura que se encuentra en el centro de la ciudad.

Para modificar las áreas de aportación de los colectores existentes, se identificó la necesidad de construir **dos colectores interceptores, la rectificación y revestimiento de una barranca y un cárcamo de bombeo** que permitan recolectar y conducir los escurrimientos pluviales de la parte alta.

Ilustración 8 Subcuencas que conforman el área de aportación.



Fuente: SECODUVI.

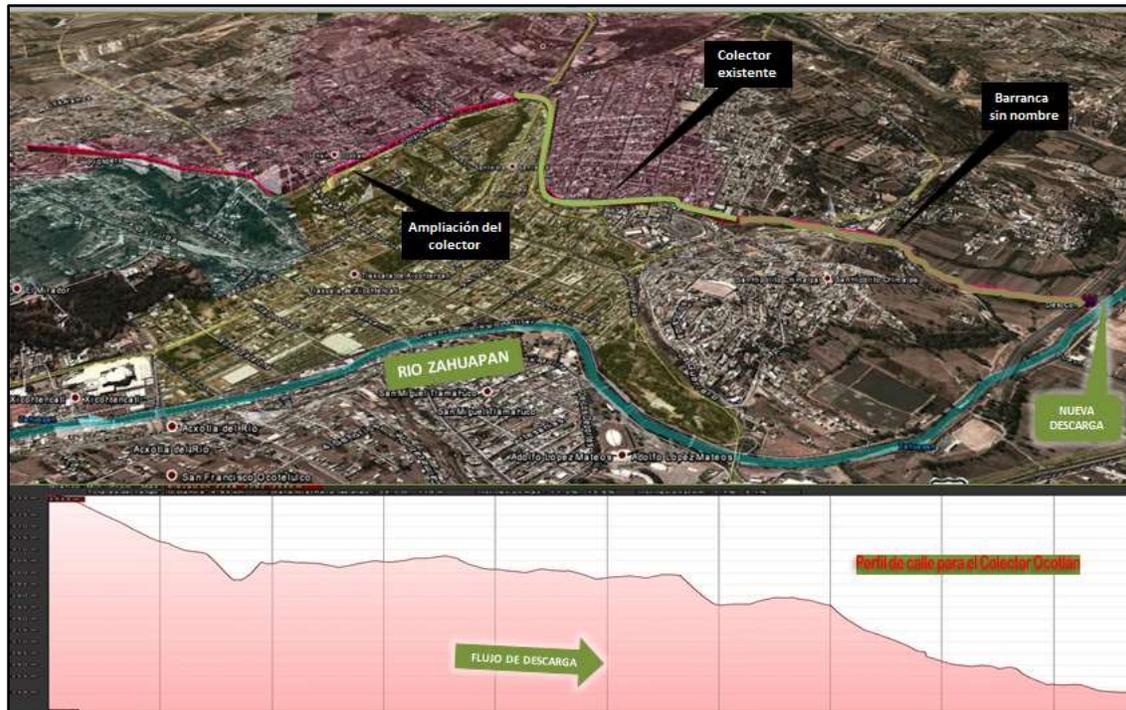
Colector interceptor Ocotlán

Se propone la rectificación y ampliación del colector existente Ocotlán, el cual se localiza en la parte oriente y sur de la zona de estudio. La obra iniciará en el cruce de las calles Benito Juárez y Galeana en San Gabriel Cuauhtla y avanza por la calle de Juárez hasta doblar al Norte en la calle 16 de Septiembre y posteriormente al Poniente en la calle del Canal hasta cruzar la carretera federal Puebla - Tlaxcala para continuar por la avenida del Maestro hasta su descarga en la Barranca *sin nombre*, localizada 200 metros al sur-poniente de la central camionera; para finalmente descargar las aguas pluviales en el río Zahuapan en la zona poniente de la ciudad.

A lo largo de sus 3.34 km de longitud, su dimensión varia: al inicio constará de una sección rectangular de 0.9 m de ancho por 0.6 m de alto; y en la descarga a la barranca concluye con 2.50 m de ancho por 2.00 m de altura. Asimismo, tendrá la capacidad de captar y conducir 23.5 m³/s de tal manera que evitará las inundaciones que se

presentan en una zona de la ciudad por donde cruza la carretera Ocotlán-Chiautempan. De igual forma, se evitará la entrada de agua a la barranca de Xico.

Ilustración 16 Proyecto de colector Ocotlán.



Fuente: Elaboración propia con información del proyecto ejecutivo.

Dadas las obras antes mencionadas, se requiere sustituir 1,833 m de la red de agua potable y 1,530 m de la red de alcantarillado que se verán comprometidas durante las obras. De igual forma, se identificó infraestructura urbana superficial que será necesario reubicar o reforzar, tal es el caso de las redes de energía eléctrica, alumbrado público y señalamientos viales.

La capacidad de conducción de esta obra es 41 m³/s dicho gasto provendrá del colector interceptor Ocotlán y de la zona de aportación propia y la descarga se hará al río Zahuapan.

Tabla 13 Costo y metas físicas del Interceptor Ocotlán

Concepto	Unidad	Meta	Precio unitarios	Monto Total (incluye IVA)
PRELIMINARES	M2	9,967.4	113.49	1,131,242.00
TERRACERÍAS	M3	550.9	310.74	171,190.00
TUBERÍA DE CONCRETO COLADO	ML	4,699.0	2,090.02	9,820,993.35
RELLENO Y COMPACTACIÓN	M3	18,461.6	194.42	3,589,357.95
PIEZAS ESPECIALES (CAJONES PREFABRICADOS DE CONCRETO)	PZA	834.0	28,462.74	23,737,924.25
PAVIMENTACIÓN CON ASFALTO	M2	6,743.9	299.48	2,019,694.88
PAVIMENTACIÓN CON ADOQUIN	M2	2,855.8	309.30	883,286.87
BANQUETA	M2	311.2	283.63	88,253.23
BOCA DE TORMENTA	PZA	84.0	69,446.88	5,833,537.92
REJILLA	PZA	92.0	51,289.39	4,718,623.87
REPOSICIÓN DE LA RED DE AGUA POTABLE	ML	1,833.0	1,037.89	1,902,444.95
REPOSICIÓN DE LA RED DE ALCANTARILLADO	ML	1,530.0	2,910.88	4,453,639.47
OBRAS COMPLEMENTARIAS E INDUCIDAS (REUBICACIÓN DE INSTALACIONES Y CRUCES DE LINEAS ELÉCTRICAS)	ML	240.00	7,071.82	1,697,237.12
TOTAL				60,047,425.86

Rectificación y revestimiento de la barranca sin nombre

Con el proyecto se realizará la rectificación de 16,530 m² de la barranca *sin nombre*, desde el punto de descarga del colector hasta la desembocadura al río Zahuapan. Dicha rectificación consistirá en una sección trapezoidal revestida con concreto de hasta 12.0 m de base por 2.60 m de altura y taludes a 45 grados, que dotará a la barranca con una capacidad de 41 m³/s; lo cual es suficiente para desalojar el caudal captado en la zona “Ocotlán” y los escurrimientos propios de la zona “Barranca poniente”.

Tabla 13 Costo y metas físicas de la rectificación de la Barranca sin nombre (canal) en la zona de Tepehitec.

Concepto	Unidad	Meta	Precio unitarios	Monto Total (incluye IVA)
PRELIMINARES	M2	45,004.0	16.72	752,321.94
TERRACERÍAS	M3	31,318.5	50.66	1,586,617.62
NIVELACIONES Y TERRAPLENES	M3	3,000.0	1,214.48	3,643,432.40
BASE GRAVA CEMENTADA	M3	2,278.0	319.27	727,290.61
MALLA ELECTROSOLDADA Y REVESTIMIENTO DE CONCRETO	M2	16,530.0	499.80	8,261,721.73
IMPERMEABILIZANTE	M2	16,530.0	1.53	25,248.71
TOTAL				14,996,633.02

Colector interceptor Alonso de Escalona

Este colector inicia sobre la carretera a Ocotlán, en el cruce con la calle Guadalupe; recorre 233 m sobre la carretera para bajar por la calle Lardizábal y Uribe o Calzada Chapitel, hasta el cruce con la calle Benito Juárez en pleno corazón del centro histórico. En este punto dobla a la derecha para continuar por Juárez hasta Alonso de Escalona, donde dobla a la izquierda hasta descargar al Río Zahuapan. La longitud de esta obra es de 1,665 metros, esta obra de encausamiento contará con tres captaciones distribuidas en las calles Alonso de Escalona, Zitlalpopocatl y Miguel Guridi Y Alcocer.

La sección propuesta para este colector en el tramo de Benito Juárez y Alonso de Escalona es de 3.80 m de base por 1.50 m de altura, con lo cual se tendrá una capacidad de 12m³/s. Esto permitirá interceptar 79.63 hectáreas que aportan un caudal de 10 m³/s y que actualmente se drenan al Zahuapan por el colector Independencia, el cual no cuenta con la capacidad hidráulica suficiente.

Una vez construido este colector, se desincorporarán 24.56 hectáreas de la superficie de aportación del colector Independencia, lo cual evitará las constantes inundaciones en la zona centro.

Dadas las obras antes mencionadas, se requiere sustituir 1,369.2 metros de la red de alcantarillado y 1,639.4 metros de la red de agua potable, las cuales se verán comprometidas durante las obras.

De igual forma se identificó infraestructura urbana superficial que será necesario reubicar o reforzar; tal es el caso de las redes de energía eléctrica y alumbrado público.

