



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS– (OPTIMACIÓN FINANCIERA)

EVALUACIÓN COSTO-BENEFICIO DE UNA PROPUESTA PARA MITIGAR INUNDACIONES EN EL
SISTEMA DREN ANHELO EN REYNOSA, TAMAULIPAS.

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN INGENIERÍA

PRESENTA:
OLBIA CAROLINA VALDEZ MENESES

TUTOR PRINCIPAL
DR. ELIO AGUSTÍN MARTÍNEZ MIRANDA
Facultad de Contaduría y Administración UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Javier Suárez Rocha
Secretario: Dra. Magnolia Miriam Sosa Castro
1^{er}. Vocal: Dr. Elio Agustín Martínez Miranda
2^{do}. Vocal: M. en I. Jorge Rodríguez Rubio
3^{er}. Vocal: M. en I. Yonahandy Malfavón Ruiz

Ciudad Universitaria, Coyoacán, Ciudad de México.

TUTOR DE TESIS:

Dr. Elio Agustín Martínez Miranda

FIRMA

Contenido

Resumen.....	3
Abstract	4
Introducción	5
Planteamiento del problema.....	6
Justificación de la investigación.....	6
Preguntas de investigación	7
Objetivo de investigación	7
Hipótesis de investigación	8
CAPÍTULO I	8
I.1 Marco teórico y conceptual.....	8
I.2 Proyectos de infraestructura.....	15
I.3 Proyectos hidráulicos.....	15
I.4 Evaluación de proyectos sociales	17
I.5 Metodología.....	19
CAPÍTULO II.....	23
Análisis costo beneficio, caso de aplicación.....	23
II.1 Resumen ejecutivo	23
II.2 Situación Actual del Programa o Proyecto de Inversión	27
II.3 Análisis de la Oferta o infraestructura existente	35
II.4 Análisis de la Demanda actual	1
II.5 Diagnóstico de la interacción de la oferta-demanda a lo largo del horizonte.....	2
II.6 Optimizaciones.....	9
II.7 Análisis de la Oferta en caso de que el programa o proyecto de inversión no se lleve a cabo	9
II.8 Alternativas de solución.....	9
II.9 Beneficios esperados	18
II.10 Comparación de alternativas para la cuenca La Escondida	21
II.11 Situación con el Programa o Proyecto de Inversión	23
II.11.1 Descripción general	23
II.11.2 Inversión requerida:	25
II.11.3 Programa de construcción:	26
II.11.4 Alineación estratégica.....	26
II.11.5 Localización geográfica.....	29
II.11.6 Calendario de actividades	29
II.11.7 Programa de construcción.....	29
II.11.8 Monto total de inversión	30
II.11.9 Calendario de actividades	31
II.11.10 Calendario de inversión.....	31
II.11.11 Financiamiento.....	31
II.11.12 Capacidad instalada que se tendría y su evolución en el horizonte de evaluación del programa o proyecto de inversión	31
II.11.13 Metas anuales y totales de producción de bienes y servicios cuantificadas en el horizonte de evaluación	32

II.11.14 Vida útil.....	32
II.11.15 Descripción de los aspectos más relevantes para determinar la viabilidad del programa o proyecto de inversión.....	32
II.11.16 Conclusiones de la factibilidad técnica, legal, económica y ambiental	32
CAPÍTULO III	34
Evaluación Financiera	34
III.1 Análisis de la Oferta a lo largo del horizonte de evaluación,.....	34
III.2 Diagnóstico de la interacción de la oferta-demanda a lo largo del horizonte de evaluación	36
III.3 Evaluación del Programa o Proyecto de Inversión.	39
III.3.1 Identificación, cuantificación y valoración de costos	40
III.3.2 Identificación, cuantificación y valoración de los beneficios del programa o proyecto de inversión	40
III.3.3 Cálculo de los indicadores de rentabilidad	47
III.3.4 Análisis de sensibilidad	48
III.3.4.1 Incremento en los costos de inversión	48
III.3.4.2 Valor de los daños en viviendas	49
III.3.4.3 Aumento en los costos de conservación y operación.	51
III.3.5 Análisis de riesgos:.....	52
III.3.6 Conclusiones y Recomendaciones de la evaluación:	54
Conclusiones, recomendaciones, limitaciones y futuras investigaciones.....	55
Referencias.....	57

Resumen

Propósito- El propósito de este trabajo es utilizar la metodología costo beneficio para la evaluación de alternativas de solución que mitiguen la problemática de inundaciones en la ciudad de Reynosa, Tamaulipas. En particular, para la ampliación del sistema de drenaje pluvial; verificar si es óptima para este tipo de proyectos, calcular los indicadores de rentabilidad y establecer la viabilidad económica del proyecto.

Metodología- La evaluación socioeconómica de proyectos de inversión pública constituye la base fundamental en la toma de decisiones efectiva para optimizar el gasto público. En México, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) establece la necesidad de llevar a cabo evaluaciones socioeconómicas para los proyectos que pretendan ser incluidos en el Presupuesto de Egresos de la Federación (PEF) con base en los “Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio” publicados en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 30 de diciembre de 2013.

El presente trabajo utiliza la metodología costo beneficio establecida en los lineamientos de la SHCP para la evaluación de alternativas de solución consistentes en proyectos de drenaje pluvial en la ciudad de Reynosa, mediante el cálculo de los costos y beneficios, así como la obtención de los indicadores de rentabilidad.

Hallazgos- Se determina que el proyecto evaluado es viable, presenta bajos riesgos y su tasa de rendimiento inmediato indica que cuanto antes se inicie, mayores serán los beneficios.

Se provee información adicional que permite sugerir la realización de evaluaciones costo beneficio de infraestructura de drenaje pluvial con mayor precisión respecto al cálculo de la oferta y la demanda.

Limitaciones de la investigación- Al ser un estudio desarrollado para proyectos de drenaje pluvial, está limitado a sistemas hidráulicos. Futuras investigaciones pueden ser aplicadas a otro tipo de proyectos de infraestructura civil.

La evaluación de alternativas se limita a la cuenca del Dren Anhelo y la Laguna la Escondida, existen áreas de oportunidad para estudiar otras cuencas.

Implicaciones prácticas- Se determina la necesidad de particularizar las evaluaciones costo beneficio para proyectos de infraestructura de drenaje pluvial con simulaciones de flujo para analizar las condiciones de oferta y demanda y su interacción; y así poder realizar una evaluación socioeconómica que se asemeje con mayor precisión a la realidad.

Originalidad- Esta investigación es uno de los pocos estudios relacionados en fortalecer la metodología costo beneficio para proyectos de drenaje pluvial.

Palabras clave- Evaluación socioeconómica, drenaje pluvial, indicadores de rentabilidad, proyectos de infraestructura.

Abstract

Purpose- The purpose of this work is to use cost benefit methodology to assess solution alternatives to mitigate floodings in the city of Reynosa, Tamaulipas. Particularly, thus regarding the extension of the pluvial drainage system; verify if the methodology is optimum for this type of projects, calculate the project profitability indicators and establish the project economic viability.

Methodology/approach- Socioeconomic assessment of public investment projects provides an opportunity to ensure the effective decision-making of public spending.

In Mexico, the Ministry of Finance and Public Credit (SHCP) establishes the need to develop socioeconomic evaluations for projects considered to be included in the Federation's Expenditure Budget using the *Guidelines for the preparation and presentation of cost and benefit analyses* published in the Official Federation Gazette on December 30, 2013.

Therefore, the present work is developed with the methodology established in the SHCP Guidelines to assess pluvial drainage projects in the city of Reynosa by calculating costs and benefits, as well as profitability indicators.

Findings- This investigation determines that the evaluated project is viable, has low risks and the immediate rate of return shows that it should be implemented shortly to maximize the benefits.

The investigation provides additional information that suggests using hydraulic methods for supply and demand calculation for more accurate pluvial drainage cost benefit assessments.

Research limitations/implications- This study is focused on pluvial drainage projects, limited to hydraulic systems. Future investigations can be applied to different civil engineering projects.

The evaluation of alternatives is limited to Dren Anheló and Laguna la Escondida basins, hence, further studies can be done in other basins.

Practical implications- This investigation determines the need of particularizing pluvial drainage infrastructure projects cost benefit assessments with flow simulations to analyze the conditions of supply and demand and their interaction; allowing to develop socioeconomic evaluations more accurate to reality.

Originality- This investigation is one of the few studies concerning cost benefit methodology improvement for pluvial drainage projects.

Keywords- Socioeconomic evaluation, storm/pluvial drainage, profitability indicators, infrastructure projects.

Introducción

Debido a su ubicación geográfica cercana al río Bravo y a su configuración topográfica, en su mayoría plana, la ciudad de Reynosa es vulnerable a los efectos de eventos climatológicos que ocurren cada año.

Estos eventos, como ciclones tropicales, frentes fríos e intensas precipitaciones provocan inundaciones que afectan, la salud pública, la calidad de vida y la economía de los habitantes de la zona.

Aunado a lo anterior, en los últimos años, la población de Reynosa se ha incrementado de forma exponencial, generando mayor densidad poblacional, la alteración original de las cuencas y el estrechamiento de la sección hidráulica de algunos drenes. Un aspecto característico, ha sido el crecimiento no planeado, el establecimiento de comercios y viviendas en zonas de inundación y la falta de capacidad de los sistemas de drenaje pluvial.

Para mitigar los riesgos por inundaciones a la población e incrementar su calidad de vida, es necesario contar con un sistema drenaje pluvial que permita conducir de forma adecuada el agua producida en la cuenca, evitando la acumulación, y con ello, las inundaciones.

De acuerdo con sus características topográficas, Reynosa se puede clasificar en dos subsistemas principales de drenaje: el asociado a la cuenca del Dren Anheló (laguna La Escondida) y el de la cuenca Dren Reynosa Poniente.

Debido a que la cuenca asociada al Dren Anheló (laguna La Escondida) es la que presenta los mayores escurrimientos, y por ello, las mayores afectaciones, este estudio analiza este subsistema y plantea una propuesta de solución para el desalojo del agua de lluvia, mediante la ampliación de la capacidad de conducción del sistema de drenaje actual.

El objetivo es verificar si es la metodología de la SHCP es óptima para este tipo de proyectos, calcular los indicadores de rentabilidad de la propuesta de solución y establecer la viabilidad del proyecto; generando un instrumento que permita conocer las ventajas y desventajas de esta metodología para la toma de decisiones en la construcción de infraestructura para la mitigación de riesgos, además de proveer información para la gestión del riesgo por inundación e impulsar inversiones público productivas en México con fundamento técnico y económico.

El presente trabajo contribuye a la literatura relativa a los análisis costo beneficio de sistemas de drenaje pluvial, la cual es hasta el momento escasa.

Planteamiento del problema

En el Dren Anheló y la Laguna la Escondida existe una deficiencia en la capacidad de conducción del sistema de drenaje, que impide desalojar la lluvia producida en las cuencas de forma adecuada, generando la acumulación de agua y propiciando las inundaciones.

Entre los daños identificados asociados a las inundaciones se encuentran:

- Daños a las viviendas de los habitantes
- Daños a los bienes muebles de los habitantes
- Proliferación de enfermedades gastrointestinales y las propiciadas por la acumulación de agua como dengue y zika
- Focos infecciosos por la mezcla de agua pluvial con agua residual
- Daños a edificaciones comerciales
- Problemática en movilidad y de transporte
- Depreciación de los predios
- Necesidad de inversión emergente para restablecer las condiciones (Fondo de Desastres Naturales, inversiones estatales y municipales del erario)
- Necesidad de inversión en salud pública

Lo anterior, se considera un problema público y real que requiere solución. Sin embargo, también existe un área de oportunidad desde el punto de vista académico para llevar a cabo una investigación relativa a proponer utilizar la evaluación costo beneficio como alternativa para calcular los indicadores de rentabilidad y establecer la viabilidad económica del proyecto; pero también para determinar si es óptima para este tipo de proyectos.

Asimismo, se pretende resaltar las ventajas que ofrece para la toma de decisiones, cuando se utiliza para sistemas hidráulicos de drenaje pluvial. Por consiguiente, en la presente investigación se plantea el siguiente problema:

Establecer la viabilidad económica del proyecto como alternativa de solución a la problemática de inundaciones en Reynosa, e investigar si la metodología costo-beneficio es óptima para la toma de decisiones relativa a la ampliación de sistemas de drenaje pluvial.

Justificación de la investigación

Una vez revisada la literatura científica disponible, se encuentra que existen escasos estudios vigentes que consideren verificar la conveniencia de utilizar la metodología costo-beneficio para la evaluación de proyectos de sistemas de drenaje pluvial, en particular, del proyecto de solución para mitigar la problemática de inundaciones en Reynosa, que consiste en ampliar la capacidad del sistema de drenaje en el Dren Anheló y la laguna La Escondida. Asimismo, no se identificaron evaluaciones socioeconómicas relativas a este proyecto que permitan determinar su viabilidad económica.

Lo anterior, genera que no existan instrumentos que permitan la toma óptima de decisiones relativa al sistema de drenaje pluvial de Reynosa.

Si bien existen proyectos para control de inundaciones que han sido evaluados a través de esta metodología, los proyectos para la zona de Reynosa son escasos (IMTA, 2016).

Los esfuerzos que se realicen para mitigar los riesgos por inundaciones en esta ciudad requieren una mayor coordinación entre los tres órdenes de gobierno, pero también, una evaluación y proposición de la metodología costo beneficio para estos proyectos.

De financiar las acciones necesarias para disminuir las afectaciones con recursos públicos fiscales, es decir, de la federación; o a través de una mezcla de recursos público-privados, es indispensable contar con el análisis costo beneficio del proyecto de inversión conforme a los lineamientos establecidos por la Unidad de Inversiones de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

En virtud de lo anterior, utilizar la metodología costo beneficio resulta fundamental, en específico, para exponer las particularidades relevantes para el caso de análisis y la evaluación de políticas relacionadas con la prevención de desastres naturales; así como determinar la viabilidad económica del proyecto propuesto para mitigar la problemática.

Preguntas de investigación

1. ¿Es la metodología costo beneficio vigente propuesta por la SHCP una alternativa factible para la evaluación del proyecto?, ¿satisface los requerimientos necesarios para la toma de decisiones de los proyectos de inversión como el sistema de drenaje pluvial del Dren Anheló?
2. ¿Cuáles son los principales costos y beneficios sociales?
3. ¿Cuáles son los riesgos de llevar o no a cabo la inversión y cómo se pueden mitigar?
4. ¿Los costos económicos por inundaciones determinan la necesidad de llevar a cabo el proyecto de inversión (propuesta de solución) ?, ¿la evaluación costo beneficio del proyecto de inversión indica que el proyecto es rentable?, ¿cuáles son los indicadores de rentabilidad a lo largo del horizonte de evaluación?

Objetivo de investigación

Utilizar la metodología costo beneficio para la evaluación de alternativas de solución que mitiguen la problemática de inundaciones en la ciudad de Reynosa, Tamaulipas, en particular, para la ampliación del sistema de drenaje pluvial. Verificar si es óptima para este tipo de proyectos, calcular los indicadores de rentabilidad y establecer la viabilidad económica del proyecto.

Objetivos secundarios

1. Estimar la oferta y la demanda del sistema de drenaje pluvial en el subsistema del Dren Anheló.
2. Establecer alternativas de solución que mitiguen la problemática de inundaciones.
3. Estimar los costos y beneficios sociales de llevar a cabo el proyecto de inversión.
4. Evaluar la rentabilidad del proyecto y obtener sus indicadores a lo largo del horizonte de evaluación.
5. Establecer cómo se pueden mitigar los riesgos que representa la inversión.

Hipótesis de investigación

Si se emplea la evaluación costo beneficio en proyectos de infraestructura de drenaje pluvial, entonces se podrán conocer con mayor certeza los costos y beneficios sociales y optimizar el manejo de los recursos públicos.

CAPÍTULO I

I.1 Marco teórico y conceptual

Los análisis costo y beneficio se encuentran definidos en el artículo 34, fracción II, de la Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria. En ella se define considerar los costos y beneficios directos e indirectos que los proyectos de inversión o los programas generen para la sociedad.

Este artículo, establece que las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, para poder programar recursos destinados a programas y proyectos de inversión, deben:

1. Contar con un mecanismo de planeación de inversiones que identifique los proyectos en proceso de realización y los que se consideren para años futuros, y que determine las necesidades de inversión a corto, mediano y largo plazo con criterios de evaluación que establezcan la prioridad.
2. Presentar a la Secretaría de Hacienda y Crédito Público la evaluación costo beneficio, en donde se demuestre que son susceptibles de generar un beneficio social neto con supuestos razonables. Es importante mencionar que esta evaluación no se requiere en inversiones para la atención prioritaria e inmediata de desastres naturales.
3. Registrar en la cartera de inversión de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público el proyecto de inversión con su evaluación correspondiente y mantenerla actualizada. En este sentido, se establece que únicamente los proyectos registrados en esta cartera se pueden incluir para su financiamiento en el Presupuesto de Egresos de la Federación (PEF).
4. Los programas y proyectos de inversión registrados en la cartera de inversión se analizan por la Comisión Intersecretarial de Gasto Financiamiento, responsable de determinar la prelación para incluirlo en el PEF considerando la rentabilidad socioeconómica, la reducción de la pobreza extrema, el desarrollo regional y la concurrencia con otros programas o proyectos de inversión.

Por otro lado, las evaluaciones costo beneficio o análisis costo beneficio para un proyecto público de inversión en México, se encuentran reguladas por los Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión (en adelante lineamientos), publicados en el Diario Oficial de la Federación el lunes 30 de septiembre de 2013 por la Unidad de Inversiones de la Subsecretaría de Egresos de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

Estos lineamientos, establecen los tipos de evaluaciones socioeconómicas para los programas y proyectos de inversión que las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal consideren realizar.

Clasificación de proyectos de inversión (SHCP, 2013)

En los lineamientos, se define que los proyectos de inversión se pueden clasificar en cinco principales tipos:

- I. Los de infraestructura económica, que consideran construcción, adquisición o ampliación de activos fijos para producir bienes y servicios en el sector de agua, comunicaciones y transportes, electricidad, hidrocarburos y turismo; así como la rehabilitación y mantenimiento para incrementar la vida útil o capacidad original.
- II. Los de infraestructura social, referentes a la construcción, adquisición y/o ampliación de activos fijos para llevar a cabo funciones en materia de educación, ciencia, tecnología, cultura, deporte, salud, seguridad social, urbanización, vivienda y asistencia social.
- III. Los de infraestructura gubernamental, relativos a la construcción, adquisición y/o ampliación de activos fijos para llevar a cabo funciones gubernamentales, como la seguridad nacional, pública y la procuración de justicia, entre otras. También considera funciones de desarrollo económico y social que sean diferentes de las mencionadas anteriormente.
- IV. Los de inmuebles, concernientes a construir, adquirir o ampliar inmuebles para oficinas administrativas e incluyen arrendamiento financiero.
- V. Otros proyectos no identificados en los anteriormente descritos.

De acuerdo con lo anterior, el proyecto de inversión propuesto para ser evaluado se clasifica como proyecto de infraestructura económica, ya que considera la construcción o ampliación de la infraestructura principal en la cuenca del Dren Anheló para producir el servicio de drenaje o de desalojo de agua en el sector hídrico.

Tipo de evaluación socioeconómica (SHCP, 2013)

En los lineamientos también se establece el tipo de evaluación socioeconómica, distinguiendo cinco categorías:

La ficha técnica, el análisis costo beneficio simplificado, el análisis costo beneficio, el análisis costo eficiencia-simplificado y el análisis costo-eficiencia.

Para estos efectos considera tres evaluaciones generales, la primera, una ficha técnica, la segunda (simplificada) a nivel perfil que consiste en utilizar la información disponible de la dependencia o entidad, su experiencia derivada de proyectos realizados y el criterio profesional de los evaluadores, revistas especializadas, libros de la materia, artículos arbitrados, estudios similares, estadísticas e información histórica y experiencias en otros países o gobiernos.

La tercera a nivel prefactibilidad que debe considerar además de la información utilizada para la evaluación a nivel perfil, estudios técnicos, cotizaciones y encuestas, que sean realizados con especificidad para el proyecto. Debe ser detallada y precisa.

A continuación, se describen a detalle las evaluaciones socioeconómicas:

I. Ficha técnica

Consiste en la descripción a detalle de la problemática o las necesidades y las razones de la elección de la solución y se debe realizar cuando los proyectos o programas tengan un monto de inversión menor o igual a 50 millones de pesos. En el caso de proyectos de inversión superiores a 1,000 millones de pesos, pueden solicitar, a través de una ficha, recursos para los estudios de pre-inversión o de su análisis costo beneficio.