Concepto	Unidad	Meta	Precio unitarios	Monto Total (incluye IVA)
Interceptor Escalona				
PRELIMINARES	M2	5,511.9	83.28	459,050.85
TERRACERIAS	M3	380.2	358.83	136,425.34
TUBERIA DE CONCRETO COLADO	ML	1,655.0	3,501.95	5,795,720.13
RELLENO Y COMPACTACION	M3	9,720.0	187.16	1,819,147.17
PIEZAS ESPECIALES (CAJONES PREFABRICADOS DE CONCRETO)	PZA	415.0	72,761.40	30,195,979.01
PAVIMENTACION CON ASFALTO	M2	1,071.0	299.31	320,556.45
PAVIMENTACION CON ADOQUIN	M2	3,658.0	309.32	1,131,507.35
BANQUETA	M2	1,239.0	542.30	671,912.45
BOCA DE TORMENTA	PZA	40.0	68,996.16	2,759,846.45
REJILLA	PZA	37.0	18,751.65	693,811.03
Captación Miguel Guridi y Alcocer (CONSTRUCCION BOCAS DE TORMENTA)				
PRELIMINARES	M2	121.0	273.29	33,057.05
RELLENO Y COMPACTACION	M3	38.4	5,842.55	224,295.56
PAVIMENTACION CON ASFALTO	M2	121.0	299.48	36,224.64
BOCA DE TORMENTA	PZA	4.0	69,446.88	277,787.52
REJILLA	PZA	10.0	18,398.42	183,984.17
Captación Zitlalpopocatl (CONSTRUCCION BOCAS DE TORMENTABOCAS DE TORMENTA)				
PRELIMINARES	M2	122.2	271.39	33,163.31
RELLENO Y COMPACTACION	M3	38.4	5,859.81	225,016.57
PAVIMENTACION CON ASFALTO	M2	122.2	297.51	36,341.08
BOCA DE TORMENTA	PZA	4.0	69,670.12	278,680.48
REJILLA	PZA	10.0	18,457.56	184,575.59

Captación Alonso de Escalona (CONSTRUCCIÓN BOCAS DE TORMENTA)

PRELIMINARES	M2	119.1	260.51	31,024.48
RELLENO Y COMPACTACIÓN	M3	32.5	6,481.05	210,504.40
PAVIMENTACIÓN CON ASFALTO	M2	119.1	285.48	33,997.31
BOCA DE TORMENTA	PZA	4.0	65,176.83	260,707.33
REJILLA	PZA	10.0	17,267.16	172,671.62
REPOSICIÓN DE LA RED DE AGUA POTABLE	ML	1,639.4	1,021.03	1,673,869.36
REPOSICIÓN DE LA RED DE ALCANTARILLADO	ML	1,369.7	1,478.42	2,024,990.73
OBRAS COMPLEMENTARIAS E INDUCIDAS (REUBICACIÓN DE INSTALACIONES Y CRUCES DE LINEAS ELÉCTRICAS)	ML	3,735.00	3,472.27	12,968,918.21
TOTAL				62,873,765.64

Cárcamo de bombeo

Se consideró la construcción y equipamiento de un cárcamo de bombeo en la parte más baja del centro histórico.

Se analizaron distintos sitios como plazas públicas, siendo el patio central del Ex congreso local el lugar que presentó las condiciones ideales de nivel y superficie para una óptima captación y operación, por otro lado, al ser dentro de un edificio público se evitan molestias a la sociedad civil.

Para el cálculo de volumen útil, se consideró un caudal de aportación de 10.41 litros por segundo (lps) y un tiempo de llenado de 30 minutos, por lo cual se diseñó un cárcamo de 18.73 m³.

Las dimensiones propuestas son de 3.0 x 3.0 x 2.081 metros, considerando un colchón de aire de 30 cm. y un nivel mínimo de bombeo de 50 cm.

El nivel de diseño se situará 1.0 m por encima del nivel mínimo, por lo cual el primer equipo comenzaría a bombear 14 minutos después de comenzada la lluvia y tardaría mínimo 30 minutos en vaciar el cárcamo hasta el nivel mínimo. El nivel máximo se propone colocar 0.5 m por encima del nivel de diseño; es decir, que en caso de que el

caudal de aportación sea mayor a 5.0 lps y se alcance el nivel máximo, el segundo equipo comenzará a operar para vaciar el cárcamo hasta el nivel mínimo. El arranque y paro de los equipos se propone que sea automático mediante los interruptores de nivel tipo pera.

La descarga del cárcamo será a nivel de la calle Porfirio Díaz, ya que tiene una pendiente descendente hacia la calle 1° de Mayo en donde existe una captación del colector Xico.

Concepto	Unidad	Meta	Precio unitarios	Monto Total (incluye IVA)
CÁRCAMO EN LA ZONA CENTRO	M3	18.73	5,380.83	100,782.86
BOMBAS PARA CÁRCAMO EN ZONA CENTRO (ZONA EXCONGRESO)	PZAS	2.0	21,596.33	43,192.63
TOTAL				143,975.49

4.2 Alineación estratégica del proyecto

El proyecto motivo de esta evaluación está alineado a los Planes de Desarrollo Federal, Estatal y Municipal, a continuación se presentan las estrategias transversales, objetivos y estrategias que concuerdan con el mismo.

Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018

Estrategia transversal

VI.4 México Próspero

Objetivo

4.4 Impulsar y orientar un crecimiento verde incluyente y facilitador que preserve nuestro patrimonio natural al mismo tiempo que genere riqueza, competitividad y empleo.

Estrategia

4.4.2: Implementar un manejo sustentable del agua, haciendo posible que todos los mexicanos tengan acceso a este recurso.

Líneas de acción

- Asegurar agua suficiente y de calidad adecuada para garantizar el consumo humano y la seguridad alimentaria.
- Ordenar el uso y aprovechamiento del agua en cuencas y acuíferos afectados por déficit y sobreexplotación, propiciando la sustentabilidad sin limitar el desarrollo.
- **Incrementar la cobertura y mejorar la calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.**
- Sanear las aguas residuales con un enfoque integral de cuenca que incorpore a los ecosistemas costeros y marinos.
- Fortalecer el desarrollo y la capacidad técnica y financiera de los organismos operadores para la prestación de mejores servicios.
- Fortalecer el marco jurídico para el sector de agua potable, alcantarillado y saneamiento.
- **Reducir los riesgos de fenómenos meteorológicos e hidrometeorológicos por inundaciones y atender sus efectos.**
- Rehabilitar y ampliar la infraestructura hidroagrícola.

Plan Estatal del Desarrollo 2011-2016

Estrategia transversal

3.4. Ampliación y Modernización de los Sistemas de Agua

Objetivo

3.4.1. Renovación de la Administración del Agua

Estrategia

Impulsar acciones para subsanar las deficiencias en el mantenimiento de la infraestructura para sanear las redes de agua potable, drenaje pluvial y

alcantarillado, así como para fomentar la inversión en obras de ampliación y construcción.

Líneas de acción

3.4.1.1. Desarrollar, en coordinación con el gobierno federal, el gobierno del estado de Puebla, los gobiernos municipales, empresas y comunidades urbanas y rurales las acciones necesarias para el saneamiento de los ríos y cauces Zahuapan y Atoyac.

3.4.1.2. Ampliar, en coordinación con el Gobierno Federal y los municipios, la cobertura del Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas (APAZU).

3.4.1.3. Promover, en coordinación con el Gobierno Federal, los municipios y las comunidades, la ampliación de la cobertura del Programa para la Sustentabilidad de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento en Comunidades Rurales (PROSSAPyS).

3.4.1.4. Impulsar las obras y acciones, en coordinación con los gobiernos municipales, empresas, comunidades y beneficiarios para limpiar y desazolvar las redes de drenaje pluvial, alcantarillado y fosas sépticas.

3.4.1.5. Fomentar, en coordinación con los gobiernos municipales, la firma de acuerdos con empresas, comunidades, asociaciones vecinales para disminuir drásticamente los porcentajes de descarga de aguas residuales a los cuerpos de aguas superficiales de la entidad.

Plan Municipal de Desarrollo 2014-2016

Eje rector

II.-Servicios públicos y desarrollo urbano con armonía para transformar Tlaxcala

Objetivo

2.3 Garantizar la prestación del servicio de agua potable y drenaje con calidad y oportunidad coadyuvando con la preservación del medio ambiente en su cobertura.

Estrategia

2.3.1 Proporcionar un servicio de agua potable de calidad en la ciudad capital y en las localidades a través de una adecuada coordinación entre las diferentes comisiones municipales.

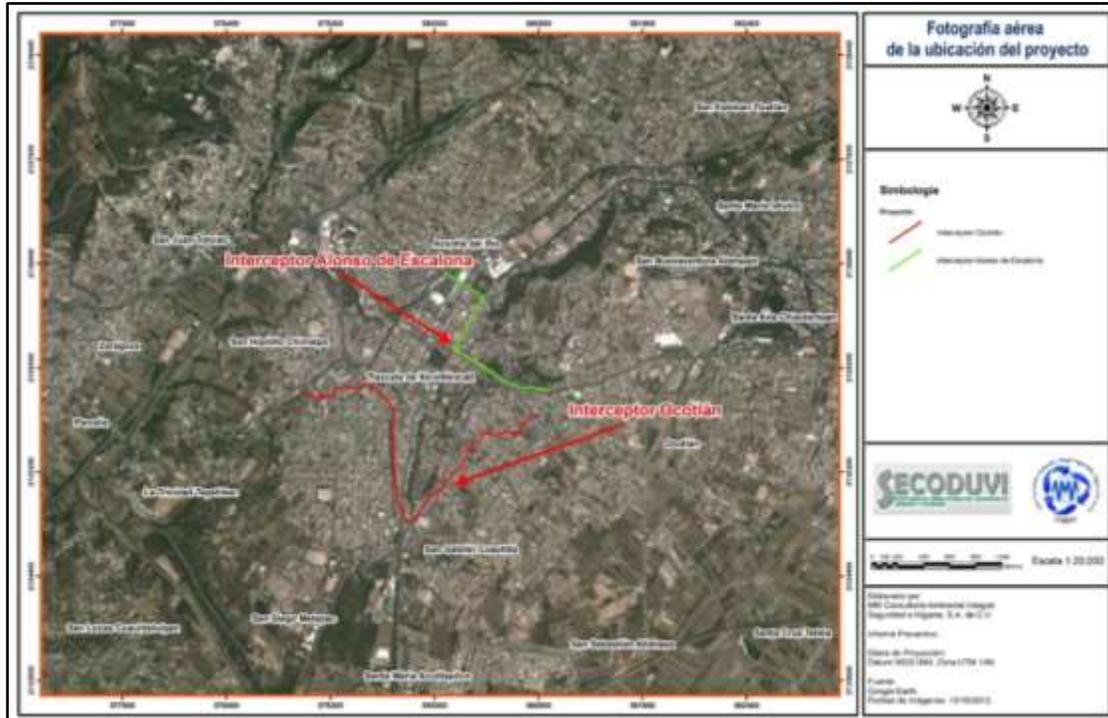
Líneas de acción

- Actualizar el padrón de usuarios del servicio de agua potable en el municipio.
- Realizar los estudios pertinentes para homologar las tarifas del servicio en la ciudad como en las localidades.
- Proporcionar de manera regular, permanente y con calidad el servicio de agua potable.
- **Coadyuvar en la eliminación de focos de infección a través de la mitigación de la inundación del centro histórico y sus alrededores.**
- Incrementar las fuentes de abastecimiento de agua potable para contar con un servicio de calidad y sustentabilidad.
- Actualizar la información predio-contrato para la toma de decisiones con el objetivo de mitigar la cartera vencida.
- Concientizar a la población mediante campañas ciudadanas sobre el uso racional del agua.
- Atender de manera puntual fugas e irregularidades del servicio para una optimización del líquido.
- Realizar un estudio de diagnóstico en las localidades a fin de obtener un plan de desarrollo de gestión y mejora de eficiencias e inversiones del prestador de los servicios.
- Participar en los consejos de cuencas para obtener beneficios regionales en el uso del agua.

4.3 Localización geográfica

El proyecto se desarrollará en la capital del estado de Tlaxcala, dicho municipio se encuentra ubicado en la región Centro-Sur del Estado, entre los paralelos 19° 15' y 19° 22' de latitud norte; los meridianos 98° 11' y 98° 17' de longitud oeste, a una altitud entre 2,300 y 2,500 m. Colinda al norte con los municipios de Totolac, Xaltocan, Amaxac de Guerrero y Apetatitlán de Antonio Carvajal; al este con los municipios de Apetatitlán de Antonio Carvajal, Chiautempan, La Magdalena Tlaltelulco y Santa Isabel Xiloxotla; al sur con los municipios de Santa Isabel Xiloxotla, Tepeyanco, San Jerónimo Zacualpan, Tetlatlahuca y San Damián Texóloc; al oeste con los municipios de San Damián Texóloc, Panotla y Totolac.

Ilustración 18 Plano general del proyecto



Fuente: Elaboración propia con información del proyecto ejecutivo.

La ubicación georreferenciada de las obras se presenta en el cuadro siguiente

Tabla 13. Ubicación georreferenciada de las obras

Obra	Inicio	Descarga
Colector Ocotlán	19.313056, -98.231396	19.3182372,-98.248953
Barranca sin nombre	19.3182372,-98.248953	19.317245, -98.257064
Colector Alonso de Escalona	19.314566, -98.230219	19.323630, -98.236370
Cárcamo de bombeo	19.3165452,-98.2406363,16	

Fuente: Elaboración propia.

Las obras antes descritas se ejecutarán en las localidades de Ocotlán, San Gabriel Cuauhtla, Pueblo Heroico de la Trinidad Tepehitec y Tlaxcala de Xicohtécatl.

4.2 Calendario de actividades

Las obras antes mencionadas se pretenden ejecutar en 2015 en un periodo de 12 meses considerando el proceso de radicación y licitación del recurso.

Tabla 14. Calendario Físico y financiero

Avance	Calendario de Ejecución de Recursos												
	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	Total
PdR 2015													
Físico (%)	5%	5%	20%	20%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	10%	10%	100%
Financiero (\$)	6,903,090	6,903,090	27,612,360	27,612,360	6,903,090	6,903,090	6,903,090	6,903,090	6,903,090	6,903,090	13,806,180	13,806,180	138,061,800

4.3 Monto total de inversión

El proyecto considera una inversión de 138 millones de pesos (IVA incluido) y se pretende ejecutar en 10 meses. A continuación se presenta el desglose de los componentes:

Tabla 15. Costos de inversión del Proyecto (pesos de 2015)

Concepto	Unidad	Meta	Precio unitarios (incluye IVA)	Monto Total (incluye IVA)
Obra civil				
INTERCEPTOR OCOTLÁN	ML	4,699.0	11,064.93	51,994,104.32
INTERCEPTOR ALONSO DE ESCALONA	ML	1,665.0	27,751.34	46,205,987.32
RECTIFICACIÓN Y REVESTIMIENTO BARRANCA SIN NOMBRE (Canal) (ZONA DE TEPEHITEC)	M2	16,530.0	907.24	14,996,633.02
CÁRCAMO EN LA ZONA CENTRO (ZONA EXCONGRESO)	M3	18.73	5,380.83	100,782.86
REPOSICIÓN DE LA RED DE AGUA POTABLE (INTERCEPTOR OCOTLÁN Y ALONSO ESCALONA)	ML	3,472.3	1,029.96	3,576,314.31
REPOSICIÓN DE LA RED DE ALCANTARILLADO (INTERCEPTOR OCOTLÁN Y ALONSO ESCALONA)	ML	2,899.6	2,234.32	6,478,630.20
OBRAS COMPLEMENTARIAS E INDUCIDAS (REUBICACIÓN DE INSTALACIONES Y CRUCES DE LINEAS ELÉCTRICAS)	ML	3,975.00	3,689.60	14,666,155.33
Equipamiento				
BOMBAS PARA CÁRCAMO EN ZONA CENTRO (ZONA EXCONGRESO)	PZAS	2.0	21,596.33	43,192.63
TOTAL				138,061,800.00

Fuente: Elaboración propia con base en las estimaciones de la SECODUVI.

4.4 Financiamiento

De acuerdo con el Gobierno del Estado de Tlaxcala, como promotor y ejecutor del proyecto, la mezcla de recursos financieros con los que se solventará la obra será acorde a lo expuesto en el cuadro siguiente.

Tabla 16. Fuente de financiamiento

Origen del financiamiento	Monto
Monto asignado en el PEF 2015	\$138,200,000.00
Retención de 1 al millar (ASF)	- \$138,200.00
Recursos federales disponibles	\$138,061,800
TOTAL	\$ 138,061,800.00

Fuente: Elaboración propia con base en las estimaciones de la SECODUVI.

**Nota: Montos expresados en pesos mexicanos de 2015. Incluyen el 16% de IVA. Asimismo, se está considerando la retención de 1 al millar al ASF; ya que el monto asignado en el PEF 2015 es de 138,200,000.00.*

4.5 Capacidad instalada que se tendría y su evolución en el horizonte de evaluación del proyecto de inversión

En conjunto, la capacidad instalada de los colectores que se pretende construir es de 53 m³/s. En la tabla siguiente se detalla la misma.

Tabla 17. Capacidad del proyecto

Obra	Capacidad m ³ /s	Capacidad m ³ /s
Interceptor Ocotlán	23.5	
Barranca sin nombre		41
Interceptor Alonso de Escalona		12
Oferta del proyecto		53

Fuente: Elaboración propia con base en las estimaciones de la SECODUVI.

Es importante mencionar que no es correcto sumar la capacidad del interceptor Ocotlán con la capacidad de la Barranca sin nombre, ya que la barranca es el último tramo del colector.

En cuanto al cárcamo de bombeo en el patio del Ex congreso, la capacidad de bombeo será de 10 litros por segundos.

4.6 Metas anuales

Al concluir las obras se busca captar y conducir 53 m³/s de agua pluvial, que sumados a los 6.8 m³/s de oferta actual, darán protección contra las inundaciones a 14,692 habitantes del centro de la ciudad de Tlaxcala cuando se presenten lluvias, con un periodo de retorno de 10 años o menos.

En cuanto a la obra que se contempla en el proyecto, las metas anuales son las siguientes:

Tabla 18. Metas del proyecto con los fondos de PdR

Concepto	Unidad	Meta
Obra civil		
INTERCEPTOR OCOTLÁN	ML	4,699.0
INTERCEPTOR ALONSO DE ESCALONA	ML	1,665.0
RECTIFICACIÓN Y REVESTIMIENTO BARRANCA SIN NOMBRE (CANAL) EN ZONA DE TEPEHITEC	M2	16,530.0
CÁRCAMO EN LA ZONA CENTRO (ZONA EXCONGRESO)	M3	18.73
REPOSICIÓN DE LA RED DE AGUA POTABLE (INTERCEPTOR OCOTLÁN Y ALONSO ESCALONA)	ML	3,472.3
REPOSICIÓN DE LA RED DE ALCANTARILLADO (INTERCEPTOR OCOTLÁN Y ALONSO ESCALONA)	ML	2,899.6
Equipamiento		
BOMBAS PARA CÁRCAMO EN ZONA CENTRO (ZONA EXCONGRESO)	PZAS	2.0

Fuente: Elaboración propia con base en las estimaciones de la SECODUVI.