La ficha debe contener información general: nombre y tipo de programa, fuentes de financiamiento, calendario, monto de inversión estimado, horizonte de evaluación, localización con georreferencia, coordenadas decimales y mapa; la alineación estratégica a los objetivos, estrategias y líneas de acción que atendería el programa o proyecto conforme al Plan Nacional de Desarrollo y la planeación regional, estatal y/o en su caso municipal; el análisis de la situación actual describiendo la problemática específica que justifique la realización del proyecto, con una descripción y la cuantificación de la oferta y la demanda de los bienes y servicios relacionados; el análisis de la situación sin proyecto, especificando las mejoras, es decir, medidas administrativas o de bajo costo para optimizar la situación actual descrita, una estimación de la oferta y la demanda considerando las optimizaciones; la justificación de la alternativa de la solución seleccionada, describiendo alternativas, sus costos y la descripción de los criterios técnicos y económicos para seleccionar la alternativa más conveniente; el análisis de la situación con proyecto, describiendo el programa o proyecto, además de sus componentes técnicos, legales y ambientales que destaquen de su ejecución, su localización geográfica, con coordenadas, una estimación de la oferta y la demanda de llevarse a cabo para determinar su interacción y poder verificar que se solucione la problemática; la identificación y valoración de costos y beneficios de la implementación del programa, en la etapa de operación y ejecución, en los proyectos de 30 a 50 millones de pesos, calcular los indicadores de rentabilidad para determinar si es socioeconómicamente conveniente realizar el proyecto, es decir VPN, TIR y TRI, de resultar no cuantificables los beneficios, se realizará el cálculo del CAE; se integrará el contenido así como su nombre, tipo, fecha estimada de realización, justificación, descripción, monto estimado de inversión y vigencia del estudio.

II. Análisis costo beneficio simplificado

Es una evaluación socioeconómica con nivel perfil, es decir, una evaluación que utilice información disponible en la dependencia o entidad; considerando la experiencia en proyectos similares y el criterio profesional de los evaluadores, puede considerarse información de revistas especializadas, libros, artículos arbitrados, estudios similares, estadísticas y experiencias en otros países o gobiernos.

Este tipo de análisis se realizará a los proyectos de infraestructura con un monto total de inversión superior a 50 millones de pesos y hasta 500 millones de pesos; para el caso de programas de adquisiciones y mantenimiento con monto de inversión de 150 millones de pesos hasta 500 millones de pesos y programas de adquisiciones y mantenimiento de protección civil de 150 millones de pesos hasta 500 millones de pesos.

El análisis costo beneficio simplificado, deberá contener los mismos apartados que un análisis costo beneficio.

III. Análisis costo beneficio

Es una evaluación socioeconómica a nivel prefactibilidad, es decir, además de los artículos y elementos de una evaluación con nivel perfil, debe utilizarse información correspondiente a estudios técnicos, cotizaciones y encuestas, que se realicen específicamente para la

evaluación del proyecto o programa. La información debe ser más detallada y precisa, en particular la cuantificación y valoración de los costos y beneficios.

Consiste en la determinación de la conveniencia de un programa o proyecto valorando en términos monetarios los costos y beneficios directos o indirectos, incluyendo las externalidades, la ejecución y operación.

Tiene una vigencia de tres años a partir del registro del programa o proyecto en cartera, puede ser modificado por la Unidad de Inversiones.

Se realiza a los proyectos o programas con un monto de inversión superior a 500 millones de pesos, a proyectos de infraestructura pública productiva a largo plazo y a los que determine la Unidad de Inversiones.

Debe incluir las conclusiones de la factibilidad técnica, legal, económica y ambiental, los estudios de mercado y los realizados específicamente para el proyecto.

Los análisis de factibilidad ambiental determinan que un proyecto o programa cumple con la normatividad aplicable en materia ambiental.

Los de factibilidad económica corresponden a la cuantificación de los costos y beneficios del proyecto o programa y deben demostrar que puede generar beneficios.

Los de factibilidad legal establecen que el proyecto cumple con las disposiciones jurídicas de los tres órdenes de gobierno.

Los de factibilidad técnica estudian que los materiales, los equipos, los insumos, la tecnología y el personal requerido está disponible y es susceptible de obtenerse. Además, indican que el proyecto o programa cumple con la normatividad aplicable y las prácticas de la ingeniería.

IV. Análisis costo eficiencia simplificado

Consiste en una evaluación socioeconómica a nivel perfil y debe contener los mismos apartados que los análisis costo beneficio y se aplica en el caso de proyectos con monto de inversión superior a 50 millones de pesos y hasta 500 millones de pesos cuando sus beneficios no sean cuantificables o sean de difícil cuantificación.

A los programas de adquisiciones, mantenimiento incluyendo protección civil y con monto de inversión entre 150 millones de pesos y hasta 500 millones de pesos cuando sus beneficios no sean cuantificables o sean de difícil cuantificación.

A los programas definidos como otros con un monto total superior a 50 millones de pesos y hasta 500 millones de pesos cuando sus beneficios no sean cuantificables o sean de difícil cuantificación.

V. Análisis costo eficiencia

Consiste en una evaluación socioeconómica que asegure el uso eficiente de los recursos comparando dos alternativas de solución considerando que generan los mismos beneficios a nivel prefactibilidad.

Aplica a los programas y proyectos con monto de inversión superior a 500 millones de pesos y los beneficios no sean cuantificables y los programas y proyectos superiores a 500 millones

de pesos, en los que los beneficios sean de difícil cuantificación, no generen un ingreso o ahorro y se carezca de información para la evaluación de los beneficios no monetarios.

El contenido deberá ser el mismo que para los análisis costo beneficio, a excepción del cálculo de los indicadores de rentabilidad y la cuantificación de beneficios.

Se deberá incluir una segunda alternativa para evaluar entre ellas comparando el CAE.

Contenido de los análisis:

i. Resumen ejecutivo

Contendrá el nombre del programa o proyecto de inversión, localización y monto total de inversión; explicará en forma concisa, el objetivo del programa o proyecto de inversión, la problemática identificada, sus principales características, su horizonte de evaluación, la identificación y descripción de los principales costos y beneficios, sus indicadores de rentabilidad, los principales riesgos asociados a la ejecución y operación, e incluirá una conclusión referente a la rentabilidad del programa o proyecto de inversión.

ii. Situación Actual del Programa o Proyecto de Inversión

En esta sección se deberán incluir los siguientes elementos

- a) Diagnóstico de la situación actual que motiva la realización del proyecto, resaltando la problemática que se pretende resolver;
- b) Análisis de la Oferta o infraestructura existente;
- c) Análisis de la Demanda actual, y
- d) Diagnóstico de la interacción de la oferta-demanda a lo largo del horizonte de evaluación: Consiste en realizar el análisis comparativo para cuantificar la diferencia entre la oferta y la demanda del mercado en el cual se llevará a cabo el programa o proyecto de inversión, describiendo de forma detallada la problemática identificada. Este análisis deberá incluir la explicación de los principales supuestos, metodología y las herramientas utilizadas en la estimación.

iii. Situación sin el Programa o Proyecto de Inversión

En esta sección deberá incluirse la situación esperada en ausencia del programa o proyecto de inversión, los principales supuestos técnicos y económicos utilizados para el análisis y el horizonte de evaluación.

Asimismo, este punto deberá incluir los siguientes elementos:

- a) Optimizaciones: Consiste en la descripción de medidas administrativas, técnicas, operativas, así como inversiones de bajo costo (menos del 10% del monto total de inversión), entre otras, que serían realizadas en caso de no llevar a cabo el programa o proyecto de inversión. Las optimizaciones contempladas deberán ser incorporadas en el análisis de la oferta y la demanda siguientes;
- b) Análisis de la Oferta en caso de que el programa o proyecto de inversión no se lleve a cabo;
- c) Análisis de la Demanda en caso de que el programa o proyecto de inversión no se lleve a cabo;
- d) Diagnóstico de la interacción de la oferta-demanda con optimizaciones a lo largo del horizonte de evaluación: Consiste en realizar el análisis comparativo para cuantificar la diferencia entre la oferta y la demanda con las optimizaciones consideradas. El análisis deberá incluir la estimación de la oferta y de la demanda total del mercado y la explicación de los principales supuestos, metodología y las herramientas utilizadas en la estimación, y

e) Alternativas de solución: Se deberán describir las alternativas que pudieran resolver la problemática señalada, identificando y explicando sus características técnicas, económicas, así como las razones por las que no fueron seleccionadas. Para efectos de este inciso, no se considera como alternativa de solución diferente, la comparación entre distintos proveedores de este bien o servicio.

iv. Situación con el Programa o Proyecto de Inversión

En esta sección deberá incluirse la situación esperada en caso de que se realice el programa o proyecto de inversión y deberá contener los siguientes elementos:

- a) Descripción general: Deberá detallar el programa o proyecto de inversión, incluyendo las características físicas del mismo y los componentes que resultarían de su realización, incluyendo cantidad, tipo y principales características;
- b) Alineación estratégica: Incluir una descripción de cómo el programa o proyecto de inversión contribuye a la consecución de los objetivos y estrategias establecidos en el Plan Nacional de Desarrollo y los programas sectoriales, institucionales, regionales y especiales, así como al mecanismo de planeación al que hace referencia el artículo 34 fracción I de la Ley;
- c) Localización geográfica: Deberá describir la ubicación geográfica con coordenadas georreferenciadas donde se desarrollará el programa o proyecto de inversión; la entidad o entidades federativas donde se ubicarán los activos derivados del programa o proyecto de inversión y su zona de influencia;
- d) Calendario de actividades: Deberá incluir la programación de las principales actividades e hitos que serían necesarias para la realización del programa o proyecto de inversión;
- e) Monto total de inversión: Deberá incluirse el calendario de inversión por año y la distribución del monto total entre sus principales componentes o rubros. Asimismo, deberá desglosarse el impuesto al valor agregado y los demás impuestos que apliquen;
- f) Financiamiento: Deberán indicar las fuentes de financiamiento del programa o proyecto de inversión: recursos fiscales, federales, estatales, municipales, privados, de fideicomisos, entre otros;
- g) Capacidad instalada que se tendría y su evolución en el horizonte de evaluación del programa o proyecto de inversión;
- h) Metas anuales y totales de producción de bienes y servicios cuantificadas en el horizonte de evaluación;
- i) Vida útil: Deberá considerarse como el tiempo de operación del programa o proyecto de inversión expresado en años;
- j) Descripción de los aspectos más relevantes para determinar la viabilidad del programa o proyecto de inversión; las conclusiones de la factibilidad técnica, legal, económica y ambiental, así como los estudios de mercado y otros específicos que se requieran de acuerdo con el sector y al programa o proyecto de inversión de que se trate;
- k) Análisis de la Oferta a lo largo del horizonte de evaluación, considerando la implementación del programa o proyecto de inversión;
- l) Análisis de la Demanda a lo largo del horizonte de evaluación, considerando la implementación del programa o proyecto de inversión; y
- m) Diagnóstico de la interacción de la oferta-demanda a lo largo del horizonte de evaluación: Consiste en describir y analizar la interacción entre la oferta y la demanda del mercado, considerando la implementación del programa o proyecto de inversión. Dicho análisis deberá incluir la estimación de la oferta y de la demanda total del mercado y la explicación de los principales supuestos, metodología y herramientas utilizadas en la estimación.

v. **Evaluación del Programa o Proyecto de Inversión**

Deberá incluirse la evaluación del programa o proyecto de inversión, en la cual debe compararse la situación sin proyecto optimizada con la situación con proyecto, considerando los siguientes elementos:

a) Identificación, cuantificación y valoración de los costos del programa o proyecto de inversión: Deberán considerar el flujo anual de costos del programa o proyecto de inversión, tanto en su etapa de ejecución como la de operación. Adicionalmente, se deberá explicar de forma detallada cómo se identificaron, cuantificaron y valoraron los costos, incluyendo los supuestos y fuentes empleadas para su cálculo;

b) Identificación, cuantificación y valoración de los beneficios del programa o proyecto de inversión: Deberán considerar el flujo anual de los beneficios del programa o proyecto de inversión, tanto en su etapa de ejecución como de operación. Adicionalmente, se deberá explicar de forma detallada cómo se identificaron, cuantificaron y valoraron los beneficios, incluyendo los supuestos y fuentes empleadas para su cálculo;

c) Cálculo de los indicadores de rentabilidad: Deberán calcularse a partir de los flujos netos a lo largo del horizonte de evaluación, con el fin de determinar el beneficio neto y la conveniencia de realizar el programa o proyecto de inversión. El cálculo de los indicadores de rentabilidad incluye: VPN, TIR, y la TRI.

d) Análisis de sensibilidad: A través del cual, se deberán identificar los efectos que ocasionaría la modificación de las variables relevantes sobre los indicadores de rentabilidad del programa o proyecto de inversión: el VPN, la TIR y, en su caso, la TRI. Entre otros aspectos, deberá considerarse el efecto derivado de variaciones porcentuales en: el monto total de inversión, los costos de operación y mantenimiento, los beneficios, la demanda, el precio de los principales insumos y los bienes y servicios producidos, etc.; asimismo, se deberá señalar la variación porcentual de estos rubros con la que el VPN sería igual a cero; y

e) Análisis de riesgos: Deberán identificarse los principales riesgos asociados al programa o proyecto de inversión en sus etapas de ejecución y operación, dichos riesgos deberán clasificarse con base en la factibilidad de su ocurrencia y se deberán analizar sus impactos sobre la ejecución y la operación del programa o proyecto de inversión en cuestión, así como las acciones necesarias para su mitigación.

vi. **Conclusiones y Recomendaciones:**

Exponer de forma clara y precisa los argumentos por los cuales el proyecto o programa de inversión debe realizarse.

vii. **Anexos**

Son aquellos documentos y hojas de cálculo, que soportan la información y estimaciones contenidas en la Evaluación socioeconómica.

viii. **Bibliografía:**

Es la lista de fuentes de información y referencias consultadas para la Evaluación socioeconómica.

I.2 Proyectos de infraestructura

Los proyectos de desarrollo e infraestructura son aquellos impulsados por empresas y/o el Estado, en zonas rurales o urbanas, que tengan fines para el bien común, y generen un impacto sobre la vida de las personas, comunidades en que ellos habitan, o de las que ellos dependen, SCJN (2014).

Estos proyectos incluyen la implementación de acciones de infraestructura física que sirvan un bien común y permitan el desarrollo o mejoren la calidad de vida.

Un proyecto de infraestructura resulta fundamental para impulsar las condiciones existentes hacia un crecimiento económico sostenido; es por ello, que, los esfuerzos deben focalizarse en realizar proyectos eficientes.

Los proyectos de infraestructura garantizan el funcionamiento de un país. Las inversiones en infraestructura son de localización específica y tienen efectos potenciales de crecimiento en las economías locales. Por ello, resulta fundamental considerar el impacto de las inversiones en infraestructura en la actividad económica a nivel local o regional y en el crecimiento económico. Se debe encontrar una cierta correspondencia entre la tasa de crecimiento del producto y el incremento de capital de la economía para conocer la contribución específica que puede hacer un nuevo proyecto de infraestructura, (Rozas, Sánchez, 2004).

I.3 Proyectos hidráulicos

Rausch, 2017 define a los proyectos hidráulicos como símbolos de grandeza nacional y progreso económico. Los vincula con el ideario desarrollista como piezas estratégicas en la política y la modernización.

Estos proyectos destacan por la magnitud de sus inversiones como por sus dimensiones e impactos socioambientales (WCD, 2000), (Aida, 2009), (Fernández y Carrillo, 2010).

En este sentido, los proyectos hidráulicos consisten en aquellas acciones o propuestas que generen mejoras relativas a la gestión integrada y sustentable del agua. Comprenden el análisis de procesos hidrológicos e hidroclimatológicos y el funcionamiento hidráulico de estructuras, y tienen como finalidad coadyuvar a la sociedad a lograr la sostenibilidad y seguridad hídricas. Podemos encontrar, entre ellos, proyectos para la construcción, operación y mantenimiento de infraestructura hidráulica (Programa Nacional Hídrico, 2020).

En México la historia de la hidráulica se remonta a la época prehispánica, la cual evolucionó de manera significativa a lo largo de los casi 300 años en que México fue colonia de España y la modernización del siglo XX (Conagua, 2009).

Desde esta perspectiva, entender el desarrollo de los proyectos hidráulicos en México requiere conocer los procesos y momentos históricos en que se legisló en torno al agua considerando la administración de los recursos hídricos hasta el día de hoy.

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua, (CONAGUA, 2013), las culturas mesoamericanas contaban con obras hidráulicas para la captación, conducción, almacenamiento y manejo del agua de lluvia para evitar inundaciones; entre los almacenes subterráneos domésticos de mayor antigüedad destacan los de San José Mogote (1000 a.C.) y Tierras Largas (1000-900 a.C.). En lo que respecta al tema que nos ocupa, el manejo pluvial, contaban con jagüeyes.

La mayoría de las antiguas ciudades mesoamericanas contaban con desagües subterráneos que corrían por edificios y patios y en ocasiones se conectaban con redes de acequias y después irrigaban parcelas agrícolas como La Venta (Tabasco) y San Lorenzo Tenochtitlán (Veracruz).

Además, en la época prehispánica se desarrollaron acueductos y sistemas de canales para el manejo integral del agua como en Tenochtitlán (1500 y 500 a.C.) en la cuenca del Valle de México. En esta ciudad se utilizaron alcantarillas, tuberías de barro ensamblado y acueductos subterráneos de piedra basáltica combinando proyectos hidráulicos.

Una de las obras más destacadas para el control de inundaciones en la gran Tenochtitlán fue el Albadarrón de Nezahualcóyotl consistente en un dique para evitar la inundación de la ciudad (CONAGUA, 2013).

A la llegada de los españoles, las innovaciones representaron cambios legislativos en torno a los derechos sobre el agua.

Hacia el siglo XX, la política hidráulica redefinió el papel del Estado en materia de agua para impulsar o fortalecer la participación de la iniciativa privada y de la sociedad en materia de desarrollo económico, pero también buscando gestión y manejo de recursos hídricos y de construcción de obras con programas para el manejo de inundaciones y la modernización de sistemas para riego agrícola (CONAGUA, 2013).

En 1917, con la Constitución, la legislación en torno al agua se definió como competencia federal (Aboites, Aguilar, 1998), el artículo 72 atribuía a las instancias federales la reglamentación de los lagos y ríos navegables y flotables y los lagos y corrientes de agua.

El artículo 27 de la Constitución de 1917 otorgaba a la federación las atribuciones sobre aguas nacionales superficiales (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 1917).

Con respecto a las aguas subterráneas, el artículo 27 de la Constitución preveía que eran atribución del propietario del suelo, con la excepción, de que, si el interés público lo requería, serían reglamentadas por el Ejecutivo Federal.

Posteriormente, en 1948, se definió en el artículo 27 constitucional en materia de aguas del subsuelo y en su Ley Reglamentaria párrafo quinto (Congreso de los Estados Unidos Mexicanos, 1948) que el gobierno federal tendría las atribuciones para legislar las aguas subterráneas; en este sentido, los usuarios de las aguas nacionales tendrían que obtener un título o permiso para su explotación (Rolland y Vega, 2010).

En el periodo de 1945 a 1949 se presentaron sequías intensas y por ello la federación invirtió en la perforación de pozos para el abastecimiento público y para el riego (Aboites y Aguilar, 1998).

Rolland y Vega, 2010 establecen que para finales del siglo XX se realizó un cambio en la gestión de los recursos hídricos. Durante la gestión del presidente Lázaro Cárdenas (1934-1940), México ingresó en la era moderna y se caracterizó por la nacionalización de varios recursos y proteccionismo económico (Guerrero, 1989).

En los años 60's las aguas superficiales se clasificaron en cuencas hidrográficas y se agruparon en 37 regiones hidrológico-administrativas (CONAGUA, 2006); también se clasificaron las aguas subterráneas con 653 acuíferos explotados desde 1945.

En paralelo a lo anterior, el crecimiento demográfico se intensificó desde 1950, desencadenando con ello la sobreexplotación de los recursos hídricos en algunas ciudades,

incrementando la brecha de la distribución espacial en el territorio nacional. De acuerdo con CONAGUA la zona norte presenta el 25 % de las precipitaciones y representa más del 50 % de la superficie total; en el centro existe una precipitación del 27.5 % con una superficie de 22.5 % y en el sur con 27.5 % de superficie se concentra el 49.6 % de las precipitaciones. Es así, que la población tiene acceso a 32 % de los recursos hídricos renovables del país (CONAGUA, 2005).

En 1983 se especificó en el artículo 115 de la Constitución que los servicios estarían bajo la responsabilidad de los municipios. Lo anterior debía prever las disparidades de capacidad administrativa y financiera que a la fecha han incrementado la brecha entre el acceso a los servicios con calidad y cantidad (Gaytán, 2018).

En materia de aguas, se definió que la prestación de servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento estarían a cargo de gobiernos municipales y sólo los cauces de carácter federal estarían a cargo de la federación.

En 1989 se creó la Comisión Nacional del Agua, organismo federal para la administración y gestión de las aguas nacionales (Biswas, 2003). Este órgano desconcentrado se facultó para administrar y preservar las aguas nacionales con el objetivo de lograr el desarrollo sustentable.

En 1992 se promulgó la Ley de Aguas Nacionales (Congreso de los Estados Unidos Mexicanos, 1992) que estableció atribuciones a los gobiernos estatales para la gestión del agua, estando facultados para emitir sus leyes para agua potable, drenaje y saneamiento y establecer las tarifas asociadas a la prestación de los servicios.

En virtud de lo anterior, a la fecha, el control de inundaciones corresponde a los municipios y en el caso de cauces federales a la federación. En Reynosa, por su magnitud y por la descarga del drenaje pluvial a un cuerpo federal (río Bravo) podría entenderse que es una atribución coordinada de los tres órdenes de gobierno, considerando la clasificación de los drenes.

El presente estudio se centra en evaluar la factibilidad económica para realizar un proyecto hidráulico consistente en obras estructurales para mitigar las inundaciones en la ciudad de Reynosa, Tamaulipas.

I.4 Evaluación de proyectos sociales

Un proyecto de inversión social surge con el propósito de dar solución a una necesidad no satisfecha que se traduce en un problema para el desarrollo económico y social de un Estado o localidad; derivado de que su inexistencia representa afectaciones que se pueden cuantificar y son absorbidas por la sociedad (Castañeda, 2010).

Por esta razón, un proyecto de inversión social busca contribuir a mejorar las condiciones y la calidad de vida de la sociedad para evitar que tenga que absorber los costos de la inexistencia del proyecto y pueda mejorar su calidad de vida, asociando con ello a una mejora en la sociedad y en la economía de esa sociedad.

Lo anterior nos indica que un proyecto de inversión social, al buscar resolver un problema, únicamente debe implementarse ante la existencia de una problemática y por ello el primer paso consiste en estudiar la situación actual y el diagnóstico de las condiciones y efectos que se ocasionan y dan lugar al proyecto.

La definición del problema es identificar a través de un diagnóstico de la situación actual, costos o efectos negativos presentes y crecientes a través del tiempo.

Una vez identificados los problemas y/o causas que determinan la necesidad de llevar a cabo un proyecto de inversión para solucionar una problemática social; se estudian las posibles soluciones o alternativas que permitan mitigar o solucionar la problemática presentada.

Al establecer alternativas de solución, se llevan a cabo análisis para determinar la más conveniente; pudiendo analizar factores como el costo, el tiempo, la necesidad de la población, la dificultad de su implementación, los factores de insumos disponibles en el mercado, entre otras.

Las alternativas deben contemplar la mayoría de las soluciones de proyecto técnica y económicamente factibles, para seleccionar la mejor en términos de beneficio para una sociedad.

Finalmente, se realiza la evaluación del proyecto social, en función de la alternativa seleccionada que consiste en identificar, cuantificar y valorar los costos y beneficios atribuibles al proyecto de beneficio social, para poder apoyar la toma de decisiones óptima, fundamentada en un juicio objetivo y técnico sobre la conveniencia de llevarlo a cabo.

La inversión pública local en servicios públicos e infraestructura representa una contribución relevante para el desarrollo económico y social; permite interacciones económicas, crea empleos, mejora la calidad de vida, impulsa el desarrollo social, fomenta las actividades productivas, la creación de nuevas actividades y genera una mejor infraestructura y servicios públicos.

Para llevar a cabo las inversiones se requiere del empleo de recursos económicos, los cuales son escasos y las necesidades de inversión ilimitadas; por ello es fundamental que exista una evaluación y optimización de los recursos para que se realicen con el mínimo de recursos y la mayor calidad e impacto socioeconómico y así priorizar y evaluar sobre la conveniencia.

Los proyectos que se llevan a cabo con recursos públicos generalmente llevan implícita la solución o mitigación de una problemática social, la cual responde a una necesidad y a la incorporación de un beneficio social de llevarse a cabo.

En este sentido, evaluar de forma socioeconómica, constituye a evaluar la conveniencia de llevar a cabo proyectos o acciones que contribuyan a un beneficio social.

La evaluación socioeconómica de proyectos es, entonces, una herramienta de planeación que consiste en identificar, cuantificar y valorar los costos y beneficios atribuibles a un proyecto que impacten a la sociedad. Es por ello que tienen como objetivo el mejoramiento de la calidad de la inversión pública.

Para poder evaluar un proyecto de beneficio social, se utiliza la tasa social de descuento; que mide la tasa a la cual una sociedad está dispuesta a cambiar consumo presente por consumo futuro como costo de oportunidad del uso de los recursos en el tiempo en el que incurre un Estado cuando utiliza recursos para financiar sus proyectos. Es decir, es el patrón de consumo o ahorro de una sociedad en un momento determinado o el valor en el tiempo que se asigna a la inversión, la cual es equivalente a una tasa de inversión o crédito en función del tiempo para el cálculo del valor presente neto, en virtud de un horizonte de evaluación en proyectos privados.

La tasa social de descuento es un parámetro administrativo constante, no reconoce los cambios de las preferencias sociales en el tiempo; la fija la Secretaría de Hacienda y Crédito Público y a la fecha de elaboración del presente estudio es de 10 %.

Hoy en día, no se identifica un consenso para medir y establecer la tasa social de descuento (Campos, Serebirsky y Suárez-Alemán, 2015); sin embargo se emprenden acciones para reevaluar a la tasa social de descuento como instrumento de análisis de la eficiencia y equidad intergeneracional de inversión pública, entre ellas: el enfoque de la tasa social de preferencia intertemporal, el enfoque de costo de oportunidad social del capital y el enfoque combinado de promedio ponderado (Harberger, 1972).

Lo anterior ha redundado en mejoras significativas, pero aún existen ineficiencias para evaluar proyectos con componentes de externalidad que el mercado no refleja o con efectos a muy largo plazo como los proyectos de infraestructura de drenaje pluvial.

En este sentido, se deben buscar parámetros que reflejen con mayor precisión los impactos de la inversión pública, pues a la fecha no se incorporan las preferencias sociales a lo largo del tiempo para las decisiones de inversión (Castillo y Donald, 2021).

Una evaluación costo beneficio, es la principal herramienta que se emplea para poder determinar la factibilidad económica de proyectos de inversión pública; la cual es impulsada y normada por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público para la optimización del gasto público, con esquemas para procurar la mejora en la administración racional de los recursos públicos.

Para lograrlo, se ha establecido en la normatividad como requisito para efectuar determinados proyectos de inversión pública, la elaboración de análisis costo-beneficio para medir su rentabilidad socioeconómica. En este sentido, el Gobierno Federal determina indispensable llevar a cabo el análisis costo beneficio y registrarlo en la Cartera Pública de Inversión que integra la SHCP, los cuales son analizados por la Comisión Intersecretarial de Gasto y Financiamiento, la cual es la encargada de determinar la prelación para incluirlos en el proyecto de Presupuesto de Egresos y el orden para ejecutarlos; observando criterios como rentabilidad socioeconómica, reducción de la pobreza extrema, desarrollo regional y concurrencia con otros programas y proyectos de inversión.

Derivado de lo anterior y de la gran importancia que tienen las inversiones en servicios públicos para elevar el bienestar y riqueza de las localidades, los costos que implican y la disponibilidad de recursos limitada, se recomienda que antes de invertir en un proyecto público se lleve a cabo un análisis de la inversión que tenga como objetivo estimar los costos y beneficios que impactarán en la sociedad; lo anterior para corroborar el valor con el que contribuirán al desarrollo socioeconómico del lugar donde se pretenda ejecutar; la que se verifica como rentabilidad socioeconómica de la inversión. Lo anterior, contribuye directamente a la optimización de los recursos y a la mejora en la calidad del gasto.

I.5 Metodología

Costo beneficio

Metodología cuantitativa en donde se determinará un modelo conceptual con propuestas estructurales para mitigar los riesgos por inundaciones de la cuenca del Dren Anheló y la laguna La Escondida y se realizarán los cálculos de los costos y beneficios sociales de 2 alternativas para conocer la factibilidad de implementar el proyecto, pero también, considerará las ventajas que ofrece la metodología para la evaluación de este tipo de proyectos.

La metodología consiste en la obtención de la hidrología de la zona para determinar la cantidad de agua a desalojar y la utilización de un modelo hidráulico unidimensional de

simulación para evaluar las condiciones de desalojo del agua pluvial en la actualidad, las cuales, en su conjunto permitan establecer la oferta y la demanda.

Una vez obtenida la oferta y la demanda, se propondrán dos alternativas de acciones estructurales para mitigar las afectaciones por inundaciones a la población y se llevará a cabo un comparativo entre ellas que permita seleccionar la más adecuada.

La alternativa que se considere técnica y económicamente más adecuada será evaluada utilizando la metodología costo beneficio para proyectos públicos de inversión en México, conforme a los *Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión (en adelante lineamientos)*, publicados en el Diario Oficial de la Federación el lunes 30 de septiembre de 2013 por la Unidad de Inversiones de la Subsecretaría de Egresos de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

Esta metodología consiste en determinar los indicadores de rentabilidad de un proyecto para conocer si se genera un beneficio social y tiene como base las siguientes ecuaciones y fórmulas:

Ecuaciones y fórmulas para el cálculo de los indicadores de rentabilidad del análisis de acuerdo con los lineamientos establecidos por la SHCP

- a) Valor Presente Neto (VPN/VAN) El VPN es la suma de los flujos netos anuales, descontados por la tasa social. Para el cálculo del VPN, tanto los costos como los beneficios futuros del programa o proyecto de inversión son descontados, utilizando la tasa social para su comparación en un punto en el tiempo o en el "presente". Si el resultado del VPN es positivo, significa que los beneficios derivados del programa o proyecto de inversión son mayores a sus costos. Alternativamente, si el resultado del VPN es negativo, significa que los costos del programa o proyecto de inversión son mayores a sus beneficios.

La fórmula del VPN es

$$VPN = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + r)^t}$$

Donde B_t: son los beneficios totales en el año t

C_t: son los costos totales en el año t

B_t-C_t: flujo neto en el año t

n: número de años del horizonte de evaluación

r: es la tasa social de descuento

t: año calendario, en donde el año 0 será el inicio de las erogaciones

- b) Tasa Interna de Retorno TIR

La TIR se define como la tasa de descuento que hace que el VPN de un programa o proyecto de inversión sea igual a 0. Esto es económicamente equivalente a encontrar el punto de equilibrio de un programa o proyecto de inversión, es decir, el valor presente de los beneficios netos del programa o proyecto de inversión es igual a 0 y se debe comparar contra una tasa de retorno deseada.

La TIR se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$VPN = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + TIR)^t}$$

Donde B_t: son los beneficios totales en el año t

C_t: son los costos totales en el año t

B_t-C_t: flujo neto en el año t

n: número de años del horizonte de evaluación

TIR: Tasa Interna de Retorno

t: año calendario, en donde el año 0 será el inicio de las erogaciones

Es importante resaltar que no se debe usar la TIR por sí sola para comparar alternativas de un programa o proyecto de inversión, ya que puede existir un problema de tasas internas de rendimiento múltiple. Las tasas internas de rendimiento múltiple ocurren cuando existe la posibilidad de que más de una tasa de descuento haga que el VPN sea igual a 0.

c) Tasa de Rendimiento Inmediata (TRI)

La TRI es un indicador de rentabilidad que permite determinar el momento óptimo para la entrada en operación de un programa o proyecto de inversión con beneficios crecientes en el tiempo. A pesar de que el VPN sea positivo, para que el programa o proyecto de inversión, en algunos casos puede ser preferible postergar su ejecución.

La TRI se calcula como:

$$TRI = \frac{B_{t+1} - C_{t+1}}{I_t}$$

Donde:

B_{t+1} : es el beneficio total en el año t+1

C_{t+1} : es el costo total en el año t+1

I_t : monto total de la inversión valuado al año t (inversión acumulada hasta el periodo t)

t: año anterior al primer año de operación

t+1: primer año de operación

El momento óptimo para la entrada en operación de un proyecto, cuyos beneficios son crecientes en el tiempo, es el primer año en que la TRI es igual o mayor que la tasa social de descuento.

d) Costo Anual Equivalente (CAE)

El CAE es utilizado frecuentemente para evaluar alternativas del programa o proyecto de inversión que brindan los mismos beneficios; pero que poseen distintos costos y/o distinta vida útil. El CAE es la anualidad del valor presente de los costos relevantes menos el valor presente del valor de rescate de un programa o proyecto de inversión, considerando el valor de rescate de un programa o proyecto de inversión, considerando el horizonte de evaluación de cada una de las alternativas. El CAE puede ser calculado de la siguiente manera:

$$CAE = VPC \frac{r(1+r)^m}{(1+r)^m - 1}$$

Donde:

VPC: es el valor presente del costo total del proyecto de inversión (debe incluir la deducción del valor de rescate del programa o proyecto de inversión).

r: indica la tasa social de descuento

m: indica el número de años de vida útil del activo

El VPC debe calcularse como:

$$VPC = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

C_t : costos totales en el año t

r: es la tasa social de descuento

t: año calendario, en donde el año 0 será el inicio de las erogaciones

n: número de años del horizonte de evaluación

La alternativa más conveniente será aquella con el menor CAE. Si la vida útil de los activos bajo las alternativas analizadas es la misma, la comparación entre ellas se realizará únicamente a través del valor presente de los costos de las alternativas.

CAPÍTULO II

Análisis costo beneficio, caso de aplicación

II.1 Resumen ejecutivo

II.1.1 Nombre del programa o proyecto de inversión

Evaluación costo-beneficio de una propuesta conceptual para mitigar inundaciones en el sistema Dren Anheló en Reynosa, Tamaulipas.

II.1.2 Localización

La propuesta de proyecto evaluado se desarrolla en la ciudad de Reynosa, Tamaulipas en las coordenadas que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 1 Coordenadas de localización de proyecto, Reynosa, Tamaulipas.

Coordenadas			
Inicio		Fin	
Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
26° 2'34.80"N	98°20'7.69"O	26° 3'43.94"N	98°14'58.91"O

II.1.3 Monto total de inversión

La inversión necesaria para llevar a cabo las obras propuestas para mitigar las inundaciones en la ciudad de Reynosa, Tamaulipas es de \$ 478,745,014.93.

Tabla 2 Costos de inversión del proyecto

No.	Descripción	Costo
1	Ampliación de la capacidad de la infraestructura hidráulica para el desalojo de agua del sistema de la cuenca asociada a la laguna La Escondida y el Dren Anheló.	\$ 478,745,014.93.
	IVA	\$76,599,202.39
	Total	\$555,344,217.32

En lo sucesivo, se realiza una propuesta conceptual y su evaluación a nivel de perfil conforme a los lineamientos de los análisis costo beneficio publicados por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público SHCP vigentes.

Posteriormente deberán realizarse los proyectos ejecutivos con las especificaciones de la cantidad de obra, detalles y planos aplicables; así como las factibilidades que correspondan conforme a la normatividad.

II.1.4 Objetivo del programa o proyecto de inversión

Mejorar la calidad de vida de los habitantes de Reynosa, mitigar los riesgos por inundaciones y reducir los daños a la infraestructura de vivienda, comercial, industrial y pública; a los bienes muebles; mejorar la movilidad ante inundaciones, evitar la proliferación de enfermedades gastrointestinales y los focos de infección, reducir la depreciación de los predios y reducir los costos por reparaciones.

II.1.5 Problemática identificada

Inundaciones en la cuenca asociada al sistema de drenaje Anhelito provocadas por la capacidad limitada de la infraestructura de drenaje pluvial existente para captar, conducir y desalojar el agua de lluvia y por la gran cantidad de lluvia que se genera en la cuenca en periodos cortos de tiempo que generan daños a la infraestructura, afectan al desarrollo, a la economía y a la calidad de vida en Reynosa.

En este sentido, el problema se traduce en que existe una oferta menor que la demanda.

II.1.6 Principales características

El presente estudio se centra en la propuesta de ampliación de la capacidad de la infraestructura hidráulica.

Con base en estudios hidrológicos se determina la demanda de agua a desalojar y con ayuda del tránsito de avenidas a través de modelaciones hidráulicas y las características geométricas de la infraestructura actual se determina la oferta y su interacción con la demanda. Una vez establecidas la oferta y la demanda actuales, se proponen soluciones que permitan atender la demanda de desalojo, consistentes en la ampliación de la capacidad actual, lo cual se verifica nuevamente con modelaciones hidráulicas; se realiza la cuantificación de los costos y se plantea la evaluación socioeconómica a nivel perfil.

A continuación, se describen las acciones propuestas para solucionar la problemática:

- Elevar los bordos de la laguna La Escondida a lo largo de 9 km de perímetro con material de tablaestacado metálico y una altura promedio de 3.5 m a partir de la cota más baja de la laguna.
- Ampliar el Dren el Anhelito aguas abajo de la laguna la Escondida y revestirlo con concreto reforzado conformando un canal con geometría rectangular de 30 m de base, y altura de 3 m, en una longitud de 2.8 km.
- Elevar los bordos del dren Santa Anita 1.5 m con concreto reforzado a lo largo de 1 km.

II.1.7 Horizonte de evaluación

Para llevar a cabo la ejecución de este proyecto se requieren inversiones en el año fiscal 2023. Conforme a la programación de los recursos y los procesos de licitación sería susceptible de iniciarse en marzo de 2023 y concluir en diciembre de 2023. Es indispensable que antes de programar la construcción de las obras, se lleve a cabo la elaboración de los proyectos ejecutivos.

Por otro lado, respecto a la operación y mantenimiento, derivado de que la operación de los drenes se realiza por gravedad, no se generan costos por energía eléctrica que se consideren en esta propuesta de solución.

Únicamente se requiere de limpieza, desazolve y algunas reparaciones a lo largo del horizonte de planeación, el cual, de acuerdo con el tipo de obra y materiales a emplear, se considera que tiene una vida útil de 30 años.

II.1.8 Identificación y descripción de los principales costos y beneficios

Respecto a los beneficios, se identifica que la ampliación de la capacidad de desalojo, en este caso, el incremento de la oferta de drenaje pluvial permitirá reducir los daños que se traducen en impactos económicos y de bienestar a 13,602 mil viviendas, en las cuales habitan del orden de 50,523 personas que son afectadas directamente. A ello se suma el beneficio por movilidad y desarrollo económico de la zona, la salud pública y los accidentes, entre otros, que al tener numerosos factores para su cuantificación y cálculo se considerarán cualitativos.

De acuerdo con la probabilidad de que exista un suceso de inundación, se evaluaron periodos de retorno de 10 años (10% conforme al Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento publicado por la Comisión Nacional del Agua; el cual, establece ese periodo de retorno para diseño de redes de drenaje pluvial para poblados medianos de entre 100,000 y 1,000,000 de habitantes), es decir, que suceda el evento una vez cada diez años y se obtuvieron los tirantes de inundación que serían susceptibles de afectar a la población, obteniendo que el total de los daños anuales estimados sin la realización del proyecto es de \$456,022,078.87.

Los empleos que generará la obra se observan en la siguiente tabla:

Tabla 3 Empleos asociados a la ejecución del proyecto

Tipo de empleo	No.
Directo en el sitio de construcción	280
Empleos Administrativos	22
Supervisión de obra	13
Total	315

II.1.9 Indicadores de rentabilidad

El proyecto genera los siguientes indicadores de rentabilidad:

Tabla 4 Indicadores de rentabilidad

Indicador	Valor (\$) Precios
VA Beneficios	\$3,908,073,756.85
VA Costos	\$449,182,360.03
VAN	\$3,458,891,396.82
TIR	94.91%
TRI	104.40%

II.1.10 Principales riesgos asociados a la ejecución y operación

Se identifican los siguientes riesgos

Tabla 5 Riesgos asociados a la ejecución y operación del proyecto

Riesgo	Impactos	Probabilidad	Medidas de mitigación
Incrementos significativos en el costo de inversión de las obras.	Insuficiencia del presupuesto y retraso en la ejecución del proyecto. Baja en la rentabilidad del proyecto	Los análisis de sensibilidad muestran que, para alcanzar una rentabilidad cero, se tendrían que incrementar los costos de inversión hasta un 795%, lo que se considera poco probable.	Revisar los precios unitarios, para asegurarse que están correctamente realizados y elaborar los proyectos ejecutivos de las obras.
Que el nivel en que se mitiguen inundaciones sea considerablemente menor al planeado	Reducción en los daños evitados. Baja en la rentabilidad del proyecto	Los análisis de sensibilidad sobre la posible disminución de los beneficios indican que tendrían que reducirse al 11% para llegar al 10% de rentabilidad	Realizar el proyecto ejecutivo y simular con las dimensiones y características finales las avenidas calculadas en el estudio hidrológico.
Oposición a la ejecución del proyecto por grupos sociales	Que las obras se retrasen o sufran modificaciones importantes	Media. Existe una clara percepción de la sociedad de la ciudad de Reynosa, sobre los problemas generados por las deficiencias del drenaje pluvial	Realización de campañas de socialización de las obras.
Oposición para la obtención de facilidades para la utilización de terrenos de uso público y privado	Que las obras se retrasen o sufran modificaciones importantes	Baja. La obra se desarrolla en terrenos estatales y federales, por lo que no se utilizarán terrenos privados.	Verificar que el trazo de las obras se realice por terrenos de propiedad federal, estatal o municipal.