4.7 Vida útil

Para este proyecto se considera una vida útil de 35 años a partir de que se concluyan en su totalidad las obras. Para efectos de evaluación se contempla un horizonte de 20 años más uno de construcción¹³.

¹³ De acuerdo con las “Metodologías de Evaluación Socioeconómica para Proyectos de Agua Potable, Alcantarillado, Saneamiento y Protección a Centros de Población” de la CONAGUA (2008), el periodo mínimo de evaluación es de 20 años. Se decidió considerar este periodo para la evaluación ya que los costos y beneficios traídos a valor presente neto después del mismo resultan muy pequeños dada la tasa de descuento del 10% que se utiliza.

4.8 Factibilidad técnica

Se establecieron criterios hidrológicos que determinaron la necesidad y la manera en que se deberán de modificar las áreas de aportación de los colectores existentes, así como la propuesta de nuevos colectores que permitan el desalojo de las zonas más altas, evitando así la saturación de los colectores de la zona centro.

La toma de decisión se fundamentó en estudios de análisis hidráulico, como el análisis estadístico de lluvias, escurrimientos y permeabilidad, tiempos de concentración, aforos, información pluviométrica y bibliográfica de 22 estaciones cercanas a la zona de estudio y la pendiente del terreno.

Se consideraron diferentes métodos para definir el gasto de aguas pluviales, y se eligió el método racional americano dadas las condiciones de la zona de estudio.

Asimismo, se realizaron estudios de topografía y geotecnia que certificaron la viabilidad de la ejecución de las obras.

Dichos estudios están avalados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), ya que en 2013 se realizaron con recursos del programa federal “Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas” (APAZU) a cargo de la CONAGUA, motivo por el cual fueron supervisados y aceptados por dicha Comisión.

Las obras comprendidas en este estudio tienen un nivel de detalle de proyecto ejecutivo, que valida la viabilidad técnica del proyecto.

Por lo antes expuesto, se considera técnicamente factible la ejecución del proyecto “Construcción de Interceptores pluviales en la Ciudad de Tlaxcala, en Tlaxcala, Tlaxcala”.

4.9 Factibilidad legal

De acuerdo con el artículo 36 de la Ley Orgánica de la Administración Pública del Estado de Tlaxcala, la Secretaría de Obras Públicas, Desarrollo Urbano y Vivienda (SECODUVI) es la encargada de realizar directamente o a través de terceros y

supervisar en su caso, las obras públicas que emprenda el Gobierno del Estado; formulando los estudios, proyectos y presupuestos de las mismas y en los casos que proceda mediante la coordinación con las dependencias federales y municipales.

Asimismo, es la encargada de coordinar y asesorar técnicamente a los Ayuntamientos, cuando éstos lo soliciten en la programación o realización de obras públicas en sus respectivas jurisdicciones, así como en la introducción, conservación de servicios públicos y en general todo lo relacionado en materia de desarrollo urbano, siendo ésta la solicitud del municipio de Tlaxcala.

Por otra parte, en concordancia con el artículo 115 constitucional y como resultado de una recomendación contenida en la elaboración del Plan Maestro para el mejoramiento de los servicios de agua y saneamiento elaborado por la Comisión Nacional del Agua, en sesión de cabildo de fecha 20 de mayo de 1994 el H. Ayuntamiento de Tlaxcala acordó la constitución formal de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Tlaxcala, como un Organismo Público Descentralizado del Municipio, con personalidad jurídica y patrimonio propios, emitiendo su reglamento de funcionamiento, atribuciones y obligaciones, publicándolo en el Periódico Oficial del Gobierno del Estado de fecha 25 de mayo de 1994.

Lo antes expuesto sustenta que en materia normativa se cuenta con los fundamentos legales para que, la SECODUVI ejecute la obra denominada “Construcción de Interceptores pluviales en la Ciudad de Tlaxcala, en Tlaxcala, Tlaxcala” Asimismo, el proyecto cuenta con la validación de CONAGUA.

En cuanto a los derechos de vía necesarios para la ejecución del mismo, el proyecto se llevará a cabo en derecho de vía pública municipal, por lo que no se requiere liberar terreno alguno.

Por otra parte, al ser agua de origen pluvial no se requiere título de concesión ni derecho de descarga para la ejecución de este proyecto.

Como resultado de lo anterior, se considera legalmente factible la ejecución de este proyecto.

4.10 Factibilidad ambiental

El drenaje pluvial se pretende construir dentro de la ciudad de Tlaxcala, por lo cual no se afectarán ecosistemas frágiles, Áreas Naturales Protegidas ni regiones consideradas prioritarias por su biodiversidad, asentamientos humanos, el hábitat de especies incluidas en alguna categoría de protección, el abasto de agua a las comunidades aledañas, o el libre tránsito de poblaciones naturales, locales o migratorias. Por otra parte, no se inundará o removerá vegetación arbórea.

Dado lo anterior, este proyecto entra en los supuestos contemplados en el artículo 5° apartado "A" inciso I del Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental, por lo cual no requiere autorización en materia de impacto ambiental por parte de la SEMARNAT.

Para corroborar lo anterior, el 6 de noviembre del 2013 se ingresó a la SEMARNAT delegación Tlaxcala el Informe preventivo de impacto ambiental, mismo que fue constado mediante el oficio DFT/G/1760/2013 en el que se informa que el proyecto no requiere autorización en materia de impacto ambiental

El proyecto se considera ambientalmente factible.

4.11 Análisis de la Oferta a lo largo del horizonte de evaluación, considerando la implementación del proyecto de inversión

A la capacidad del proyecto se le debe sumar la capacidad de captación y conducción actual, de tal manera que la oferta total de la ciudad sería de 59.8 m³/s, tal como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 19. Oferta actual y en situación con proyecto (m³/s)

Obra	Oferta actual	Oferta con proyecto
Colector Independencia	3.481	3.481
Colector Guerrero	0.713	0.713
Canal/colector Barranca Xico	2.61	2.61
Colector interceptor Ocotlán + Barranca sin nombre	17.5	41
Colector interceptor Alonso de Escalona	0	12
Total	24.304	59.804

Fuente: Elaboración propia con base en las estimaciones de la SECODUVI.

Esta capacidad se mantendrá constante a lo largo del periodo de evaluación, ya que la ejecución del proyecto se realizará en una sola fase con duración de 10 meses. Por otra parte, se tiene contemplado un programa de desazolve que se realizará dos veces al año para mantener al 100% la capacidad instalada de las obras.

4.12 Análisis de la Demanda a lo largo del horizonte de evaluación, considerando la implementación del proyecto de inversión

Dado que la demanda es un factor exógeno a la ejecución del proyecto, se considera que la demanda con proyecto y sin proyecto se mantendrá en **59.5 m³/s considerando un periodo de retorno de 10 años durante todo el periodo de evaluación.**

4.13 Interacción oferta-demanda con proyecto

Una vez que se ponga en marcha el proyecto existirá un superávit de 0.3 m³/s, por lo cual el proyecto cumple con las necesidades de captación y conducción de la ciudad de Tlaxcala, teniendo como referencias lluvias con un periodo de retorno de 10 años.



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Balance oferta - demanda en la situación con proyecto

Año	Oferta (m³/s)	Demanda (m³/s)	Balance (m³/s)
2015	24.3	59.5	-35.2
2016	59.8	59.5	0.3
2017	59.8	59.5	0.3
2018	59.8	59.5	0.3
2019	59.8	59.5	0.3
2020	59.8	59.5	0.3
2021	59.8	59.5	0.3
2022	59.8	59.5	0.3
2023	59.8	59.5	0.3
2024	59.8	59.5	0.3
2025	59.8	59.5	0.3
2026	59.8	59.5	0.3
2027	59.8	59.5	0.3
2028	59.8	59.5	0.3
2029	59.8	59.5	0.3
2030	59.8	59.5	0.3
2031	59.8	59.5	0.3
2032	59.8	59.5	0.3
2033	59.8	59.5	0.3
2034	59.8	59.5	0.3
2035	59.8	59.5	0.3

Fuente: Elaboración propia.

El balance positivo indica que el centro de Tlaxcala estará protegida de inundaciones cuando se presenten lluvias con un periodo de retorno de hasta 10 años, lo cual evitará daños por un monto anual de aproximadamente 19.8 millones de pesos, la explicación detallada de la metodología utilizada para el cálculo de dicho monto se presentó en la situación actual y la metodología a seguir para la evaluación.

5. Evaluación del Proyecto de Inversión

5.1 Identificación, cuantificación y valoración de los costos del proyecto de inversión

Los costos asociados a la realización de este proyecto, los cuales se dividen en costos de inversión y costos de mantenimiento.

Observando lo establecido en los “Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión”, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 30 de diciembre del 2013, se utilizaron los precios sociales, ya que son los valores que reflejan el costo de oportunidad para la sociedad de utilizar un bien o servicio. Para efecto de esta evaluación se consideran los precios de mercado sin incluir el 16% del impuesto al valor agregado.

Costos de inversión

Los costos incluidos en esta clasificación son todos aquellos que se erogarán para la compra de materiales y equipo y para la contratación de mano de obra que se requiere para la ejecución del proyecto “Construcción de Interceptores pluviales en la Ciudad de Tlaxcala, en Tlaxcala, Tlaxcala”. Los montos utilizados para la presente evaluación son a precios del 2015 y se tomaron del proyecto ejecutivo.

Tabla 21. Inversión total a precios sociales (sin incluir IVA)

Concepto	Unidad	Meta	Precio unitarios (sin IVA)	Monto Total (sin IVA)
Obra civil				
INTERCEPTOR OCOTLÁN	ML	4,699.00	11,064.93	44,822,503.72
INTERCEPTOR ALONSO DE ESCALONA	ML	1,665.00	27,751.34	39,832,747.69
RECTIFICACIÓN Y REVESTIMIENTO BARRANCA SIN NOMBRE	M2	16,530.00	907.24	12,928,131.91
CÁRCAMO EN LA ZONA CENTRO	M3	18.73	5,380.83	86,881.78
REPOSICIÓN DE LA RED DE AGUA POTABLE (INTERCEPTOR OCOTLÁN Y ALONSO ESCALONA)	ML	3,472.30	1,029.96	3,083,029.58
REPOSICIÓN DE LA RED DE ALCANTARILLADO (INTERCEPTOR OCOTLÁN Y ALONSO ESCALONA)	ML	2,899.60	2,234.32	5,585,026.03
OBRAS COMPLEMENTARIAS E INDUCIDAS	ML	3,975.00	3,689.60	12,643,237.35
Equipamiento				
BOMBAS PARA CÁRCAMO EN ZONA CENTRO (ZONA EXCONGRESO)	PZAS	2.0	21,596.33	37,235.02
TOTAL				119,018,793.10

Fuente: Elaboración propia con base en las estimaciones de la SECODUVI.

Costos de mantenimiento

En esta clasificación se consideran los recursos necesarios para conservar o mantener los activos en condiciones adecuadas de operación y que no implican un aumento en la vida útil o en la capacidad de diseño de los activos comprendidos en el proyecto “Construcción de Interceptores pluviales en la Ciudad de Tlaxcala, en Tlaxcala, Tlaxcala”.

El costo social total anual para darle mantenimiento a la infraestructura contemplada en este proyecto es de 341,975 pesos.

Este programa de mantenimiento incluye desazolvar 2 veces por año la infraestructura hidráulica comprendida en este proyecto. Con base en la experiencia del organismo operador (CAPAM), se consideran necesarias 8 horas por kilómetro para llevar a cabo dicha tarea a un costo promedio de 2,716 pesos la hora, adicionalmente se considera un monto anual de 8,487 pesos para el mantenimiento del cárcamo de bombeo.

Tabla 22. Supuestos utilizados

Concepto	Valor
Costo por hora (pesos)	2,716
Horas requeridas por km	8
Número de veces que se desazolva al año	2

Tabla 23. Longitud de las obras (m)

Colector Ocotlán	4,699
Barranca sin nombre	1,310
Colector Alonso de Escalona	1,665.14

Tabla 24. Costos sociales de mantenimiento (pesos de 2015)

Colector interceptor	Costo anual
Colector Ocotlán	204,200
Barranca sin nombre	56,927
Colector Alonso de Escalona	72,360
Cárcamo de bombeo	8,487
TOTAL	341,974

Fuente: Elaboración propia con base en las estimaciones de la SECODUVI.

5.2 Identificación, cuantificación y valoración de los beneficios del proyecto de inversión

Caso de estudio

Para la cuantificación y valoración de los beneficios asociados a la ejecución de este proyecto, se tomó como base la información oficial proporcionada por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) referente a las inundaciones ocurridas en febrero de 2010 en las delegaciones Gustavo A. Madero, Venustiano Carranza, Iztacalco e Iztapalapa, y en Ecatepec de Morelos, Nezahualcóyotl, Chalco y Valle de Chalco Solidaridad en el Estado de México.

Los beneficios identificados, cuantificados y valorados para este estudio están relacionados con los costos inherentes a las inundaciones que se evitarán al tener la capacidad de recolección y conducción necesaria para que no se presente esta catástrofe natural en tormentas, con periodos de retorno de 10 años o menos.

Dichos beneficios son:

- H. Costo evitado de limpieza y desinfección de calles*
- I. Costo evitado por implementar campañas de salud*
- J. Costo evitado por daños en las viviendas*
- K. Costo evitado por daños en infraestructura urbana*
- L. Costo evitado por atención a la emergencia*
- M. Costo evitado por daños a infraestructura de educación*
- N. Costo evitado por daños a la infraestructura hidráulica*

Los beneficios identificados pero que no fueron cuantificados por falta de información son:

- I. Costo evitado por daños en edificios históricos*
- II. Costo evitado por daños al museo de Tlaxcala*

- III. *Costos evitados por pérdidas en comercios y servicios*
- IV. *Costo evitado por daños a infraestructura de salud*
- V. *Costo evitado por daños a la red eléctrica*
- VI. *Costo evitado por mayores tiempos de traslado durante las inundaciones*
- VII. *Costo evitado por ausentismo laboral*
- VIII. *Costo evitado por pérdidas humanas*

Desarrollo de los eventos

Del 2 al 5 de febrero del 2010 se presentó un amplio sistema de tormentas, y al mismo tiempo una masa de aire frío interaccionó con una entrada de humedad proveniente tanto del océano Pacífico como del Golfo de México, lo que provocó que se presentaran lluvias extraordinarias. Los estados más afectados fueron Michoacán, Distrito Federal y Estado de México; en estos dos últimos se presentó un aumento súbito de los niveles de agua en la estructura del bordo del río de los Remedios a la altura del Circuito Exterior Mexiquense, causando inundaciones en 4 municipios y mismo número de delegaciones.

Como consecuencia, fueron declarados en desastre los municipios de Ecatepec de Morelos, Nezahualcóyotl y Valle de Chalco Solidaridad (11 de febrero); las delegaciones Venustiano Carranza, Iztacalco, Gustavo A. Madero e Iztapalapa (12 de febrero); y el municipio de Chalco (16 de febrero).

Se vieron afectadas 16,568 viviendas, de las cuales 14,350 padecieron los efectos de la inundación; 2,192 sufrieron daños mínimos como pintura y algunas leves afectaciones en servicios; y 26 más requirieron ser reubicadas por encontrarse en zona de riesgo.

La delegación Venustiano Carranza experimentó los mayores efectos de las inundaciones, con 39.2% de las viviendas anegadas (6,500 viviendas requirieron limpieza, desazolve y remoción de escombros).

Selección de datos como insumos del cálculo de beneficios

Dado que la calidad y cantidad de información con la que se cuenta en torno a los costos asociados a las inundaciones que se han presentado en la zona de estudio, se decidió tomar como referencia el estudio que se publica de manera anual denominado “Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana” editado por el CENAPRED ya que es un estudio que se ha ido perfeccionado metodológicamente desde el año 1999, el cual recopila y analiza información documental recabada de diversas fuentes tanto del sector público como del privado, destacando la Dirección General del Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) y la Dirección General de Protección Civil (DGPC).

Para comprobar la idoneidad del estudio como base para extrapolar los datos, se tomaron en cuenta la similitud de la zona de estudio en cuanto a factores socioeconómicos y climáticos.

- **Factores socioeconómicos**

Para analizar de una manera objetiva esta variable se tomó en cuenta el índice de marginación por municipio, este índice es publicado por la CONAPO y ha sido utilizado como criterio de las reglas de operación de diversos programas federales, lo que es un indicativo de aceptación y uso cada vez más generalizado, el cual se diseñó como una medida-resumen que permite identificar las disparidades territoriales que existen entre los municipios del país según el impacto global de las carencias que padece la población como resultado de la falta de acceso a la educación, la residencia en viviendas inadecuadas, la percepción de ingresos monetarios insuficientes y las relacionadas con la residencia en localidades pequeñas

El beneficio por las afectaciones evitadas en los hogares está correlacionado directamente con el tipo de material y acabados de las viviendas, así como la calidad y cantidad del menaje que se tiene en cada hogar.

Por lo cual se comparó el índice de marginación de Tlaxcala de Xicohtécatl con los municipios y delegaciones comprendidos en el estudio antes mencionado.

Municipio	Índice de marginación escala 0 a 100
Nezahualcóyotl	17.55501343
Ecatepec	10.39252019
Chalco	10.22634275
Valle de Chalco	9.582322928
Iztapalapa	3.685754167
Gustavo A. Madero	3.09335812
Venustiano Carranza	2.780186072
Tlaxcala de Xicotencatl	2.680800884

Como se observa en la tabla anterior, Tlaxcala de Xicotencatl es el municipio con el índice más bajo de todos, por lo que se puede inferir que la calidad de los materiales con los que están construidas las viviendas y el tipo de menajes es superior, ya que las carencias que padecen la población es menor.

Bajo esta óptica, el considerar como referencia a las delegaciones y municipios antes citados, plantea que la cuantificación de los daños evitados se realiza en un escenario conservador.

- **Factores climáticos**

Para analizar esta variable objetivamente se tomó en cuenta la precipitación media anual, temperatura anual y tipo de clima¹⁴.

La fuente de información consultada para este análisis fue el INEGI, arrojando los siguientes resultados.

Zona	Tipo de Clima ¹⁵	Temperatura media anual en °C	Precipitación media anual en mm
Estado de México	Seco y semiseco	14.7	900
Distrito Federal	Seco y semiseco	16	600
Tlaxcala de Xicotencatl	Templado subhúmedo	14	720

¹⁴ <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/tlax/territorio/clima.aspx?tema=me&e=29>

¹⁵ Este tipo de clima corresponde únicamente a los municipios y delegaciones objeto de estudio por el CENAPRED en 2010

Como se observa en la tabla anterior, la zona de estudio objeto de esta evaluación tiene un tipo de clima templado subhúmedo, mientras que los demás tienen un tipo de clima seco y semiseco, por otro lado la precipitación es Tlaxcala de Xicontenatl es mayor que en el Distrito Federal, por otra parte, los 900 milímetros es el promedio de toda la Entidad en la cual el 73% de su territorio es templado subhúmedo, sin ser este el caso para los municipios conurbados con la ciudad de México al oriente, tal como se muestra en la siguiente figura.