II.1.11 Conclusión de la rentabilidad

El proyecto presenta una TIR del 94.91%, superior en 84 puntos porcentuales a la tasa de descuento considerada (10%) establecida por la SHCP. El VPN es de 3,458.8 mdp, lo que indica que el proyecto es rentable y además, los análisis de sensibilidad reflejan que el proyecto no es sensible a los cambios de inversión, ejecución y costos de mantenimiento, por lo que podría considerarse recomendable su ejecución.

II.2 Situación Actual del Programa o Proyecto de Inversión

Diagnóstico de la situación actual que motiva la realización del proyecto, resaltando la problemática que se pretende resolver

La Ciudad de Reynosa es fronteriza con Estados Unidos de América y engloba a la zona metropolitana Reynosa-Río Bravo con el área metropolitana Reynosa-McAllen, la tercera zona metropolitana transnacional más poblada entre la frontera de México y Estados Unidos con 1.6 millones de habitantes, después de Ciudad Juárez y Tijuana, (INEGI 2020).

A lo largo de las últimas décadas, Reynosa ha tenido un crecimiento poblacional exponencial:

Tabla 6 Riesgos asociados a la ejecución y operación del proyecto

Año	Población	Tasa de crecimiento
1930	12,346	0%
1940	23,137	87%
1950	69,428	200%
1960	134,869	94%
1970	150,786	12%
1980	211,412	40%
1990	282,667	34%
2000	420,463	49%
2010	608,891	45%
2020	702,690	15%

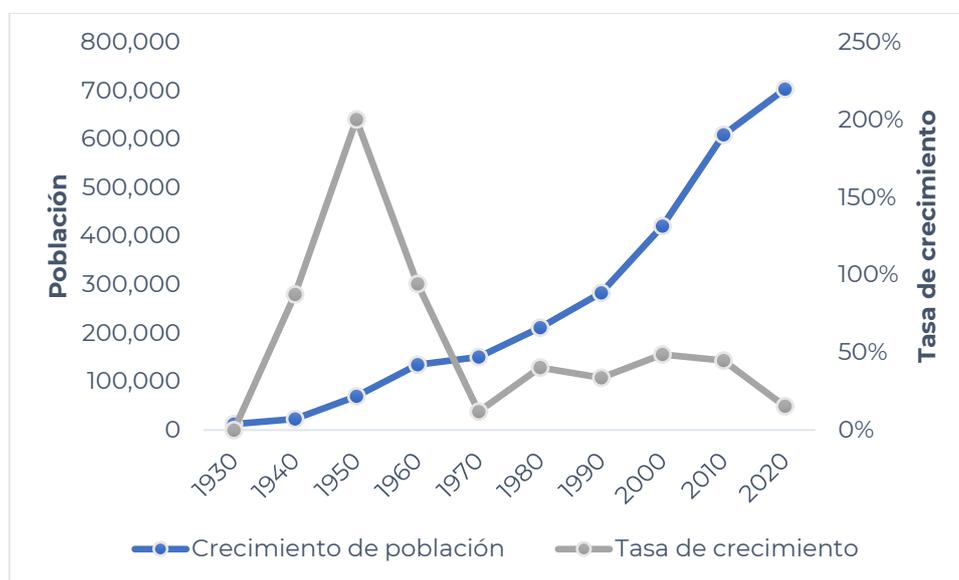


Figura 1 Población y tasa de crecimiento INEGI, CONAPO 2020

Como se observa, el municipio de Reynosa tuvo un crecimiento del 87% de 1930 a 1940 y continuó su tendencia con el 200 % de crecimiento de 1940 a 1950 para continuar creciendo en menor medida en los años subsecuentes, pasando de 282,667 habitantes a 702,690 habitantes en los últimos 30 años con un crecimiento del 149 %. Lo anterior implicó que la

población creciera de forma desordenada y se estableciera en zonas cercanas a los ríos, sin una planeación en torno a los sistemas de drenaje o zonas de inundación naturales.

Es por ello, que, además de conocer la distribución temporal, es fundamental conocer la distribución espacial.

En la siguiente figura se observa la infraestructura de drenaje de Reynosa.

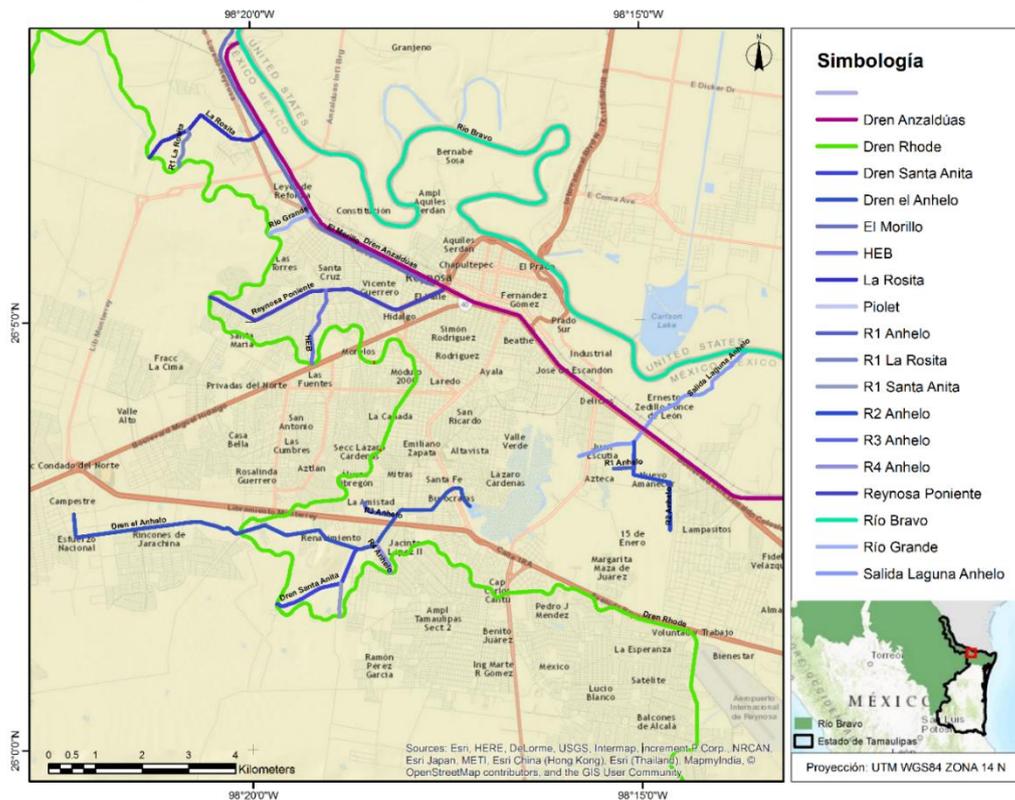


Figura 2 Infraestructura hidráulica de Reynosa, IMTA 2018

Desde los años cincuenta la ciudad quedó delimitada en su crecimiento por el río Bravo y el dren Anzaldúas al norte, el dren Rhode al sur y zonas planas lagunarias dentro del Distrito de Riego 026 al oriente.

En este sentido, esta ciudad se estableció entre el canal Anzaldúas y el río Bravo, en donde existieron inundaciones locales asociadas a las crecidas del río. Esta zona se caracteriza por una topografía elevada que le permitió hacer frente a lo anterior.

En los años noventa, al no existir mayor disponibilidad de tierra al norte, la población se extendió hacia el sur, concentrando parques industriales, comercios y hoteles. Esta zona creció y se expandió hacia las tierras lagunarias en la parte baja, que se inundan con frecuencia al presentarse precipitaciones.

En las siguientes figuras se observa el crecimiento poblacional asociado a su distribución espacial:

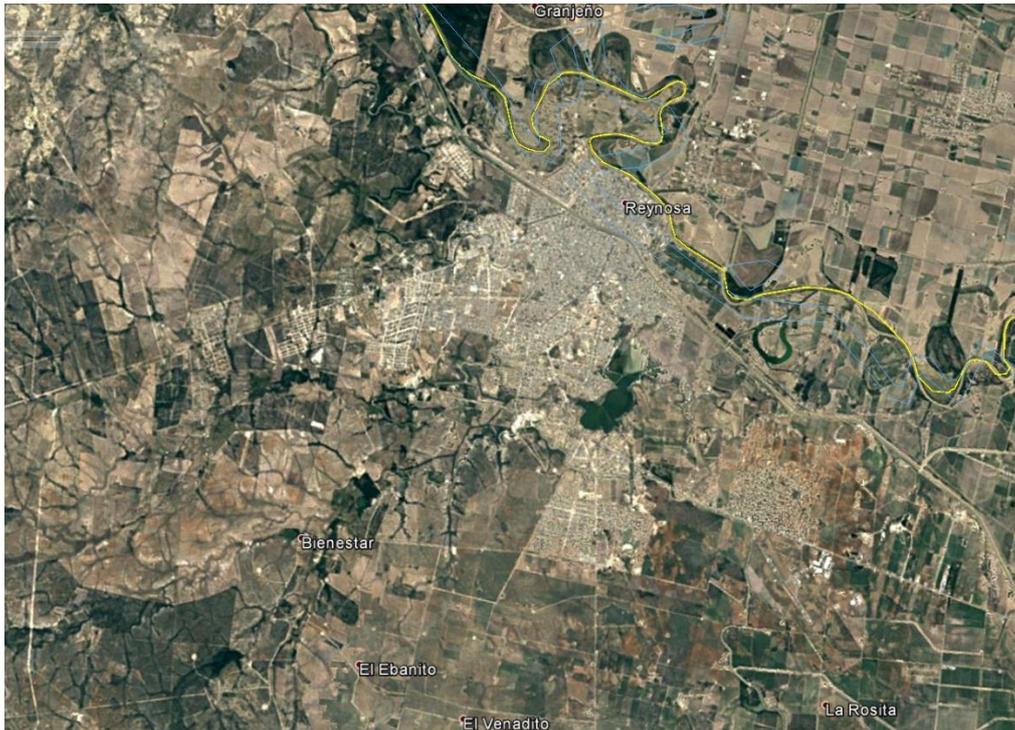


Figura 3 Imagen satelital de Reynosa en 1984, Google Earth

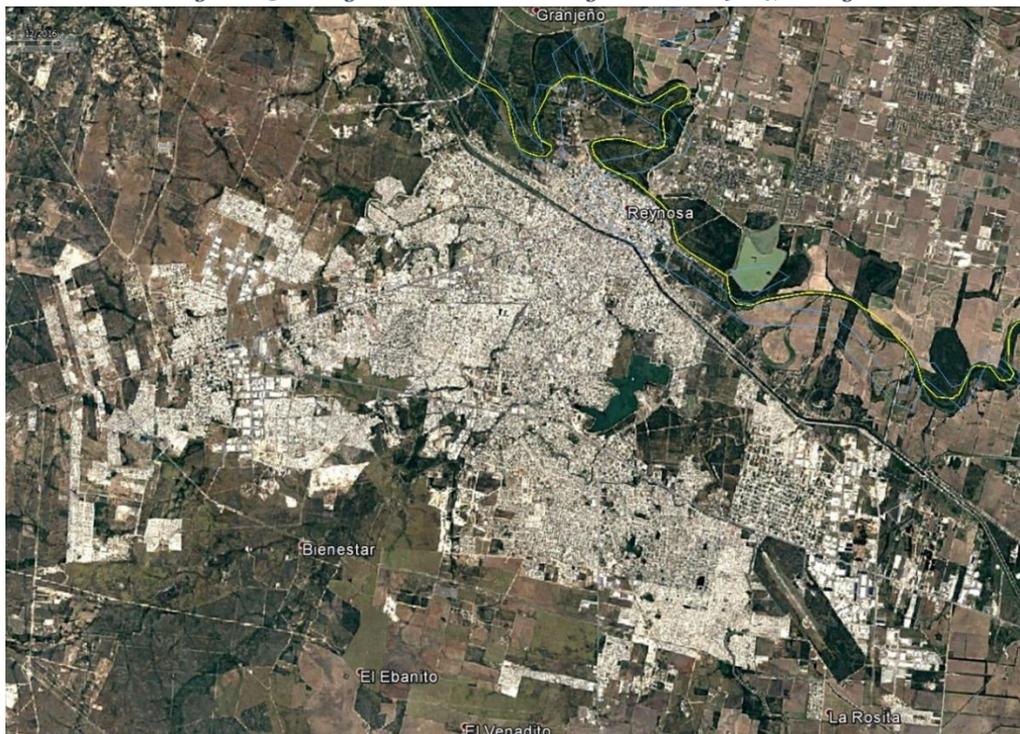


Figura 4 Imagen satelital de Reynosa en 2022, Google Earth

Asociado a lo anterior, de acuerdo con datos del Consejo Nacional de Población 2020, se espera un crecimiento promedio anual de alrededor de 1%.

Como se menciona en apartados precedentes, la ciudad de Reynosa presenta problemática de inundaciones debido a su localización geográfica, situación que se agrava con la topografía plana que presenta, y la falta de capacidad del sistema de drenaje pluvial; el cual es complejo e interactúa con drenes y canales de riego, así como con el Río Bravo, siendo insuficiente ante precipitaciones intensas.

A lo anterior, se suma el crecimiento urbano, el cual se presentó de forma exponencial en las últimas décadas y su distribución espacial generó que se presentaran asentamientos poblacionales en zonas de inundación.

El crecimiento poblacional y la urbanización generaron cambios en la capacidad de infiltración de escurrimientos al subsuelo. Estas modificaciones artificiales consistentes en el cambio de pastizales a calles pavimentadas, propiciaron un cambio en el comportamiento de los escurrimientos y en la respuesta hidrológica de la cuenca, es decir, en el tiempo de concentración de los escurrimientos pluviales a lo largo de su recorrido por los cauces y en el incremento de la lluvia efectiva: ahora se infiltra menos agua al subsuelo por la reducción de la superficie de infiltración y escurre con mayor rapidez hacia las zonas bajas. Lo anterior, representa un incremento de la demanda de servicios de drenaje pluvial, además del incremento de la demanda generada por la propia población.

En Reynosa, los cauces se encuentran rodeados por infraestructura. En particular por edificaciones, viviendas, puentes y vialidades, y, además, presentan obstáculos naturales que generan que los escurrimientos no puedan ser desalojados como fue planeado.

Para evidenciar la problemática se obtuvieron datos del Atlas Nacional de Riesgos elaborado por el CENAPRED (CENAPRED, s.f.), donde, al contrastarlo con información del inventario de viviendas del INEGI en la cuenca asociada al Sistema del Dren Anhelito y a la Laguna La Escondida 13,602 viviendas se afectan de forma directa.

Entre las zonas con mayores afectaciones se encuentran las colonias Revolución Verde, Delicias Ampliación, Presa la Laguna, Juan Escutia, Ernesto Zedillo, Nuevo Amanecer, Azteca, Lomas del Villar, Lázaro Cárdenas, Leal Puente I, Roma, La Amistad, entre otras; incluyendo vías de comunicación primarias como el libramiento Monterrey-Matamoros, entre otras.

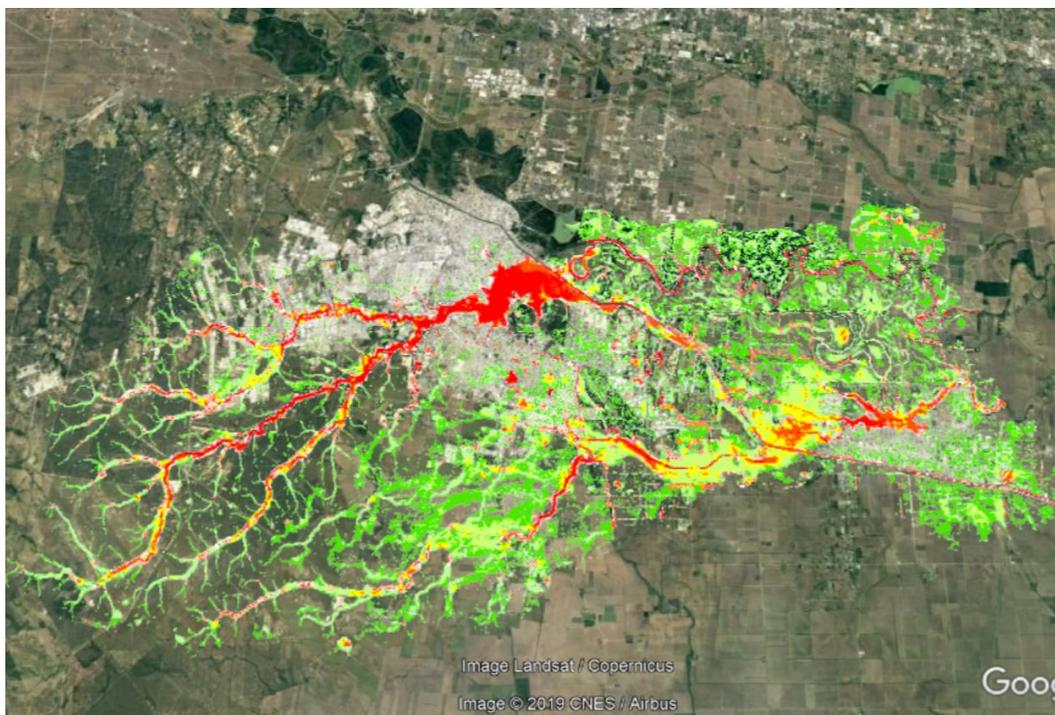


Figura 5 Riesgos por inundaciones, Atlas Nacional de Riesgos, CENAPRED

El Dren Anhelito se construyó para desalojar el agua del Distrito de Riego 026.

A lo largo de los años se ha demostrado que han existido inundaciones que afectan a la población, las comunicaciones, el transporte, la salud pública, el comercio y la economía, entre otros.

Ejemplo de ello han sido las inundaciones de 2006, 2015, 2016, 2018, 2019 y 2020.



Figura 6 Inundación 2015, Reynosa, Tamaulipas. Expreso Press, Uresti, 2015.



Figura 7 Inundación 2016, Reynosa, Tamaulipas. Televisa, 2016.



Figura 8 Inundación 2018, Reynosa, Tamaulipas. La Verdad, 2018.



Figura 9 Inundación 2018, Reynosa, Tamaulipas. Televisa, 2018.



Figura 10 Inundación 2019, Reynosa, Tamaulipas. Foro TV, 2019.



Figura 11 Inundación 2020, Reynosa, Tamaulipas. El debate, 2020.

Ejemplos recientes, son los sucesos ocurridos el 20 de junio de 2018, el 26 de junio de 2019 y el 27 de julio de 2020, coincidiendo que los eventos se presentan en los meses del inicio de temporada de lluvias.

Lo anterior revela la urgente necesidad de llevar a cabo acciones que permitan mitigar esta problemática: han sucedido casos en años consecutivos.

En 2018 se inundaron al menos 22 colonias incluyendo avenidas principales; considerando daños en viviendas, bienes muebles y los daños económicos y de afectaciones al comercio y comunicaciones, por mencionar algunos (Peña, 2018).

En 2019 se inundaron 56 colonias con tirantes de hasta 50 cm, es decir el 14 % de éstas, considerando que Reynosa se compone de 400 colonias principales, siendo necesaria la implementación del Plan DNIII del Ejército y una declaratoria de emergencia del FONDEN, el agua fue desalojada mediante bombeo con duración de hasta 3 días en las calles (ForoTV, 2019).

En 2020, durante la ocurrencia de la tormenta tropical Hanna, se presentaron dos decesos humanos asociados a las inundaciones y se afectaron 55 colonias (Noticias Monterrey, 2020).



Figura 12 Causas de inundaciones en Reynosa

II.3 Análisis de la Oferta o infraestructura existente

El sistema de drenaje pluvial de Reynosa se puede dividir en subsistemas. El que presenta las mayores afectaciones y tiene el mayor índice de riesgo conforme al CENAPRED, es el que se asocia a la cuenca del dren Anhelo, el dren Santa Anita y a la Laguna La Escondida y por ello, este trabajo se centra en analizar este subsistema.