Tipos de climas en el Estado de México



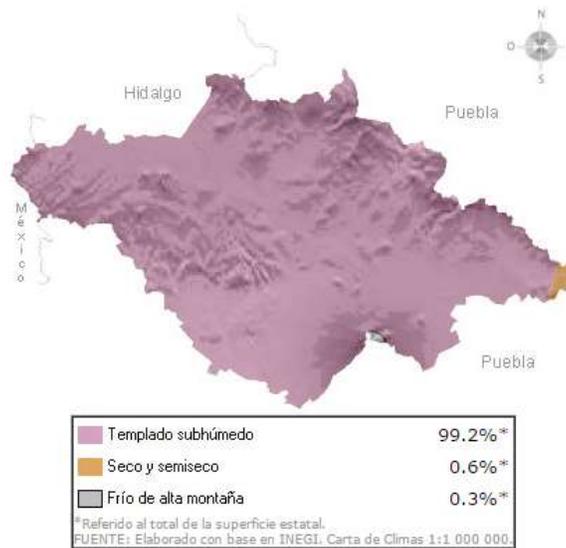
Fuente: INEGI

Tipos de climas en el Distrito Federal



Fuente: INEGI

Tipos de climas en el estado de Tlaxcala



Fuente: INEGI

Beneficios

- **Costo evitado de limpieza y desinfección de calles**

En 2010 se contrataron 24 empresas que realizaron labores de limpieza, desinfección de calles y recolección de basura, apoyados por 274 vehículos entre camiones Vector, de volteo, recolectores de basura, pipas de agua potable y tratada. Estas acciones se realizaron en el transcurso de dos semanas y el costo de las mismas fue de 14.3 millones de pesos.

Tabla 25. Costos por acciones de limpieza

Costo de limpieza en 2010	14,300,000
Costo de limpieza p2015	17,103,047
Costo de limpieza/persona	267.55

Fuente: Elaboración propia con base en reportes Delegacionales.

- **Costo evitado por implementar campañas de salud**

En el caso de estudio, se implementó una campaña de salud para atender a la población vulnerable, la cual fue ejecutada por más de mil servidores públicos entre personal técnico, médicos y enfermeras, que hicieron uso de 40 unidades móviles en las que se brindaron alrededor de 10 mil consultas médicas.

Durante esta campaña se distribuyeron más de 83 mil dosis de desparasitantes, 81 mil sobres de Vida Suero Oral y más de 124 mil sobres de gel antibacterial; asimismo, se aplicaron 145 mil vacunas contra hepatitis y tétanos.

Tabla 26. Insumos de la campaña de salud

Municipio	Desparasitantes (dosis)	Vida Suero Oral (sobres)	Gel antibacterial (sobres)	Cubrebocas (piezas)	Vacunas contra hepatitis y tétanos
Nezahualcóyotl	43,675,000	43,780,000	48,487,000	37,288,000	100,000
Valle de Chalco Solidaridad	23,994,000	22,560,000	43,360,000	57,500,000	45,000
Chalco	15,628,000	15,166,000	32,556,000	26,989,000	
Total	83,297,000	81,506,000	124,403,000	121,777,000	145,000

Fuente: Elaboración propia con base en reportes Delegacionales.

El costo del operativo de salud se estimó en 1.1 millones de pesos; mismos que no se tenían contemplados antes de ocurrido el desastre y que representaron un desembolso extra para la Secretaría de Salud del Estado de México.

Tabla 27. Resumen del costo de la campaña de salud

Costo total de la campaña de salud (2010)	19,193,000
---	------------

Fuente: Elaboración propia con base en reportes Delegacionales.

Por otra parte, la infraestructura de salud sufrió daños a causa de la humedad excesiva y filtraciones, las cuales provocaron el desprendimiento de acabados, afecciones a muros de tablaroca, colapso de instalaciones sanitarias, afectaciones en los sistemas eléctricos y la cancelería, así como estragos en los equipos médicos, de oficina y cómputo. El monto requerido para realizar las acciones de rehabilitación y reposición de equipo fue de 9.1 millones de pesos.

Tabla 28. Resumen de los daños a infraestructura de salud

Daño en la infraestructura	3,000,000
Daños en mobiliario y equipo de cómputo	6,000,000
Gastos de operación	90,000
Total	9,090,000

El costo de la campaña de salud y las pérdidas en infraestructura del sector ascendió a 28.2 millones de pesos, que a precios de 2015 arrojan una pérdida de la riqueza del país de 33.8 millones de pesos.

Tabla 29. Resumen de las pérdidas en el sector salud

Daños totales en el sector salud (2010)	28,283,000
Daños totales en el sector salud, precios 2015	33,826,956
Costo de pérdidas en el sector salud por persona	529.2

Fuente: Elaboración propia con base en reportes Delegacionales.

- **Costo evitado por daños en las viviendas**

Es el promedio del valor monetario de los daños ocasionados a las 16,568 viviendas afectadas. Este costo contempla daños mínimos en la vivienda, pérdida de menaje; limpieza, desazolve y remoción de escombros dentro de la vivienda; la reubicación de 26 viviendas y los gastos de operación.

Tabla 30. Viviendas afectadas por municipio o delegación

Chalco	1,697
Ecatepec de Morelos	1,500
Gustavo A. Madero	1,051
Iztacalco	3
Iztapalapa	980
Nezahualcóyotl	2,500
Valle de Chalco	2,337
Venustiano Carranza	6,500
Total de viviendas afectadas	16,568

Fuente: Elaboración propia con información del CENAPRED.

Tabla 31. Costo promedio de daño por vivienda

Chalco	26,051
Ecatepec de Morelos	121,706
Gustavo A. Madero	20,700
Iztacalco	20,700
Iztapalapa	25,754
Nezahualcóyotl	25,133
Valle de Chalco	25,786
Venustiano Carranza	21,331
Costo promedio	35,895

Fuente: Elaboración propia con información del CENAPRED.

Para efectos comparativos, en este caso solo se tomará en cuenta los daños ocasionados en la delegación Venustiano Carranza ya que es la que se asemeja más al centro de una ciudad como Tlaxcala tomando en cuenta el índice de marginación, asimismo en dicha delegación no se presentaron daños en las viviendas ni tuvieron que ser evacuados, por lo que solo se consideran 20 mil pesos por concepto de pérdida de enseres y 1,331 por la limpieza, desazolve y remoción de escombros.

Tabla 32. Resumen de costos por daños a vivienda

Costo promedio de daños por vivienda (2010)	21,331
Costo promedio de daños por vivienda, precios 2015	25,512
Daños/persona	7,033

Fuente: Elaboración propia.

- **Costo evitado por daños en infraestructura urbana**

La infraestructura urbana también resultó afectada a causa del fenómeno, principalmente en colonias del Distrito Federal, debido a que existe un mayor flujo vehicular que se traduce en mayor infraestructura.

Los principales daños se pueden clasificar como agrietamiento de carpetas asfálticas, perjuicios en las carpetas de rodamiento y baches.

Para efectos comparativos, en este caso solo se tomarán en cuenta los daños ocasionados en la delegación Venustiano Carranza, ya que es la que se asemeja más al centro de una ciudad como Tlaxcala tomando en cuenta el índice de marginación.

Tabla 33. Costo de los daños a la infraestructura urbana

Municipio	Monto de los daños	Pérdidas	Total
Chalco	9,070,000		9,070,000
Ecatepec	1,770,000		1,770,000
Nezahualcóyotl	14,105,000		14,105,000
Valle de Chalco	750,000		750,000
Venustiano Carranza	74,516,100		74,516,100
Iztapalapa	19,720,000		19,720,000
Gustavo A. Madero	2,200,400		2,200,400
		2,763,800	2,763,800
	122,131,500		124,895,300

Fuente: Elaboración propia con base en reportes Delegacionales.

Tabla 34. Resumen del daño en infraestructura urbana en la V. Carranza

Daños en infraestructura urbana en Venustiano Carranza, precios 2015	89,122,541
Daños en infraestructura urbana/persona	3,780

Fuente: Elaboración propia con base en reportes Delegacionales.

- **Costo evitado por atención a la emergencia**

En 2010 se declaró zona de desastre natural a 4 delegaciones del Distrito Federal y 4 municipios del Estado de México, por lo cual el FONDEN destinó casi 26 millones de pesos para atender las necesidades básicas de la población damnificada. Para ello se instalaron 11 refugios temporales en los que se proporcionaron artículos de primera necesidad; en la tabla siguiente se muestra el detalle.

Tabla 35. Artículos de primera necesidad

Concepto	Venustiano Carranza, Iztapalapa, Gustavo A. Madero e Iztacalco	Ecatepec de Morelos, Nezahualcóyotl y Valle de Chalco Solidaridad	Chalco	Total de insumos entregados	Monto de insumos entregados
Despensas	12,225	19,687	2,500	34,412	7,054,500
Cobertores	15,000	9,000	5,000	29,000	1,798,000
Colchonetas	49,000	5,000		54,000	9,720,000
Litros de agua	40,000	130,000	30,000	200,000	1,400,000
Impermeables		500	150	650	65,000
Botas de hule		500	100	600	108,000
Kit de limpieza		5,000	2,500	7,500	1,012,500
Combustible		20,000	10,000	30,000	231,000
Letrinas		60	60	120	480,000
Rollos de hule			37	37	1,100
Costales		814,753	800	815,553	4,077,800
Total					25,947,900

Fuente: Elaboración propia con base en reportes Delegacionales.

Tabla 36. Resumen de los costos de atender la emergencia

Costo por atención a la emergencia (2010)	25,947,900
Costo por atención a la emergencia, precios de 2015	31,034,136
Costo de la atención/persona	485.5

Fuente: Elaboración propia con base en reportes Delegacionales.

- **Costo evitado por daños en infraestructura educativa**

Este costo incluye las labores de limpieza, sanitización y fumigación de los inmuebles, así como reparación en instalaciones eléctricas, red sanitaria y mobiliario.

Tabla 37. Costo de daño a infraestructura educativa

Limpieza, fumigación y sanitización de planteles	30,975,700
Mobiliario y equipo	1,376,300
Rehabilitación de inmuebles con daños	1,866,700
Total	34,218,700

Tabla 38. Resumen del costo de los daños a infraestructura educativa

Daños a infraestructura educativa (2010)	34,218,700
Daños a infraestructura educativa, precios 2015	40,926,156
Daños a infraestructura educativa/habitante	640.2

Fuente: Elaboración propia con base en el reporte del CENAPRED.

- **Costo evitado en infraestructura hidráulica**

Esta catástrofe natural trajo consigo lodo y basura, afectando las redes de drenaje, alcantarillado y agua potable, colapsando varios tramos de colectores, pozos de visita, equipos de bombeo, entre otros componentes.

Para atender de manera inmediata esta contingencia se rentaron equipos especializados, equipos de bombeo, camiones cisterna y pipas. El monto total de estas acciones y los daños causados a la infraestructura ascendió a más de 264 millones de pesos.

Tabla 39. Costos de los daños en infraestructura hidráulica

Municipio/Delegación	Monto de los daños	Gastos de operación y supervisión	Total
Chalco	9,588,000	176,900	9,764,900
Valle de Chalco Solidaridad	78,143,500		78,143,500
Ecatepec de Morelos y Nezahualcóyotl	77,290,500	3,850,100	81,140,600
Gustavo A. Madero	11,900,000	2,277,400	14,177,400
Iztacalco	1,300,000		1,300,000
Iztapalapa	980,000		980,000
Venustiano Carranza	78,800,600		78,800,600
Total	258,002,600	6,304,400	264,307,000

Fuente: Elaboración propia con base en reportes Delegacionales.

Tabla 40. Resumen del costo de los daños en infraestructura hidráulica

Daños a infraestructura hidráulica	264,307,000
Daños a infraestructura hidráulica, precios de 2015	316,115,733
Daños a infraestructura hidráulica/habitantes	4,945

Fuente: Elaboración propia con base en reportes Delegacionales.

El consolidado de los beneficios (costos evitados) que se cuantificaron para este proyecto se presenta a continuación.

Tabla 41. Consolidado de los beneficios totales por costos evitados

Costos	\$/hab.
Limpieza y desinfección de calles	268
Campaña de salud	529
Daños en las viviendas	7,033
Daños en infraestructura urbana	3,780
Atención a la emergencia	485
Daños en escuelas	640
Daños en infraestructura hidráulica	4,945
Costos totales	17,681

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Indicadores de rentabilidad

Una vez que se tiene el beneficio por habitante damnificado, se calculan los beneficios de proyecto bajo los diferentes escenarios de lluvia, es decir, las diferentes superficies de inundación relacionadas con los periodos de retorno de 1, 3, 5 y 10 años, para luego obtener el beneficio anual mediante la esperanza matemática de todos los escenarios planteados.

Primero se calcula la población afectada tomando en cuenta el área de inundación expresada en metros cuadrados en cada periodo de retorno y se multiplica por la densidad de población de Tlaxcala de Xicohtécatl, la cual es de 0.00191467 habitantes por metro cuadrado.

Para obtener la afectación monetaria de cada periodo de retorno se multiplica los costos totales unitarios, es decir 17,681 pesos, por la población afectada correspondiente a cada periodo de retorno.

Una vez que se tienen el beneficio correspondiente a cada periodo de retorno se calcula la esperanza matemática, la cual es el producto de multiplicar el promedio de afectación de dos escenarios y la diferencia de las probabilidades de cada escenario.

$$\frac{\$i + \$n}{2} X (P_i - P_n) = \varepsilon$$

En donde:

$\$i$ = Beneficio del periodo de retorno con mayor probabilidad de ocurrencia

$\$n$ = Beneficio del periodo de retorno con menor probabilidad de ocurrencia

P_i = Probabilidad de ocurrencia del periodo de retorno con mayor probabilidad de ocurrencia (1/periodo de retorno)

P_n = Probabilidad de ocurrencia del periodo de retorno con menor probabilidad de ocurrencia (1/periodo de retorno)

ε = esperanza matemática

Este cálculo se realiza para los periodos (Tr₁ - Tr₃), (Tr₃ - Tr₅) y (Tr₅ - Tr₁₀) y se realiza la sumatorio para conocer el beneficio anual.

$$\sum_{(Tr_5 - Tr_{10})}^{(Tr_1 - Tr_3)} \varepsilon = \text{Beneficio anual del proyecto}$$

Por otra parte, se separaron los beneficios de las diferentes áreas inundables, agrupando la zona del mercado central con la del Palacio Legislativo, las cuales son protegidas por el colector Alonso de Escalona, por otra parte, la zona de la carretera Ocotlán-Santana se verá beneficiada por el colector interceptor Ocotlán y la rectificación y revestimiento de la barranca sin nombre.

Tabla 42. Beneficios zona centro

Mercado Central					
Tr	Probabilidad	Área de inundación en m²	Población afectada	Afectación monetaria	\$ daños esperanza matemática
1	100%	299,120	573	10,125,931	
3	33%	311,085	596	10,530,968	6,885,633
5	20%	323,528	619	10,952,207	1,432,212
10	10%	336,469	644	11,390,295	1,117,125
Total					9,434,970

Fuente: Elaboración propia. Detalle en memoria de cálculo

Tabla 43. Beneficios zona Alta de Ocotlán

Carretera Ocotlán-Santa Ana					
Tr	Probabilidad	Área de inundación en m²	Población afectada	Afectación monetaria	\$ daños esperanza matemática
1	100%	304,709	583	10,315,145	
3	33%	335,180	642	11,346,660	7,220,602
5	20%	358,643	687	12,140,926	1,565,839
10	10%	372,989	714	12,626,563	1,238,374
Total					10,024,815

Fuente: Elaboración propia. Detalle en memoria de cálculo

Tabla 44. Beneficios zona de Palacio Legislativo

Carretera Ocotlán-Santa Ana					
Tr	Probabilidad	Área de inundación en m²	Población afectada	Afectación monetaria	\$ daños esperanza matemática
1	100%	13,059	25	442,078	
3	33%	13,581	26	459,761	300,613
5	20%	14,125	27	478,151	62,527
10	10%	16,950	32	573,781	52,597
Total					415,737

Fuente: Elaboración propia. Detalle en memoria de cálculo

La sumatoria de estas tres áreas resulta en un beneficio total de \$19,875,522 pesos de manera anual.

Beneficio	Cuantificación anual (pesos de 2015)
<i>Costo evitado de limpieza y desinfección de calles</i>	300,771
<i>Costo evitado por implementar campañas de salud</i>	594,874
<i>Costo evitado por daños en las viviendas</i>	7,906,158
<i>Costo evitado por daños en infraestructura urbana</i>	4,249,088
<i>Costo evitado por atención a la emergencia</i>	545,760
<i>Costo evitado por daños en infraestructura educativa</i>	719,720
<i>Costo evitado por daños a infraestructura hidráulica</i>	5,559,151
Total	19,875,522

Al traer a valor presente neto con una tasa de descuento del 10%, tanto los costos como los beneficios, a lo largo de un periodo de 20 años y restando los costos a los beneficios antes cuantificados; se puede concluir que la ejecución del proyecto es benéfica para el país, ya que se genera un beneficio social neto de \$47,281,310 pesos.

Tabla 45. Indicadores de rentabilidad.

Año	Costos totales	Beneficios totales	Flujo total neto
2015	118,999,731	0	-118,999,731
2016	341,975	19,875,522	19,533,547
2017	341,975	19,875,522	19,533,547
2018	341,975	19,875,522	19,533,547
2019	341,975	19,875,522	19,533,547
2020	341,975	19,875,522	19,533,547
2021	341,975	19,875,522	19,533,547
2022	341,975	19,875,522	19,533,547
2023	341,975	19,875,522	19,533,547
2024	341,975	19,875,522	19,533,547
2025	341,975	19,875,522	19,533,547
2026	341,975	19,875,522	19,533,547
2027	341,975	19,875,522	19,533,547
2028	341,975	19,875,522	19,533,547
2029	341,975	19,875,522	19,533,547
2030	341,975	19,875,522	19,533,547
2031	341,975	19,875,522	19,533,547
2032	341,975	19,875,522	19,533,547
2033	341,975	19,875,522	19,533,547
2034	341,975	19,875,522	19,533,547
2035	341,975	19,875,522	19,533,547

Fuente: Elaboración propia. Detalle en memoria de cálculo

Tabla 46. Indicadores de rentabilidad.

VACS	\$121,930,214
VABS	\$169,211,524
VANS	\$47,281,310
TIRS	15.5%

Fuente: Elaboración propia. Detalle en memoria de cálculo

5.4 Análisis de sensibilidad

Por otra parte, se realizó un análisis de sensibilidad en la variación del costo de inversión; costo de operación y mantenimiento, y los beneficios cuantificados y valorados del proyecto, arrojando una tolerancia en el incremento en la inversión de hasta un 40.2%, mientras que los costos de operación y mantenimiento se pueden elevar en un 2,048% y seguiría siendo rentable, por lo que no se considera que exista algún riesgo relativo con el aumento en dichos costos, por otra parte, se analizó la disminución de las bondades del proyecto en donde se identificó que de manera individual se pueden omitir los beneficios si afectar la rentabilidad del proyecto, esto con excepción del beneficio por costo evitado en los daños a vivienda, el cual puede disminuir en un 71% antes de poner en riesgo la rentabilidad del proyecto.