El subsistema escurre desde el sur por los drenes Anhelo y Santa Anita hacia la Laguna y finalmente descarga hacia un afluente del Río Bravo.

En la siguiente figura se puede observar la delimitación de la cuenca de aportación, la cual se realizó utilizando la topografía, en particular, el modelo digital de elevaciones con que cuenta INEGI. El modelo se procesó mediante el software ArcGis para obtener la cuenca.

Todos los escurrimientos o interacciones que se dan dentro de esta cuenca tendrán como infraestructura de drenaje el subsistema y su desalojo en el río Bravo.

La línea roja punteada indica las subcuencas en las que se puede dividir el subsistema y en azul se muestran los cauces que aportan al mismo. En negro se observan los drenes y canales existentes para el resto de los sistemas de drenaje pluvial con que cuenta la ciudad.

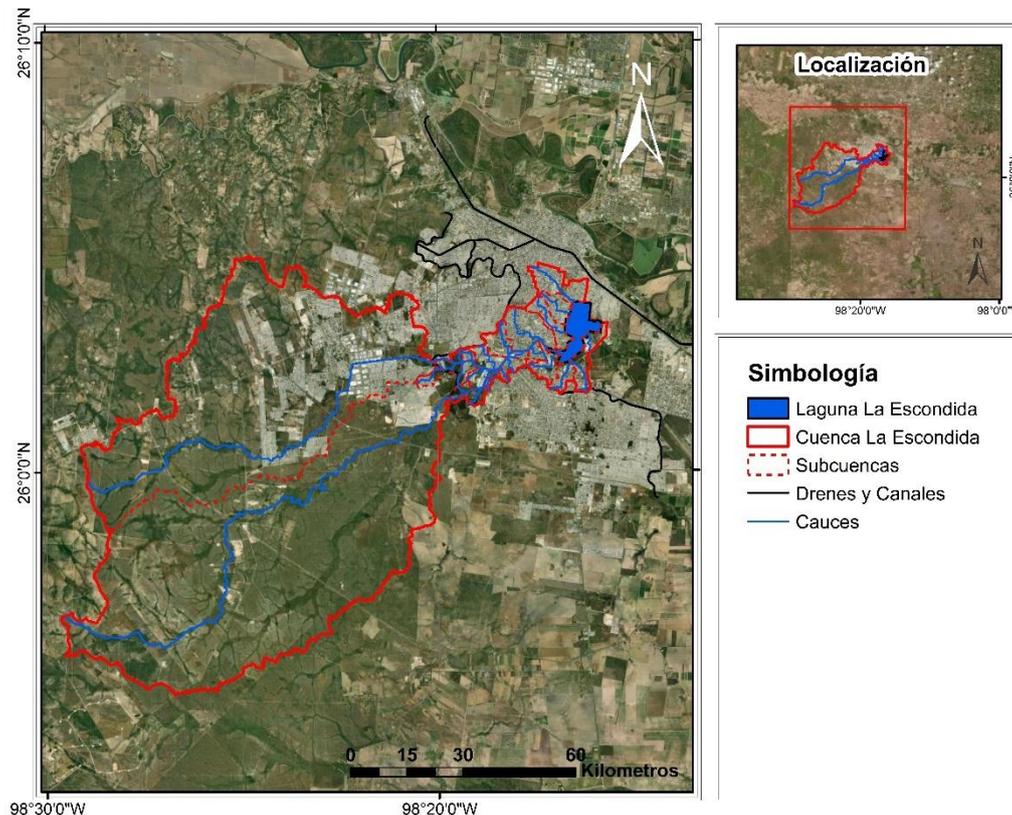


Figura 13 Delimitación del subsistema de estudio e infraestructura existente (oferta)

En este sentido, la oferta en la cuenca de estudio consiste en la Laguna La Escondida, el Dren Santa Anita y el Dren El Anhelo, como se observa en la siguiente figura:

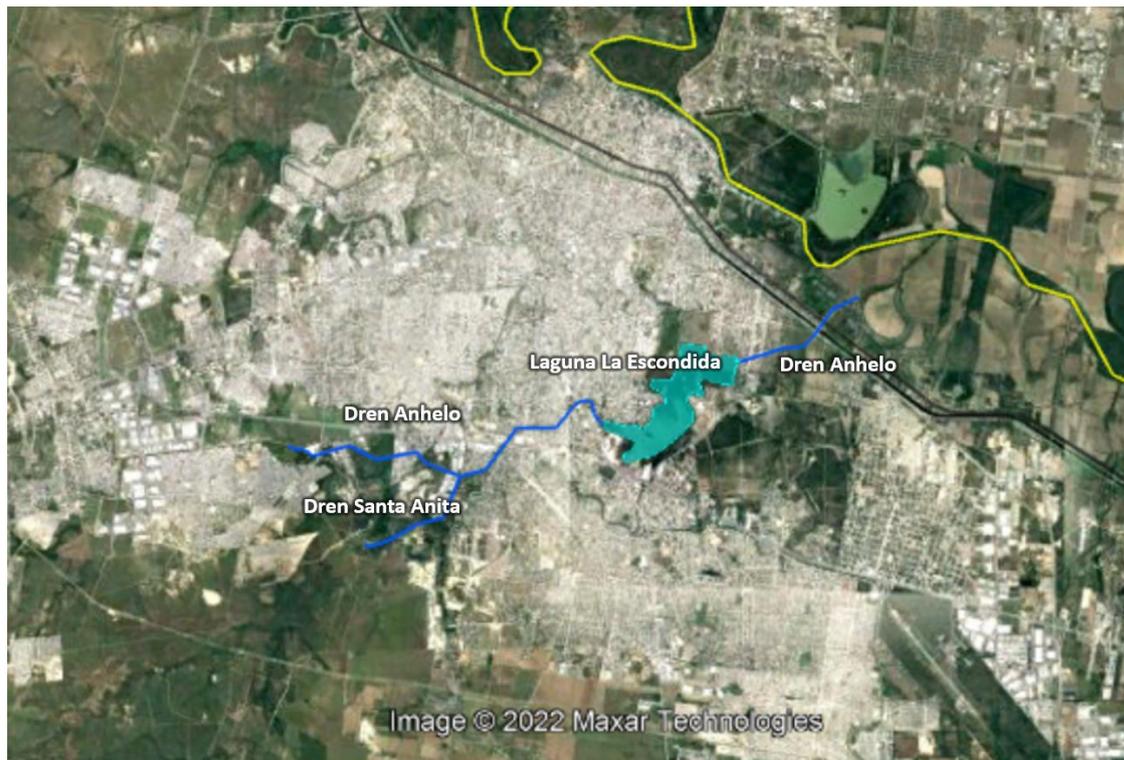


Figura 14 Oferta existente en el subsistema de la Cuenca de estudio

Para determinar numéricamente la oferta del sistema en estudio, se construyó un modelo hidráulico y se transitó el caudal máximo que puede contener cada dren o canal sin presentar desbordamientos a través del software SWMM. Se determinaron los siguientes puntos de control:



Figura 15 Laguna La Escondida, Dren Santa Anita y Dren Anhele aguas arriba y abajo de la Laguna La Escondida y determinación de puntos de control

Tabla 7 Capacidades hidráulicas del Subsistema

Punto de control	Capacidad hidráulica - Oferta (m³/s)
A1-A2	52.2
A2-A3	48.4
A3-A4	40.5
A4-LE	47.2
LE	87.3
A5-descarga	25.5
SA1-SA2	4.1

Respecto a la Laguna la Escondida se determinó que tiene una capacidad para almacenar hasta 4,747,996.47 m³ y puede regular hasta 87.3 m³/s.

En la siguiente tabla, se observa la oferta con capacidades, pero también con características geométricas y geoespaciales.

Tabla 8 Puntos de control por sección del dren Santa Anita y dren Anheló con capacidades hidráulicas, Reynosa Tamaulipas.

Sección	Segmento (coordenadas)				Longitud (m)	Sección	Ancho plantilla (m)	Alto (m)	Talud izquierdo (m)	Talud derecho (m)	Capacidad hidráulica (oferta) (m ³ /s)
	de		hasta								
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud							
Dren Anheló Aguas arriba de la Laguna	26.04233	-98.33565	26.04368	-98.33047	498.04	trapezial	6.00	3.50	1.50	1.50	52.2
	26.04369	-98.33047	26.04249	-98.32114	968.89	trapezial	6.00	3.50	1.50	1.50	52.2
	26.04249	-98.32114	26.0406	-98.31661	523.71	trapezial	6.00	3.50	1.50	1.50	52.2
	26.0406	-98.31661	26.03889	-98.31057	609.42	trapezial	6.00	3.50	1.50	1.50	52.2
	26.03889	-98.31057	26.04159	-98.3053	447.045	trapezial	6.00	3.50	1.50	1.50	52.2
	26.04159	-98.3053	26.04392	-98.30337	148.565	trapezial	6.00	3.50	1.50	1.50	48.4
	26.04392	-98.30337	26.04718	-98.28648	2,394.10	rectangular	6.00	3.50	NA	NA	40.5 y 47.2
Dren Anheló Aguas debajo de la Laguna	26.07581,	-98.26303	26.06943	-98.23549	2,860.26	trapezial	19.00	3.00	2.20	1.50	25.5
Dren Santa Anita	26.0284	-98.32784	26.02891	-98.32309	528.34	trapezial	1	1.5	1.5	1.5	4.1
	26.02891	-98.32309	26.03368	-98.32716	426.63	trapezial	1	1.5	1.5	1.5	4.1
	26.03368	-98.32716	26.03219	98.31444	535.19	trapezial	1	1.5	1.5	1.5	4.1
	26.03219	98.31444	26.03559	-98.31276	397.16	trapezial	1	1.5	1.5	1.5	4.1
	26.03559	-98.31276	26.03781	-98.31167	269.99	trapezial	1	1.5	1.5	1.5	4.1
	26.03781	-98.31167	26.03889	-98.31057	42.69	trapezial	1	1.5	1.5	1.5	4.1

La infraestructura existente en el subsistema de estudio que consiste en la cuenca de la Laguna La Escondida se conforma de drenes a cielo abierto, lo que implica que sean vulnerables a la reducción de capacidad por factores externos: además del azolve derivado de la velocidad del flujo y la sedimentación de los sólidos suspendidos, sus capacidades pueden reducirse por basura que se arroje, infraestructura que se construya sin una adecuada planeación como puentes peatonales y vehiculares y maleza que crezca por falta de limpieza y mantenimiento, entre otros.

Al realizar el análisis de la oferta se destaca que no es suficiente indicar como oferta las características geométricas de los cauces; y se demuestra que, para el caso de infraestructura hidráulica de drenaje pluvial como drenes o canales, el método tradicional de cálculo de la oferta con descripción requiere indispensablemente el tránsito de flujo hidráulico, pues éste depende de numerosos factores, como el desnivel, la velocidad, la rugosidad, el azolve, el remanso, etc. lo que demuestra que en una sección con las mismas características geométricas, la capacidad de conducción (oferta en este caso) puede variar.

Para el caso del cálculo de la demanda, la forma más adecuada es calcular la hidrología, construir un modelo hidráulico y con ello realizar el tránsito en canales variando las secciones hasta alcanzar una capacidad que no presente desbordamientos; considerando un máximo de capacidad de 80 % de trabajo del dren.

En este sentido, para fines de estudios costo-beneficio de drenaje pluvial, se determina que el primer paso es construir un modelo hidráulico con la infraestructura existente, calcular la demanda con la hidrología correspondiente, realizar la simulación hidráulica y detectar las zonas con insuficiencia en caso de existir y a partir de ello proponer modificaciones que permitan transitar la avenida sin que se presenten desbordamientos.

Lo anterior implica que para este tipo de estudios puedan existir puntos de control específicos en que en las zonas de insuficiencia donde se determine que la demanda es mayor que la oferta, una vez realizadas obras aguas abajo, aún con la misma oferta en ese sitio permitan satisfacer la demanda, pues el análisis de los cauces debe ser integral y el cambio de alguna condición aguas abajo puede afectar el funcionamiento en algún punto de control aguas arriba.

Esto se traduce en que evitar los taponamientos de los cauces aguas abajo incrementa la velocidad del flujo y por lo tanto permite utilizar la capacidad de las secciones con distintos escenarios de velocidad del flujo, aún, cuando no se realicen acciones de incremento de las secciones o de la infraestructura. Es decir, una acción realizada estratégicamente aguas abajo puede solucionar el problema de oferta sin que se requiera incrementar las dimensiones de la infraestructura aguas arriba. Lo mismo aplica para el revestimiento de cauces. La velocidad de flujo representa una característica estratégica de estos sistemas.

II.4 Análisis de la Demanda actual

Para el cálculo de la demanda, es decir, la cantidad de agua que es necesario desalojar de la cuenca, se realizó el estudio hidrológico del subsistema de estudio.

El estudio hidrológico permite determinar el caudal de diseño: la infraestructura debe ser capaz de transitar la avenida asociada al gasto obtenido con seguridad y sin presentar desbordamientos.

Para establecer una demanda cuantificable en términos numéricos y de infraestructura, una vez determinado el caudal de diseño, se construyó un modelo hidráulico con las

características geométricas de infraestructura que permite desalojar sin desbordamientos éste caudal, es decir para evaluar el desalojo fue necesario transitar la avenida y contrastarla con puntos de control. Lo anterior se consideró como otra característica determinante de los análisis costo beneficio para este tipo de infraestructura.

En los estudios hidrológicos e hidráulicos, si bien el caudal que es necesario desalojar corresponde a la demanda, es necesario transitarla y calcular las dimensiones de diseño de la infraestructura para que no genere afectaciones.

Las dimensiones de la infraestructura de demanda pueden variar derivado de la velocidad del agua en el cauce y el material del cauce que se proponga, así como sus características geométricas.

Análisis hidrológico:

Derivado de que las estaciones hidrométricas y climatológicas localizadas en territorio nacional no presentaban datos suficientes para realizar este estudio; derivado de la cercanía con Estados Unidos de América, a través del National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) se obtuvo la información de precipitaciones de cinco Pluviógrafos.

Tabla 9 Pluviógrafos obtenidos

Clave	Nombre	Latitud	Longitud	Periodo de observación	Años completos
-	El Morillo	26.152	-98.384	-	-
-	Anzaldúas	26.131	-98.336	-	-
412758	Edinburg	26.298	-98.158	1947 - 1950	4
415973	MissionPumpingStation	26.200	-98.317	1948 - 1950	4
415702	McAllen Miller International Airport	26.184	-98.254	2004 - 2013	10
412518	Donna	26.173	-98.079	2005 - 2006	2
419588	Weslaco	26.178	-97.971	1947 - 2007	26

Fuente: (NOAA, s.f.)

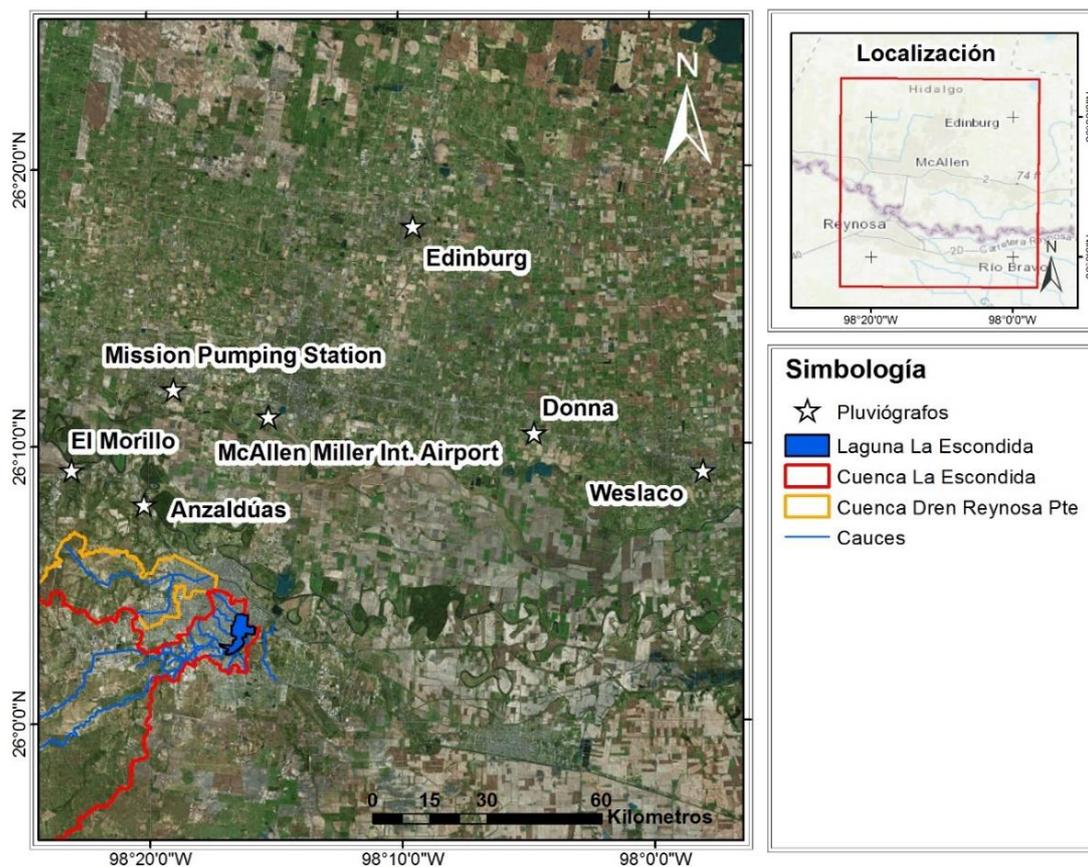


Figura 16 Pluviógrafos para la elaboración del estudio hidrológico

De las cinco estaciones con información, únicamente dos presentan registros confiables: McAllen Miller International Airport a 22 km al centroide de la cuenca de estudio con 10 años completos de registro; y Weslaco a 40 km del centroide de la cuenca de estudio con 26 años de registro.

McAllen Miller International Airport cuenta con mediciones de lluvia cada hora, mientras que Weslaco registra cada 15 min y tiene mayor cantidad de datos.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Hp Acumulada (mm)
2002	-	-	2.54	-	71.12	-	17.78	-	144.78	165.10	-	-	401.32
2003	-	17.78	10.16	-	-	-	50.80	104.14	5.08	-	38.10	-	226.06
2004	-	17.78	73.66	86.36	-	198.12	15.24	-	200.66	45.72	10.16	7.62	655.32
2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2006	-	-	-	-	-	-	-	5.08	241.30	106.68	-	60.96	414.02
2007	48.26	-	12.70	25.40	-	-	-	-	12.70	40.64	-	-	139.70
2008	30.48	-	-	-	22.86	10.16	353.06	104.14	-	22.86	-	-	543.56
2009	-	7.62	7.62	-	63.50	-	-	5.08	218.44	58.42	48.26	124.46	533.40
2010	12.70	78.74	7.62	63.50	20.32	226.06	177.80	-	116.84	-	-	2.54	706.12
2011	-	-	-	-	7.62	198.12	25.40	25.40	-	10.16	2.54	48.26	317.50
2012	-	-	53.34	2.54	45.72	-	25.40	15.24	55.88	17.78	-	-	215.90
2013	-	-	-	-	-	-	-	-	246.38	15.24	93.98	93.98	449.58
2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: (NOAA, s.f.)