Tabla 47. Análisis de sensibilidad

Variable	Escenario original	Rango de variación				Máxima variación para ser rentable
		5%	10%	15%	40%	
Inversión	0%	5%	10%	15%	40%	40.2%
VANS	47,281,310	41,401,876	35,522,443	29,643,009	242,886	0
TIRS	15.6%	14.7%	13.9%	13.1%	10.0%	10%
Costos de operación y mantenimiento	0%	5%	10%	15%	40%	2048%
VANS	47,281,310	47,165,894	47,050,479	46,935,063	46,357,986	0%
TIRS	15.6%	15.5%	15.5%	15.5%	15.5%	10%
Costos evitados por limpieza y desinfección de calles	0%	-5%	-10%	-15%	-40%	-1869%
VANS	47,281,310	47,154,817	47,028,324	46,901,830	\$46,269,364	0%
TIRS	15.6%	15.5%	15.5%	15.5%	15.4%	10%
Costo evitado por implementar campañas de salud	0%	-5%	-10%	-15%	-40%	-945%
VANS	47,281,310	47,031,128	46,780,945	46,530,763	\$45,279,851	0%
TIRS	15.6%	15.5%	15.5%	15.5%	15.3%	10%
Costo evitado por daños en las viviendas	0%	-5%	-10%	-15%	-40%	-71%
VANS	47,281,310	43,956,270	40,631,230	37,306,191	\$20,680,992	0%
TIRS	15.6%	15.2%	14.8%	14.4%	12.5%	10%
Costo evitado por daños en infraestructura urbana	0%	-5%	-10%	-15%	-40%	-132%
VANS	47,281,310	45,494,299	43,707,289	41,920,279	\$32,985,226	0%
TIRS	15.6%	15.4%	15.2%	15.0%	13.9%	10%
Costo evitado por atender la emergencia	0%	-5%	-10%	-15%	-40%	-1030%
VANS	47,281,310	47,051,783	46,822,256	46,592,730	\$45,445,096	0%
TIRS	15.6%	15.5%	15.5%	15.5%	15.3%	10%
Costo evitado por daños en escuelas	0%	-5%	-10%	-15%	-40%	-781%
VANS	47,281,310	47,549,979	47,243,610	46,937,241	\$45,405,396	0%
TIRS	15.6%	15.5%	15.5%	15.5%	15.3%	10%
Costo evitado por daños en infraestructura hidráulica	0%	-5%	-10%	-15%	-40%	-101%
VANS	47,281,310	44,943,335	42,605,361	40,267,386	\$28,577,513	0%
TIRS	15.6%	15.3%	15.0%	14.8%	13.4%	10%

5.5 Análisis de riesgos

En cuanto a los riesgos inherentes a la ejecución del proyecto, se tiene identificado como el de mayor cuidado el de la posposición de la ejecución del proyecto y el incremento en los costos de los insumos.

En el caso de la postergación o incumplimiento de contrato para ejecutar el proyecto, esto provocaría un retraso en la generación de beneficios. El riesgo se mitiga con la cuidadosa elegibilidad de la empresa que proporcione el servicio y la ejecución de la obra; así como con estrictos programas de supervisión y cubriendo los requisitos que determina la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas; entre los que se debe poner especial atención en la fianza de cumplimiento y la fianza de defectos y vicios ocultos.

Un riesgo medio es el aumento del costo de la obra, para lo cual se sugiere licitar la obra a precio alzado, en cuyo caso el importe de la remuneración o pago total fijo que deba cubrirse al contratista será por los trabajos totalmente terminados y ejecutados en el plazo establecido¹⁶, los cuales no pueden ser modificados en monto o plazo, a menos de que existan circunstancias económicas de tipo generales que sean ajenas a la responsabilidad de las partes y que por tal razón no pudieron haber sido objeto de consideración en la proposición que sirvió de base para la adjudicación del contrato correspondiente; como son, entre otras: variaciones en la paridad cambiaria de la moneda o cambios en los precios nacionales o internacionales que provoquen directamente un aumento o reducción en los costos de los insumos de los trabajos no ejecutados conforme al programa de ejecución¹⁷, para lo cual se sugiere realizar un contrato de opciones en dólares de los Estados Unidos Americanos¹⁸, lo cual ayudará a mitigar la posible depreciación del peso mexicano frente a dicha divisa. Aunado al

¹⁶ Artículo 45, fracción II de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas

¹⁷ Artículo 59 de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas

¹⁸ Para mayor información favor de consultar la página de la Bolsa de Derivados de México (MexDer) http://www.mexder.com.mx/wb3/wb/MEX/MEX_Repositorio/vtp/MEX/1ef6_publicaciones/rid/21/mto/3/folleto_opciones_MexDer2.pdf

análisis de sensibilidad anterior, se considera que este riesgo es mitigable y de una probabilidad media-baja.

Dado que el proyecto para proteger a la población de inundaciones y que las obras se realizaran por derecho de vía pública dentro de la ciudad, se considera que los riesgos de carácter social, legal y ambiental son poco probables.

En cuanto a los posibles riesgos durante la operación, dado que trabajaran por gravedad, solo se considera el riesgo por vicios ocultos en la construcción, siendo la medida de mitigación la contratación por parte de la empresa ganadora de un seguro que cubra los mismos.

Variable	Cambio en indicadores
<p>Postergación de la ejecución del proyecto (Incumplimiento de plazos para la entrega de las obras)</p>	<p>Medio. El surgimiento de retrasos en la entrega de las obras retrasaría la generación de los beneficios estimados. Este riesgo se mitiga con la cuidadosa elección de la empresa que proporcione el servicio y la ejecución de la obra; así como con estrictos programas de supervisión y cubriendo los requisitos que determina la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas; entre los que se debe poner especial atención en la fianza de cumplimiento y la fianza de defectos y vicios ocultos.</p>
<p>Incremento en los costos de inversión</p>	<p>Bajo. El aumento en el costo de los insumos puede llevar a incrementos de distinta magnitud en el monto requerido de inversión. Sin embargo este riesgo se calificó como bajo, pues del análisis de sensibilidad se desprende que existe un margen de hasta 34.9% para que el proyecto mantenga su rentabilidad social.</p>

6. Conclusiones

En el presente documento se ha analizado la conveniencia social de llevar a cabo el proyecto “Construcción de Interceptores pluviales en la Ciudad de Tlaxcala, en Tlaxcala, Tlaxcala”.

Con base en la metodología establecida para evaluar este tipo de obras, se obtuvieron los siguientes indicadores de rentabilidad social del proyecto:

Tabla 48. Indicadores de rentabilidad.

VACS	\$121,930,214
VABS	\$169,211,524
VANS	\$47,281,310
TIRS	15.5%

Fuente: Elaboración propia. Detalle en memoria de cálculo

A partir de estos resultados, se concluye que es conveniente para el país la ejecución del proyecto, ya que representa un beneficio social de 47.28 millones de pesos, una vez descontados los costos sociales inherentes a su ejecución y operación. Este resultado representa un aumento en la riqueza del país como consecuencia de la posible ejecución de este proyecto, son producto del cálculo de los costos inherentes a las inundaciones que se evitarán al tener la capacidad de recolección y conducción necesaria para que no se presente esta catástrofe natural en tormentas, con periodos de retorno de 10 años o menos. En este sentido, al evitar las inundaciones, se tienen beneficios por costos evitados en limpieza, daños a hogares, caminos, infraestructura urbana; así como los relacionados a los impactos en salud por el inadecuado desalojo del agua pluvial.

Dada la naturaleza de este tipo eventos, los daños son diversos y en muchas ocasiones cuantiosos; incluso difícilmente cuantificables como es el caso de pérdida de vidas humanas o los daños a monumentos y edificios históricos.

Cabe mencionar que, para el correcto funcionamiento de las obras contempladas y la efectiva obtención de los beneficios antes descritos, con base en la información y experiencia de la Comisión de Agua potable y alcantarillado del Municipio de Tlaxcala (CAPAM), se recomienda desazolvar dos veces al año; previamente a la temporada de lluvias.

Asimismo se recomienda la ejecución del proyecto ya que es factible desde un punto de vista técnico, legal y ambiental; contando con la validación de la CONAGUA.

7. Fuentes consultadas

Brière, François G., 2005. Distribución de Agua Potable y Colecta de Desagües y de Agua de Lluvia. Canadá: Presses Internationales Polytechnique.

De la Lanza-Espino, Guadalupe, 1999. Diccionario de hidrología y ciencias afines. México: Plaza y Valdés.

Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2011. Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2010.

Consejo Nacional de Población, 2010. Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2010.

Consejo Nacional de Población, 2013. Proyecciones de la Población de las Localidades de México 2010-2030.

Comisión Nacional del Agua, 2008. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. México.

Comisión Nacional del Agua, 2008. Metodologías de Evaluación Socioeconómica para Proyectos de Agua Potable, Alcantarillado, Saneamiento y Protección a Centros de Población. México.

8. Datos de contacto

Nombre: Ing. Carmen Padilla Morales

Cargo: Secretaria Técnica "A"
Secretaría de Obras Públicas, Desarrollo Urbano y Vivienda

Teléfono: (246) 462 0102, ext. 3903

Correo: carmen10018@hotmail.com

Nombre: Ing. Salvador Sánchez Vázquez

Cargo: Director de Obras Públicas
Secretaría de Obras Públicas, Desarrollo Urbano y Vivienda

Teléfono: (246) 462 0102, ext. 4002

Correo: obrasp.secoduvi@tlaxcala.gob.mx