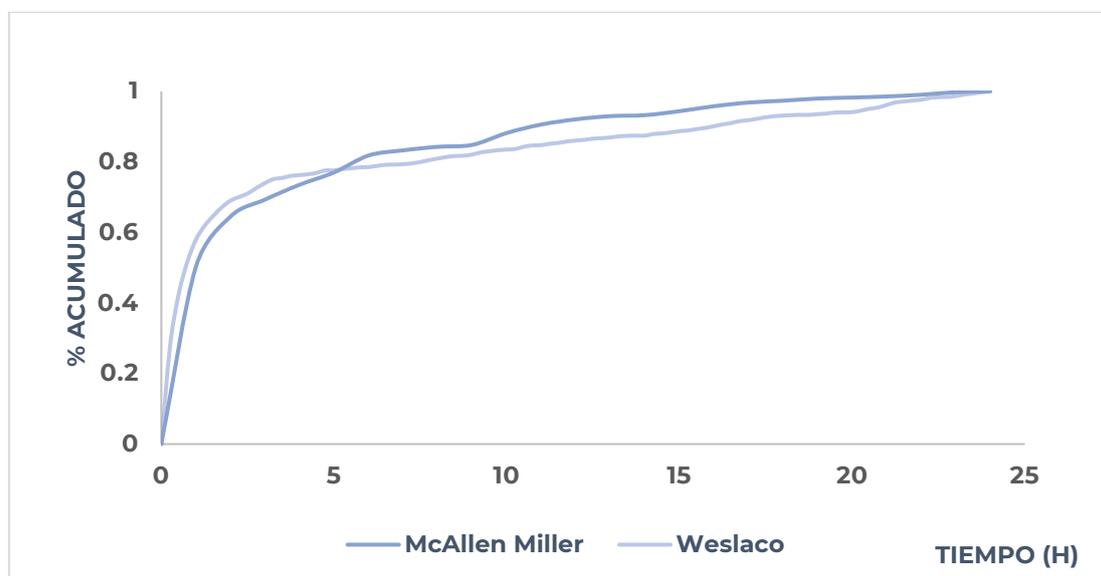
Tabla 11 Precipitación acumulada de la estación McAllen Miller International Airport

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Hp Acumulada (mm)
2004	-	-	96.49	146.53	33.52	99.05	11.92	85.6	134.83	18.53	6.83	21.54	654.84
2005	24.28	24.6	9.87	0.51	44.95	12.69	186.91	46.99	27.43	33.77	9.38	11.64	433.02
2006	1.77	2.5	13.95	0.5	18.53	8.88	86.36	19.29	284.7	43.65	2.28	68.3	550.71
2007	61.37	5.83	14.45	15.47	30.99	51.26	227.03	76.44	43.91	28.94	6.57	-	562.26
2008	39.78	0.5	0.76	33.01	5.58	2.28	204.7	173.99	86.6	37.84	6.34	4.28	595.66
2009	2.02	12.67	7.59	3.81	54.09	54.59	1.52	8.37	98.01	69.06	34.27	129.23	475.23
2010	16.19	67.52	8.11	111.71	74.66	270	91.93	6.35	92.16	-	0.5	2.28	741.43
2011	25.59	-	7.87	-	1.02	98.54	26.66	12.94	-	6.35	3.04	57.56	239.57
2012	5.34	83	113.77	53.59	53.33	18.03	4.31	7.36	48.23	35.31	21.34	-	443.61
2013	24.84	0.25	-	33.78	27.91	22.35	29.43	12.45	157.98	3.8	80.24	76.9	469.93

Fuente: (NOAA, s.f.)

En las dos estaciones los meses más lluviosos fueron julio, agosto y septiembre y por ello para el cálculo de los eventos máximos, los años que no presentaron mediciones en estos meses, no se analizaron.

Con los 26 años de registro resultaron 96 series de máximos y posteriormente para conocer con precisión el comportamiento de la precipitación se obtuvieron las curvas masas adimensionales.



Gráfica 1 Curvas masa adimensionales McAllen Miller y Weslaco.

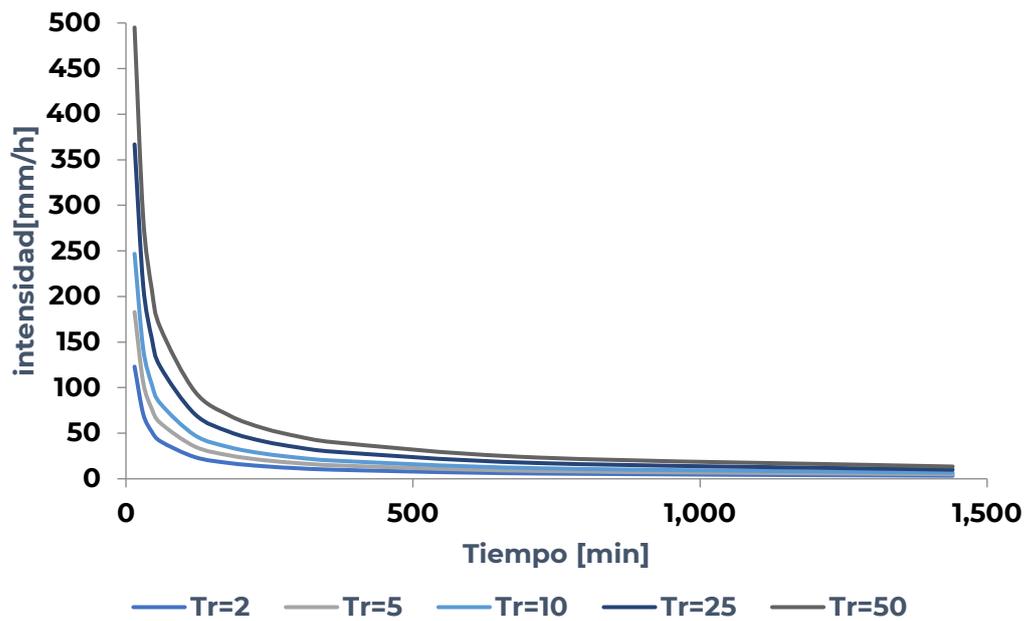
Considerando que la distribución de precipitaciones de las estaciones analizadas no tiene variaciones significativas, además de que sus precipitaciones acumuladas son similares, en adelante se utilizará la estación Weslaco, por su mayor rango de mediciones y registros.

Para definir las precipitaciones de diseño, se obtuvieron 96 muestras de precipitaciones máximas con intervalo de separación de 15 min, con la de 15 minutos y terminando con la de 1440 min (24 horas).

A partir de las series de eventos máximos, se determinaron las tormentas de diseño para diferentes periodos de retorno con los nomogramas del Weather Bureau.

Tabla 12 Intensidades para diferentes periodos de retorno y duración

Tiempo [min]	Intensidades [mm/h]				
	2	5	10	25	50
15	123.1	182.9	246.8	366.9	495.1
30	71.2	105.8	142.7	212.2	286.3
45	51.7	76.8	103.6	154.0	207.8
60	41.2	61.2	82.5	122.7	165.6
120	23.8	35.4	47.7	71.0	95.8
180	17.3	25.7	34.7	51.5	69.5
240	13.8	20.5	27.6	41.0	55.4
300	11.5	17.1	23.1	34.4	46.4
360	10.0	14.8	20.0	29.8	40.2
720	5.8	8.6	11.6	17.2	23.2
1440	3.3	5.0	6.7	10.0	13.4

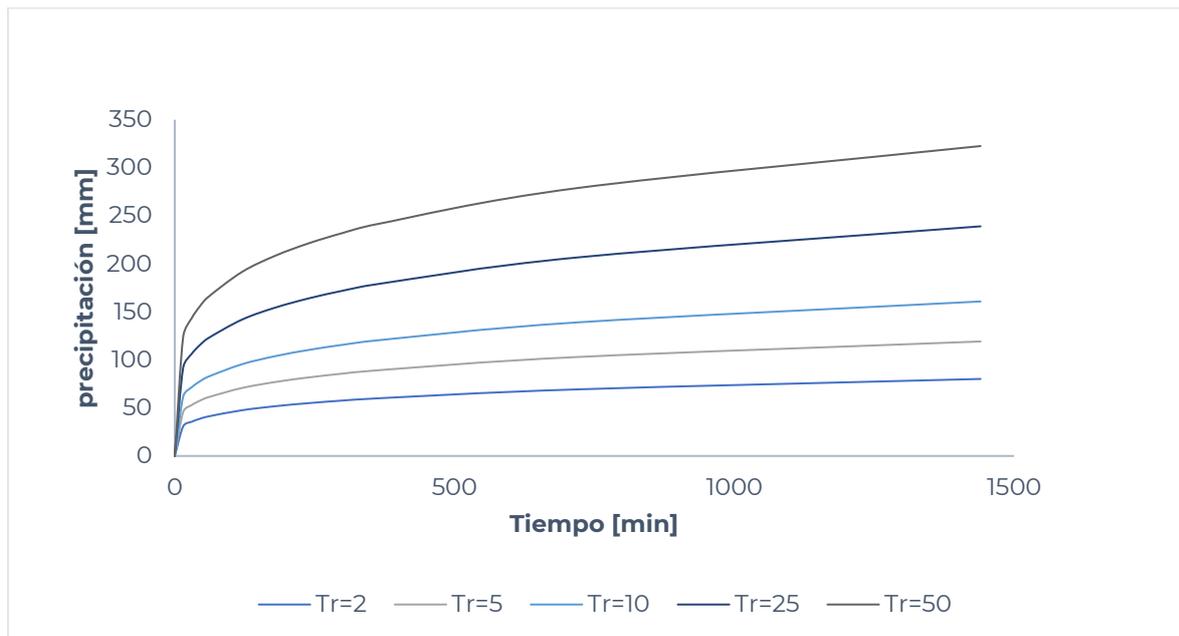


Gráfica 2 Curvas intensidad-duración-periodo de retorno para la estación Weslaco

Posteriormente se realizaron extrapolaciones de 2, 5, 10, 25 y 50 años para la altura de precipitación (UNAM, 1982).

Tabla 13 Alturas de precipitación para diferentes duraciones y periodos de retorno, Weslaco

Tiempo [min]	Alturas de precipitación [mm]				
	2	5	10	25	50
0	0	0	0	0	0
15	30.8	45.7	61.7	91.7	123.8
30	35.6	52.9	71.4	106.1	143.2
45	38.7	57.6	77.7	115.5	155.9
60	41.2	61.2	82.5	122.7	165.6
120	47.6	70.7	95.5	141.9	191.5
180	51.8	77.0	104.0	154.5	208.5
240	55.1	81.8	110.4	164.1	221.5
300	57.7	85.7	115.7	172.0	232.1
360	59.9	89.1	120.2	178.7	241.2
720	69.3	103.0	139.1	206.7	278.9
1440	80.2	119.2	160.8	239.1	322.6



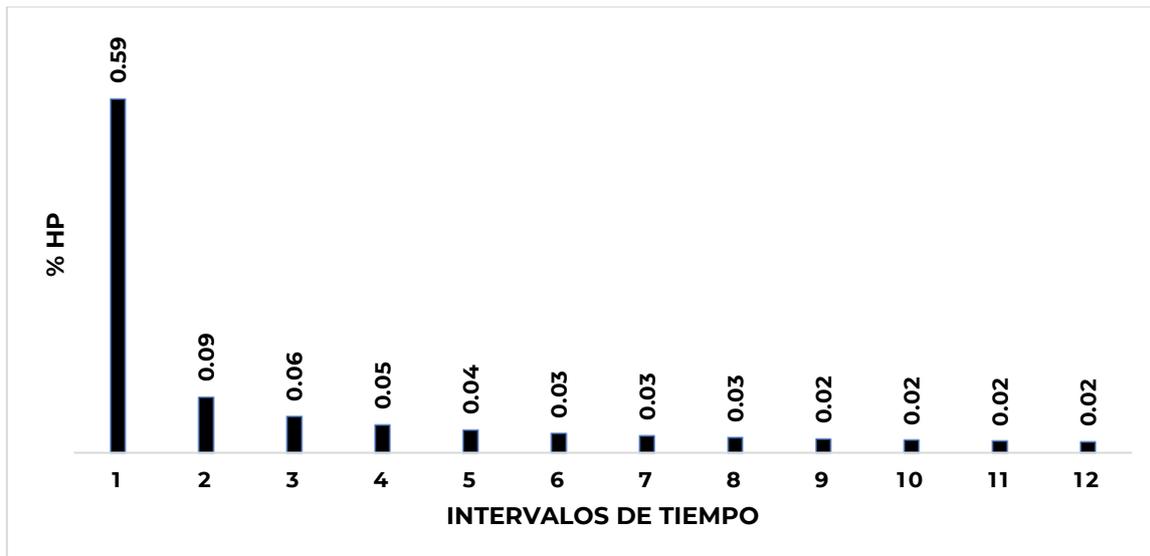
Gráfica 3 Precipitación para diferentes duraciones y periodos de retorno, estación Weslaco.

Se consideró una tormenta con duración de 36 horas, para garantizar que la cuenca de estudio alcance el gasto máximo con doce intervalos de tiempo $(\Delta t) = \left(\frac{1}{12}\right) D_{total} = 120$ minutos.

Para la distribución de la lluvia de diseño se usó la información de la estación Reynosa con registros cada 15 minutos, se construyó su curva masa y se estimó la distribución temporal de la tormenta de diseño para un periodo de retorno de 10 años con doce intervalos. La distribución temporal de la lluvia es la siguiente:

Tabla 14 Distribución temporal de la lluvia de diseño

Intervalo de tiempo ΔT	% altura Precipitación (H_p)
1	0.594
2	0.093
3	0.061
4	0.047
5	0.038
6	0.032
7	0.028
8	0.025
9	0.023
10	0.021
11	0.019
12	0.018



Gráfica 4 Distribución temporal de la lluvia, Reynosa

La precipitación máxima para 24 horas y periodo de retorno de 10 años es de 160.8 mm.

Lo anterior requiere afectarse por el factor de reducción por área para las subcuencas que se analicen: $FRA = 1.0 - 0.3549 * D^{-0.42723} (1.0 - e^{-0.005794 * A})$; D es la duración de la precipitación en horas y A es el área de cuenca en km^2 .

Derivado que, de toda la lluvia que se presenta sólo una parte escurre superficialmente pues el resto se infiltra o se retiene, se utiliza el coeficiente de escurrimiento, que se calcula como sigue: $C_E = C_{NU} \frac{A_{NU}}{A_T} + 0.45 * I_U \frac{A_U}{A_T}$;

C_E = Coeficiente de escurrimiento asociado a una cuenca con un área total A_T de la cual A_{NU} no está urbanizada y A_U sí; C_{NU} = Coeficiente de escurrimiento para las áreas no urbanizadas
 I_U = Índice que varía según la densidad de urbanización del área urbanizada

En el subsistema de estudio la mayor parte de las áreas son de cultivo y sin urbanización, y en este sentido, el coeficiente de escurrimiento que se consideró es 0.18, mientras que el índice de urbanización en las subcuencas que tienen área urbana es 1.0 para obtener un coeficiente de escurrimiento ponderado variable por subcuenca.

A partir de los coeficientes de escurrimiento adoptados (C_E), de las áreas de las subcuencas (A_T) y conociendo la lluvia, se calcula el volumen de escurrimiento directo como: $V_{EA} = C_E \times P \times A_T$; donde P es la precipitación total y, por lo tanto, el hidrograma de ingreso a la infraestructura de drenaje se determina con el método de hidrogramas sintéticos trapezoidales, considerando la relación entre el tiempo de concentración de la cuenca analizada y la duración de la lluvia.

El gasto máximo se determinó igualando el volumen del área bajo la curva, con el volumen en exceso calculado del área de la subcuenca, la precipitación efectiva y el coeficiente de escurrimiento y el gasto pico se calculó como: $0.5Q_p(2t_2 + 0.5t_1) = C_E \times P \times A_T$ con tres diferentes casos: $\Delta t = T_C$, $\Delta t < T_C$ y $\Delta t > T_C$, IINGEN, UNAM.

A partir de las consideraciones anteriores se determina un hidrograma para cada Δt y se obtiene el hidrograma envolvente para cada una de las subcuencas, los cuales serán los datos de entrada al modelo de simulación.

Para conocer el escurrimiento en cada subcuenca se calculó su área, se identificó su cauce principal y pendiente, así como el coeficiente de escurrimiento y el tiempo de concentración mediante los métodos de Kirpich, Rowe y el Soil Conservation Service (SCS).

Este estudio considera el periodo de retorno de 10 años para el diseño (cálculo de la demanda) conforme al Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento – Drenaje Pluvial Urbano, publicado por la Comisión Nacional del Agua; que establece el periodo de retorno para diseño de redes de drenaje pluvial para poblados medianos (entre 100,000 y 1,000,000 de habitantes) de 10 años.

II.4.1 Delimitación de las subcuencas

Para calcular el hidrograma de diseño se delimitó la cuenca del subsistema en estudio y se dividió en subcuencas, para lo cual se utilizó el Modelo Digital de Elevaciones del INEGI en su versión Lidar a 5 m, obteniendo 27 subcuencas para su análisis.

Para el cálculo de la pendiente se utilizó el método de Taylor and Schwartz y el tiempo de concentración se calculó con los métodos de Kirpich, Rowe y el Soil Conservation Services.

Con la precipitación obtenida para un periodo de retorno de 10 años, la metodología mencionada en apartados precedentes y con las características físicas de las cuencas y subcuencas de aportación: área, tipo de terreno, longitud del cauce principal, pendiente etc., se determinó la cantidad de lluvia que se presenta y con ella los hidrogramas de diseño.

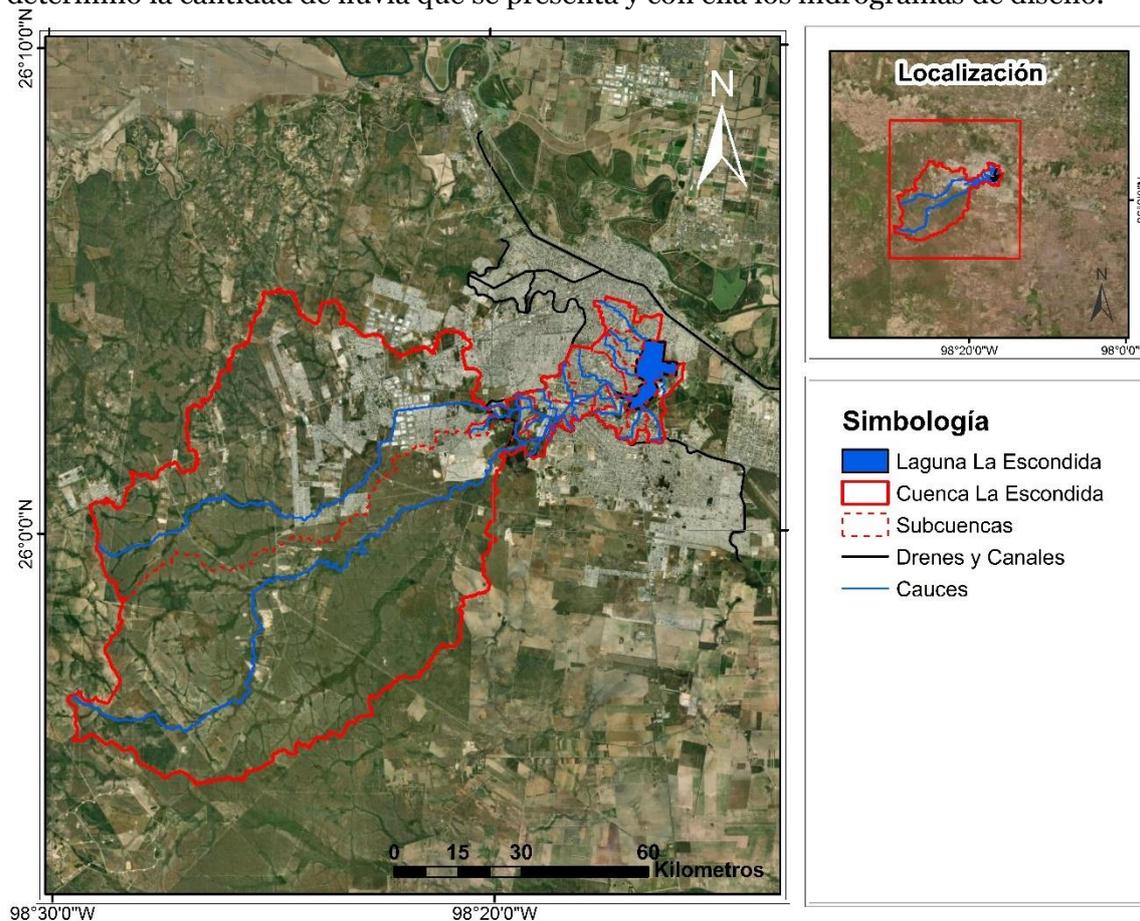


Figura 17 Delimitación de Cuenca del subsistema en estudio

Esta cuenca se dividió en 27 subcuencas denominadas DA para su análisis.

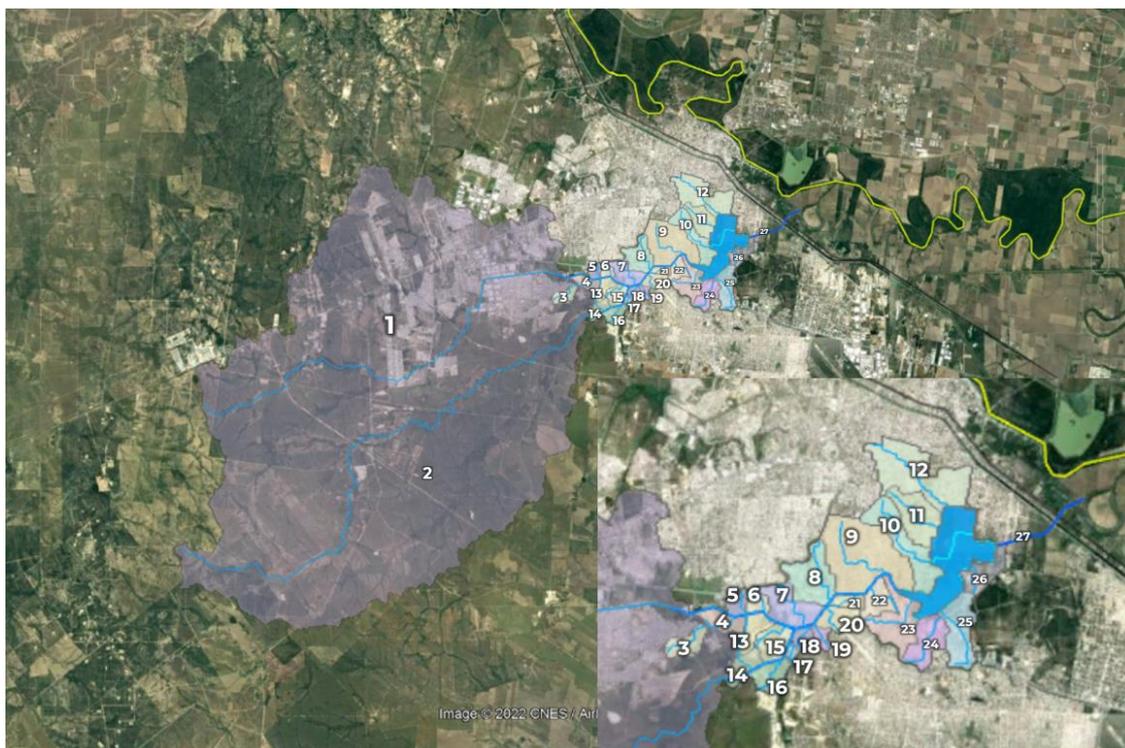


Figura 18 Delimitación de las subcuencas de la cuenca del subsistema en estudio

Las características físicas de las subcuencas se presentan en la siguiente tabla:

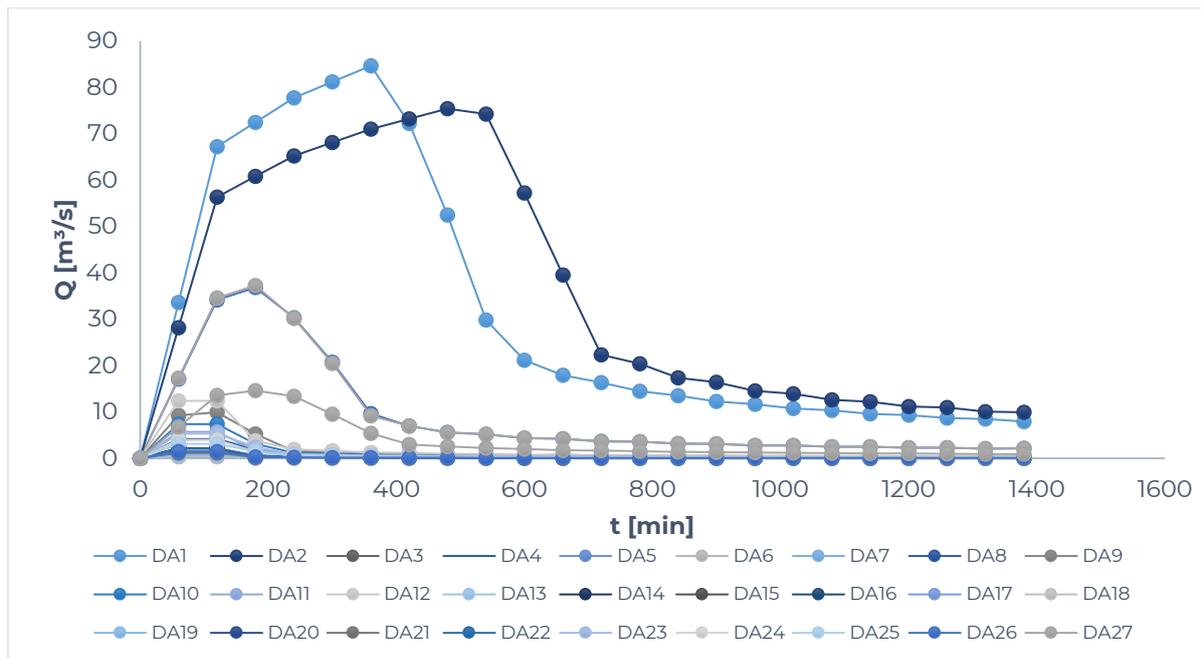
Tabla 15 Características de las subcuencas

No.	Área en km ²	Longitud del cauce principal en m	Desnivel del cauce principal en m	Pendiente del cauce principal	Tiempo de concentración Kírpich [hr]	Tiempo de concentración Rowe [hr]	Tiempo de concentración SCS [hr]	Coef. escurrimiento Ce
1	83.9	22274.9	90.4	0.004	6.33	6.03	5.85	0.21
2	112.2	31239.9	99.4	0.003	8.84	8.59	8.33	0.18
3	0.5	1463.9	16.6	0.009	0.54	0.50	0.49	0.38
4	0.5	1112.0	2.8	0.002	0.79	0.72	0.70	0.23
5	0.2	719.9	5.6	0.006	0.36	0.33	0.32	0.20
6	0.3	910.8	6.4	0.005	0.49	0.42	0.40	0.45
7	0.9	1764.6	7.9	0.002	1.05	0.83	0.80	0.40
8	1.2	2056.5	11.4	0.005	0.91	0.86	0.83	0.30
9	2.9	2673.4	17.1	0.005	1.07	0.99	0.96	0.45
10	1.4	2766.3	16.2	0.003	1.29	1.05	1.02	0.45
11	1.1	1976.6	15.5	0.006	0.78	0.72	0.71	0.45
12	2.3	3073.4	14.6	0.003	1.44	1.24	1.20	0.45
13	0.5	1135.1	6.2	0.004	0.63	0.54	0.53	0.28
14	0.3	643.7	5.5	0.007	0.32	0.30	0.29	0.18
15	0.6	1333.9	15.2	0.009	0.52	0.46	0.45	0.28
16	0.6	1210.9	4.5	0.002	0.91	0.66	0.64	0.18
17	0.1	633.4	4.8	0.003	0.44	0.31	0.30	0.28
18	0.2	766.8	8.4	0.008	0.35	0.31	0.30	0.18
19	0.2	838.3	7.8	0.008	0.38	0.35	0.34	0.30
20	0.5	924.9	7.8	0.003	0.56	0.39	0.38	0.35
21	0.3	813.9	3.1	0.002	0.63	0.48	0.47	0.40
22	0.5	1248.7	6.2	0.003	0.76	0.61	0.59	0.35
23	1.1	1877.5	10.4	0.003	0.95	0.80	0.77	0.40

No.	Área en km ²	Longitud del cauce principal en m	Desnivel del cauce principal en m	Pendiente del cauce principal	Tiempo de concentración Kírpich [hr]	Tiempo de concentración Rowe [hr]	Tiempo de concentración SCS [hr]	Coef. escurrimiento Ce
24	0.8	1822.3	12.8	0.005	0.83	0.71	0.69	0.40
25	1.1	2094.2	15.1	0.004	1.00	0.78	0.76	0.25
26	0.6	1116.9	5.4	0.003	0.69	0.56	0.55	0.20
27	9.0	5557.5	11.7	0.001	3.49	2.67	2.58	0.23

Una vez obtenidas las características físicas de las subcuencas, con los datos obtenidos anteriormente, se calculan los hidrogramas de diseño.

tiempo en min	Tabla 16 Hidrogramas																										
	Gasto en m ³ /s para cada subcuenca DA																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
60	33.61	28.18	2.18	1.28	0.55	1.49	3.96	4.14	9.23	7.37	5.71	12.39	1.56	0.77	2.19	1.26	0.35	0.43	0.75	2.09	1.21	2.12	5.31	3.97	3.12	1.49	6.77
120	67.22	56.37	2.18	1.28	0.55	1.49	4.15	4.14	9.92	7.37	5.71	12.39	1.56	0.77	2.19	1.26	0.35	0.43	0.75	2.09	1.21	2.12	5.31	3.97	3.13	1.49	13.55
180	72.48	60.78	0.34	0.40	0.09	0.23	2.13	1.75	5.22	3.11	1.75	3.79	0.24	0.12	0.34	0.54	0.05	0.07	0.12	0.33	0.19	0.60	2.42	1.41	1.54	0.28	14.61
240	77.74	65.20	0.34	0.20	0.09	0.23	0.65	0.65	1.55	1.15	0.89	1.94	0.24	0.12	0.34	0.20	0.05	0.07	0.12	0.33	0.19	0.33	0.83	0.62	0.49	0.23	13.35
300	81.20	68.09	0.22	0.16	0.06	0.15	0.64	0.60	1.54	1.06	0.72	1.56	0.16	0.08	0.23	0.18	0.04	0.04	0.08	0.21	0.12	0.26	0.79	0.53	0.48	0.16	9.53
360	84.65	70.99	0.22	0.13	0.06	0.15	0.43	0.43	1.02	0.76	0.59	1.27	0.16	0.08	0.23	0.13	0.04	0.04	0.08	0.21	0.12	0.22	0.55	0.41	0.32	0.15	5.35
420	72.24	73.20	0.17	0.12	0.04	0.12	0.47	0.44	1.11	0.78	0.54	1.16	0.12	0.06	0.17	0.13	0.03	0.03	0.06	0.16	0.09	0.19	0.58	0.39	0.35	0.12	2.97
480	52.46	75.41	0.17	0.10	0.04	0.12	0.33	0.32	0.78	0.58	0.45	0.97	0.12	0.06	0.17	0.10	0.03	0.03	0.06	0.16	0.09	0.17	0.42	0.31	0.25	0.12	2.56
540	29.86	74.21	0.14	0.10	0.04	0.10	0.37	0.35	0.89	0.63	0.43	0.94	0.10	0.05	0.14	0.11	0.02	0.03	0.05	0.13	0.08	0.16	0.46	0.32	0.28	0.10	2.19
600	21.15	57.23	0.14	0.08	0.04	0.10	0.27	0.27	0.64	0.47	0.37	0.79	0.10	0.05	0.14	0.08	0.02	0.03	0.05	0.13	0.08	0.14	0.34	0.25	0.20	0.10	1.97
660	17.93	39.51	0.12	0.08	0.03	0.08	0.31	0.30	0.75	0.53	0.37	0.80	0.09	0.04	0.12	0.09	0.02	0.02	0.04	0.11	0.07	0.13	0.39	0.27	0.24	0.08	1.77
720	16.32	22.32	0.12	0.07	0.03	0.08	0.23	0.23	0.54	0.40	0.31	0.68	0.09	0.04	0.12	0.07	0.02	0.02	0.04	0.11	0.07	0.12	0.29	0.22	0.17	0.08	1.63
780	14.44	20.42	0.10	0.07	0.03	0.07	0.27	0.26	0.65	0.46	0.32	0.69	0.07	0.04	0.11	0.08	0.02	0.02	0.04	0.10	0.06	0.12	0.34	0.23	0.21	0.07	1.50
840	13.54	17.37	0.10	0.06	0.03	0.07	0.20	0.20	0.48	0.35	0.27	0.59	0.07	0.04	0.11	0.06	0.02	0.02	0.04	0.10	0.06	0.10	0.25	0.19	0.15	0.07	1.40
900	12.26	16.41	0.09	0.06	0.02	0.06	0.24	0.23	0.58	0.41	0.29	0.62	0.07	0.03	0.09	0.07	0.01	0.02	0.03	0.09	0.05	0.10	0.30	0.21	0.18	0.07	1.31
960	11.68	14.52	0.09	0.05	0.02	0.06	0.18	0.18	0.42	0.32	0.24	0.53	0.07	0.03	0.09	0.05	0.01	0.02	0.03	0.09	0.05	0.09	0.23	0.17	0.13	0.06	1.24
1020	10.72	13.95	0.08	0.06	0.02	0.06	0.22	0.21	0.52	0.37	0.26	0.56	0.06	0.03	0.08	0.06	0.01	0.02	0.03	0.08	0.05	0.09	0.27	0.19	0.17	0.06	1.16
1080	10.33	12.59	0.08	0.05	0.02	0.06	0.16	0.16	0.38	0.29	0.22	0.48	0.06	0.03	0.08	0.05	0.01	0.02	0.03	0.08	0.05	0.08	0.21	0.15	0.12	0.06	1.11
1140	9.57	12.22	0.08	0.05	0.02	0.05	0.20	0.19	0.47	0.34	0.24	0.51	0.06	0.03	0.08	0.06	0.01	0.02	0.03	0.07	0.04	0.09	0.25	0.17	0.15	0.05	1.05
1200	9.29	11.18	0.08	0.05	0.02	0.05	0.15	0.15	0.35	0.26	0.20	0.44	0.06	0.03	0.08	0.04	0.01	0.02	0.03	0.07	0.04	0.08	0.19	0.14	0.11	0.05	1.01
1260	8.67	10.94	0.07	0.05	0.02	0.05	0.18	0.17	0.44	0.31	0.22	0.47	0.05	0.03	0.07	0.05	0.01	0.01	0.02	0.07	0.04	0.08	0.23	0.16	0.14	0.05	0.96
1320	8.46	10.10	0.07	0.04	0.02	0.05	0.14	0.14	0.33	0.24	0.19	0.41	0.05	0.03	0.07	0.04	0.01	0.01	0.02	0.07	0.04	0.07	0.17	0.13	0.10	0.05	0.93
1380	7.95	9.93	0.07	0.05	0.02	0.05	0.17	0.16	0.40	0.29	0.20	0.44	0.05	0.02	0.07	0.05	0.01	0.01	0.02	0.06	0.04	0.07	0.21	0.15	0.13	0.05	0.89



Gráfica 5 Hidrogramas

La demanda del sistema corresponde a los gastos obtenidos del estudio hidrológico (hidrogramas).

Como se mencionó en apartados anteriores, los hidrogramas requieren transitarse por los sistemas de drenaje (cauces o canales) para obtener la demanda numérica en puntos específicos o de control y asociarla al tiempo.

Para ello, se elaboró un modelo hidráulico para simular este flujo en los cauces del sistema existentes, verificar los puntos de desbordamiento y realizar propuestas para evitar insuficiencias.

En las siguientes tablas se especifican los resultados de la demanda calculada para los puntos de control.

Tabla 17 Demanda hidráulica del Subsistema

Punto de control	Demanda hidráulica (m³/s)
A1-A2	53.8
A2-A3	63.2
A3-A4	54.9
A4-LE	44.3
LE	148.9
A5-descarga	25.5
SA1-SA2	5.3

Tabla 18 Demanda del dren Santa Anita y dren Anheló

Sección	Segmento (coordenadas)				Longitud (m)	demanda hidráulica m ³ /s
	De		Hasta			
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud		
Dren Anheló Aguas arriba de la Laguna	26.04233	-98.33565	26.04368	-98.33047	498.04	53.8
	26.04369	-98.33047	26.04249	-98.32114	968.89	53.8
	26.04249	-98.32114	26.0406	-98.31661	523.71	53.8
	26.0406	-98.31661	26.03889	-98.31057	609.42	63.2
	26.03889	-98.31057	26.04159	-98.3053	447.045	54.9
	26.04159	-98.3053	26.04392	-98.30337	148.565	54.9
	26.04392	-98.30337	26.04718	-98.28648	2,394.10	44.3
Dren Anheló Aguas debajo de la Laguna	26.07581,	-98.26303	26.06943	-98.23549	2,860.26	25.5
Dren Santa Anita	26.0284	-98.32784	26.02891	-98.32309	528.34	5.3
	26.02891	-98.32309	26.03368	-98.32716	426.63	5.3
	26.03368	-98.32716	26.03219	98.31444	535.19	5.3
	26.03219	98.31444	26.03559	-98.31276	397.16	5.3
	26.03559	-98.31276	26.03781	-98.31167	269.99	5.3
	26.03781	-98.31167	26.03889	-98.31057	42.69	5.3

La demanda del sistema corresponde al tránsito de los hidrogramas obtenidos del estudio hidrológico a lo largo de los cauces y drenes existentes. Así se obtuvo la demanda para cada punto de control que resulta de sumar el flujo que transita por esa sección incluyendo los desbordamientos, en caso de existir. En este sentido, esta demanda resulta indicativa para la propuesta de solución de apartados subsecuentes, ya que, en el caso de sistemas de drenaje, una acción aguas abajo que aumente la velocidad del flujo puede disminuir la demanda aguas arriba.

II.5 Diagnóstico de la interacción de la oferta-demanda a lo largo del horizonte

A continuación, se muestra la interacción de la oferta y la demanda.

Tabla 19 Interacción de la oferta y la demanda del dren Santa Anita y dren Anhele

Sección	Segmento (coordenadas)				Longitud (m)	demanda hidráulica	Oferta-Capacidad hidráulica
	De		Hasta				
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud		m ³ /s	m ³ /s
Dren Anhele Aguas arriba de la Laguna	26.04233	-98.33565	26.04368	-98.33047	498.04	53.8	52.2
	26.04369	-98.33047	26.04249	-98.32114	968.89	53.8	52.2
	26.04249	-98.32114	26.0406	-98.31661	523.71	53.8	52.2
	26.0406	-98.31661	26.03889	-98.31057	609.42	63.2	52.2
	26.03889	-98.31057	26.04159	-98.3053	447.045	54.9	52.2
	26.04159	-98.3053	26.04392	-98.30337	148.565	54.9	48.4
	26.04392	-98.30337	26.04718	-98.28648	2,394.10	44.3	40.5 y 47.2
Dren Anhele Aguas debajo de la Laguna	26.07581	-98.26303	26.06943	-98.23549	2,860.26	25.5	25.5
Dren Santa Anita	26.0284	-98.32784	26.02891	-98.32309	528.34	5.3	4.1
	26.02891	-98.32309	26.03368	-98.32716	426.63	5.3	4.1
	26.03368	-98.32716	26.03219	98.31444	535.19	5.3	4.1
	26.03219	98.31444	26.03559	-98.31276	397.16	5.3	4.1
	26.03559	-98.31276	26.03781	-98.31167	269.99	5.3	4.1
	26.03781	-98.31167	26.03889	-98.31057	42.69	5.3	4.1

Al ser un dren, la demanda y la oferta son indicativas numéricamente, sin embargo, se rigen por el tránsito de la avenida. En las siguientes figuras, se muestran los resultados del tránsito de avenidas para 1:45 hrs de lluvia y 8:50 hrs de lluvia indicando los sitios con insuficiencia en rojo.

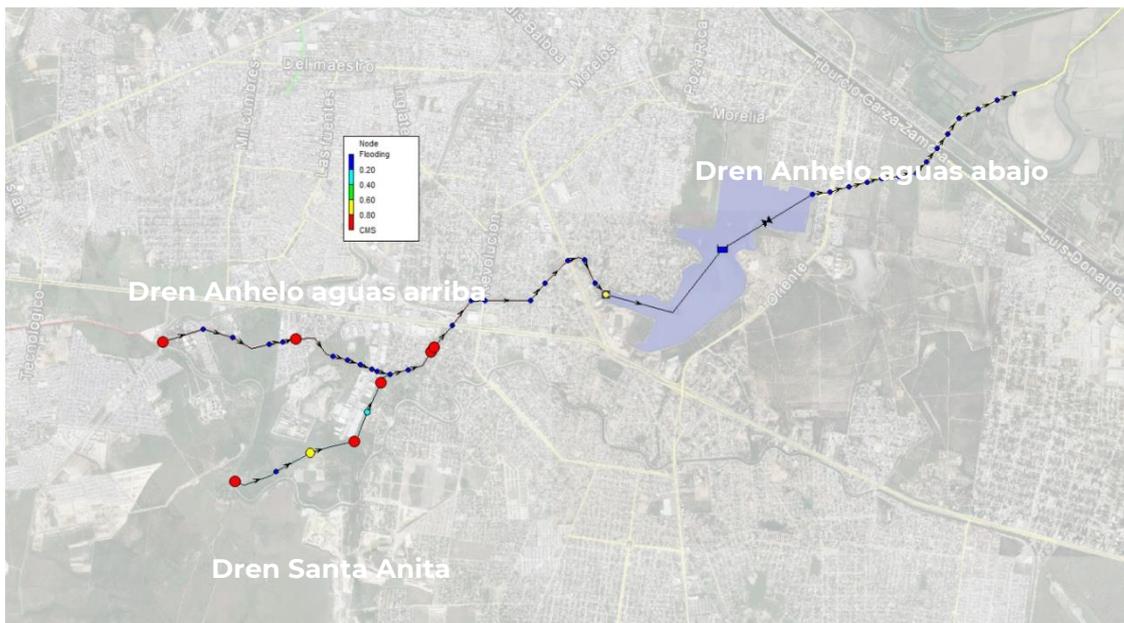


Figura 19. Zonas con insuficiencia después de 1:45hr de Lluvia.

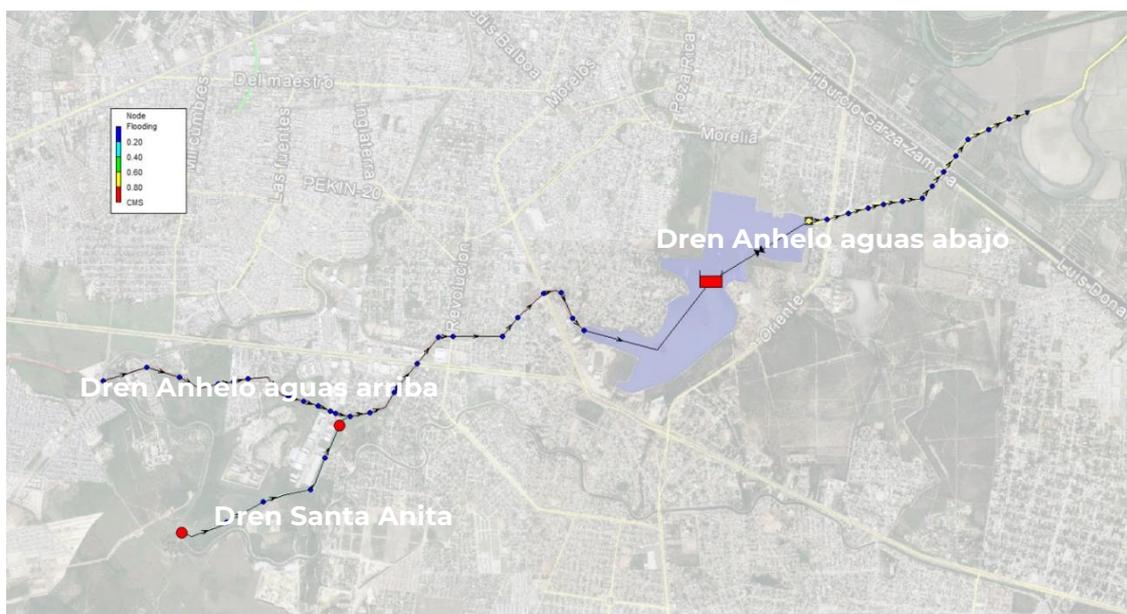


Figura 20. Zonas con insuficiencia después de 8:50hrs de lluvia.

En estas figuras puede observarse que existen derrames en la parte alta de los drenes Anheho y Santa Anita; este último con una capacidad muy limitada; así mismo se observa que se presentan derrames posteriores en la Laguna La Escondida, la cual es la zona más baja topográficamente.

Para el caso del dren Anheho, de acuerdo con el modelo de simulación generado, los puntos de insuficiencia para un periodo de retorno de 10 años se localizan en la parte alta y media, antes de llegar a la laguna La Escondida. En la siguiente tabla se muestran las insuficiencias en números para dicho dren, especificando las capacidades hidráulicas promedio por tramo, sus coordenadas y la capacidad hidráulica requerida (caudal de diseño).

Tabla 20 Detalle de insuficiencias en Dren Anheló, Reynosa

Cauce	(coordenadas)				Longitud (m)	Capacidad hidráulica (oferta) (m ³ /s)	Caudal de Diseño (demanda) (m ³ /s)	Capacidad necesaria y suficiente para transitar los escurrimientos pluviales generados
	De		Hasta					
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud				
Alto	26.04233	-98.33565	26.04368	-98.33047	498.04	52.2	53.8	NO
	26.04369	-98.33047	26.04249	-98.32114	968.89	52.2	53.8	NO
	26.04249	-98.32114	26.04060	-98.31661	523.71	52.2	53.8	NO
	26.0406	-98.31661	26.03889	-98.31057	609.42	52.2	63.2	NO
Medio	26.03889	-98.31057	26.04159	-98.30530	447.045	52.2	54.9	NO
	26.04159	-98.3053	26.04392	-98.30337	148.565	48.4	54.9	NO
	26.04392	-98.30337	26.04718	-98.28648	2,394.10	40.5 y 47.2	44.3	SI-NO
Bajo	26.07581	-98.26303	26.06943	-98.23549	2,860.26	25.5	25.5	SI

Lo anterior indica que en la infraestructura existente no puede contener el agua y existen desbordamientos.

La demanda, entonces, resulta de la suma del flujo que transita por el cauce y, en su caso, el flujo que se desborda.

La oferta corresponde a la capacidad actual que puede ser transitada por el canal considerando su máxima capacidad (con capacidad promedio al 85 % para dejar el bordo libre por seguridad).

Es importante mencionar que los resultados arrojan insuficiencias durante largos periodos de tiempo. En la tabla siguiente, se puede observar la cantidad de tiempo que estos tramos presentan insuficiencia:

Tabla 21 Duración de insuficiencia de capacidad hidráulica en el Dren Anheló,

Cauce	Segmento (coordenadas)				Capacidad hidráulica (oferta) (m ³ /s)	Caudal de Diseño (demanda) (m ³ /s)	Duración de insuficiencia (horas)
	De		Hasta				
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud			
Alto	26.04233	-	26.04368	-	52.2	53.8	06:20:00
	26.0406	98.33565	26.03889	98.33047	52.2	63.2	02:40:00
Medio	26.04159	-98.3053	26.04392	98.31057	48.4	54.9	07:00:00

En cuanto al dren Santa Anita, los puntos que presentan mayor insuficiencia, se localizan al inicio del dren; y en la intersección con el dren Anheló.

Tabla 22 Insuficiencias en Dren Santa Anita

Cauce	Segmento (coordenadas)				Longitud (m)	Capacidad hidráulica (oferta) (m ³ /s)	Caudal de Diseño (demanda) (m ³ /s)	Capacidad necesaria y suficiente para transitar los escurrimientos pluviales generados
	De		Hasta					
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud			T10 Años	
Alto	26.0284	-98.32784	26.02891	-98.32309	528.34	4.1	5.3	NO
	26.02891	-98.32309	26.03368	-98.32716	426.63	4.1	5.3	NO
	26.03368	-98.32716	26.03219	98.31444	535.19	4.1	5.3	NO
	26.03219	98.31444	26.03559	-98.31276	397.16	4.1	5.3	NO
	26.03559	-98.31276	26.03781	-98.31167	269.99	4.1	5.3	NO
	26.03781	-98.31167	26.03889	-98.31057	42.69	4.1	5.3	NO

Así mismo, del modelo, se obtuvo la duración de las insuficiencias para este dren, observándose lo siguiente:

Tabla 23 Duración de insuficiencia de capacidad hidráulica en el Dren Santa Anita

Cauce	Segmento (coordenadas)				Longitud (m)	Capacidad hidráulica (oferta) (m ³ /s)	Caudal de Diseño (demanda) (m ³ /s)	Duración de insuficiencia (horas)
	De		Hasta					
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud			T10 Años	
Alto	26.0284	-98.32784	26.02891	-98.32309	528.34	4.1	5.3	05:45:00
	26.03368	-98.32716	26.03219	98.31444	535.19	4.1	5.3	14:45:00
	26.03781	-98.31167	26.03889	-98.31057	42.69	4.1	5.3	13:55:00

Por otro lado, para el caso de la Laguna la Escondida, la capacidad de regulación cubre tan solo el 58% de la demanda requerida, haciendo que se tenga una insuficiencia con duración de 9:30 horas.

Tabla 24 Insuficiencias y su duración en la laguna La Escondida

	Volumen (m ³)	Capacidad hidráulica (Oferta) (m ³ /s)	Caudal de diseño (Demanda) (m ³ /s)	Duración de insuficiencia
			T10 Años	
Laguna la Escondida	4,747,996.47	87.63	148.94	09:30:00

La demanda de la laguna corresponde a la capacidad de regulación requerida por la laguna, resultado de la simulación de flujo en el modelo hidráulico, usando como insumo los hidrogramas obtenidos del estudio hidrológico.

La oferta corresponde a la capacidad actual que puede ser transitada por la laguna.

Las capacidades requeridas fueron calculadas con el modelo hidráulico durante una simulación con duración de 36 horas, de acuerdo con el tiempo necesario para estabilizar el sistema y que la cuenca haya cumplido con el tiempo de concentración.

En los perfiles piezométricos que se muestran en las siguientes figuras también se observa como ambos drenes ven rebasada su capacidad, el Dren Santa Anita, por tener una sección muy reducida, mientras que el Dren Anhelito presenta desbordamientos tanto en la zona alta, en donde su capacidad se ve reducida por la escasa sección, como en la zona baja, debido a la topografía del terreno.

A continuación, se muestran los hidrogramas de derrame identificados en el Dren Anheló, con cuatro puntos, el más importante, es el que se presenta al inicio del mismo, debido a la incapacidad del dren de recibir los escurrimientos de la parte alta de una cuenca tan grande. Dicho derrame afecta a colonias ubicadas en la parte poniente de Reynosa, y alcanza un gasto pico de $34.6 \text{ m}^3/\text{s}$, con una duración de más de 6 horas.

Por su parte en los derrames que se presentan en el Dren Santa Anita se observa que el máximo alcanza un valor de $72.6 \text{ m}^3/\text{s}$, destacando que este derrame continúa hasta por 14 horas.

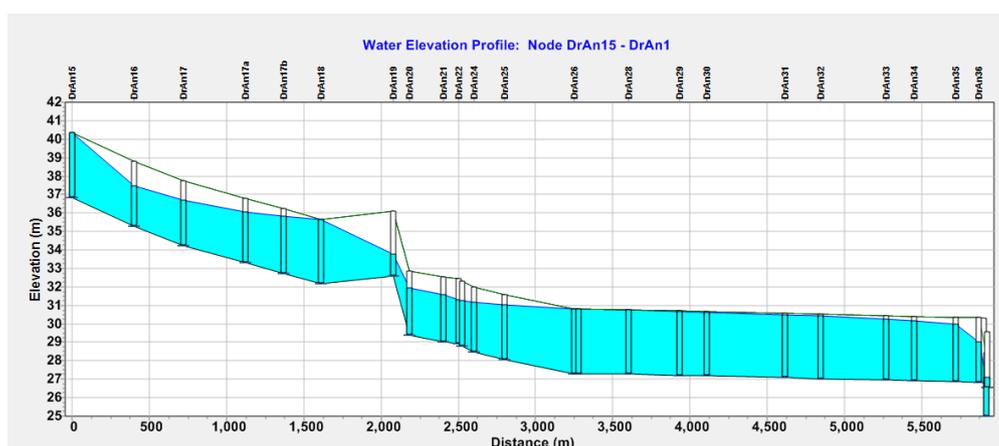


Figura 21. Perfil piezométrico del Dren Anheló, donde se muestra que la capacidad de éste ha sido rebasada en varios puntos.

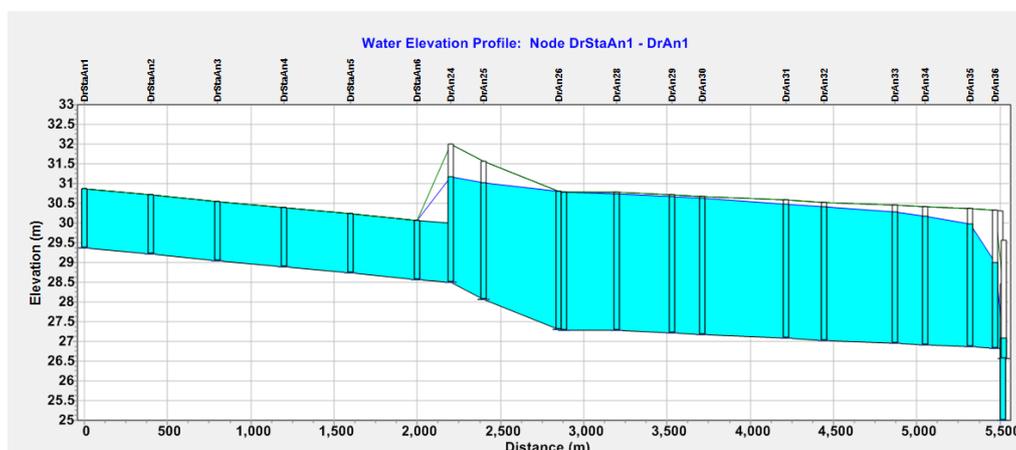


Figura 22. Perfil piezométrico del Dren Santa Anita, en el cual se observa que su capacidad es rebasada a lo largo de casi todo el dren

Es importante mencionar que, si bien el modelo resalta estas insuficiencias, en los cauces la situación se ve agravada, ya que los escurrimientos en la realidad reconocen su curso hacia las zonas bajas; sumando estos volúmenes en la zona plana en las inmediaciones del Dren Anheló y la Laguna La Escondida.

Por lo que respecta a la laguna, en el hidrograma de derrame se presenta un gasto máximo de $32 \text{ m}^3/\text{s}$ durante más de 16.5 horas.

Es importante señalar que, si bien las gráficas representan la magnitud y duración de la insuficiencia, la problemática de inundación es mayor; ya que depende de que los cauces o drenes recuperen su capacidad, o en algunos casos, al tratarse de zonas bajas sin

infraestructura, el volumen almacenado permanece ahí hasta que es desalojado mediante bombeo.

El volumen total derramado, por el subsistema analizado, es de 4.6 Mm³.

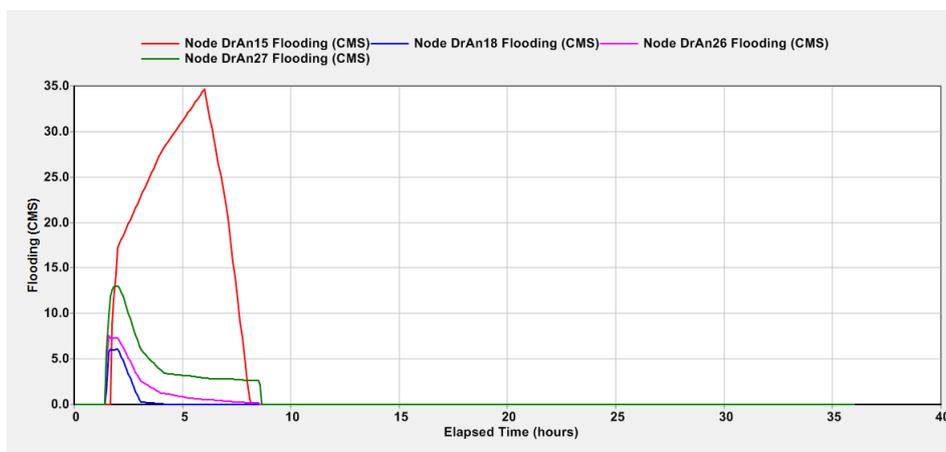


Figura 23. Hidrogramas de derrame que se presentan en el Dren Anheló

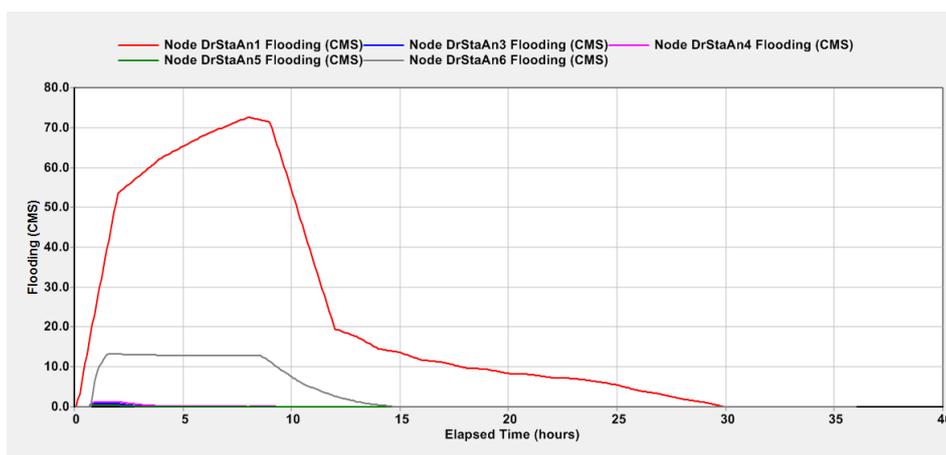


Figura 24. Hidrogramas de derrame que se presentan en el Dren Santa Anita

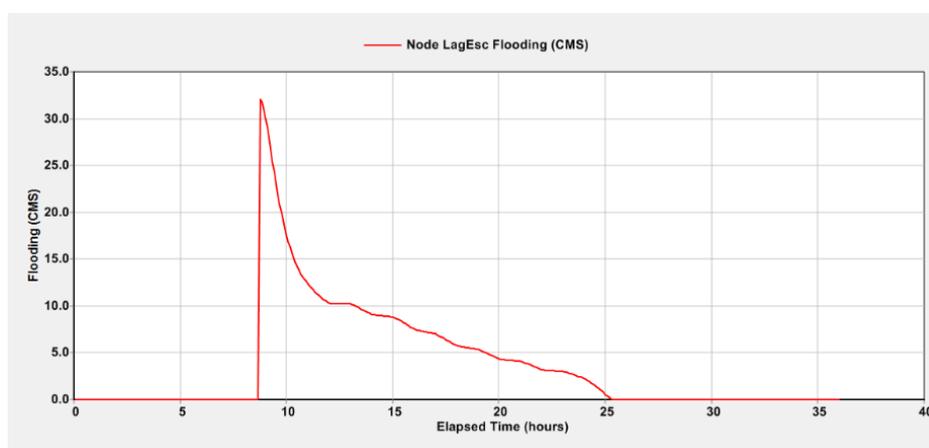


Figura 25. Hidrograma de derrame de la Laguna La escondida, que por sí solo genera un volumen derramado de caso medio millón de metros cúbicos

Al poniente de la ciudad, las colonias con mayor riesgo, en la cuenca son Parque Industrial del Norte, Integración Familiar ITAVU, Solidaridad, Granjas Económicas del Norte, Condado del Norte, Lomas del Real de Jarachina Sur.

Las afectaciones en estas colonias pueden ocasionarse por el remanso que se produce al inicio del Dren Anheló, debido a la sección reducida al inicio.

El Dren Santa Anita cuenta con desbordamientos antes de confluir al Dren Anheló, afectando a la colonia Jacinto López I, mientras que los derrames en el Dren Anheló afectan a las colonias Renacimiento y Fundadores.

Los desbordamientos de la laguna La Escondida, de acuerdo con el modelo hidráulico, presentan un riesgo de inundación en las colonias Burocrática, Roma (Burocrática), El Anheló, Lázaro Cárdenas, Lázaro Cárdenas Ampliación, La Escondida, La Escondida Ampliación, Delicias, Leal Puente I, José de Escandón, José Escandón Ampliación, Delicias Ampliación, Azteca, Juan Escutia, Revolución Verde, Lomas del Villar, Ernesto Zedillo y Paraíso.

II.6 Optimizaciones

No es técnicamente posible realizar optimizaciones a la infraestructura existente más allá del desazolve y limpieza de los drenes. Estas acciones se consideran en el cálculo de la oferta ya que son indispensables, aún, cuando las obras propuestas no se lleven a cabo.

Tabla 25 Costos por limpieza y desazolve

Dren	longitud m	ancho m	altura de azolve	azolve m3	Precio unitario (m 3)	Costo
Dren Santa Anita	2,314	1	0.10	231.40	\$50.00	\$11,570.00
Dren Anhelos aguas arriba	5,917	6	0.10	3,550.20	\$50.00	\$177,510.00
Laguna La Escondida	1,586,488	1	0.15	237,973.20	\$50.00	\$11,898,660.00
Dren Anhelos aguas abajo	2,475	19	0.10	4,702.50	\$50.00	\$235,125.00
					Subtotal	\$12,322,865.00
					IVA	\$1,971,658.40
					Total	\$14,294,523.40

Es evidente, que, si no se llevan a cabo obras y acciones para resolver los problemas provocados por las inundaciones, la oferta se reducirá en tanto la demanda aumentará y se incrementará la frecuencia de las mismas.

II.7 Análisis de la Oferta en caso de que el programa o proyecto de inversión no se lleve a cabo

Debido a que es técnicamente inviable realizar optimizaciones más allá del desazolve y limpieza de los drenes, mismo que ya está considerado en el cálculo de la oferta (capacidad hidráulica) de este estudio; se considera que la oferta continuará siendo la misma en condiciones actuales.

Del mismo modo, no existen planes y/o programas vigentes para captar conducir y desalojar las precipitaciones en las cuencas evaluadas.

II.8 Alternativas de solución

En los cauces, realizar una acción aguas abajo puede afectar o solucionar problemas de capacidad aguas arriba, reduciendo la demanda numérica, lo cual solo puede analizarse mediante el tránsito de avenidas. Es por ello, que, en este caso, se utilizó un modelo de simulación hidráulico, ya que, a diferencia de otro tipo de proyectos de infraestructura, no siempre se requiere realizar obras en el punto específico donde la capacidad u oferta es insuficiente para la demanda numérica. Pudiera resultar que, con una acción como modificación del material del cauce, el desazolve, o la modificación de algún bordo en el sitio o aguas abajo, sea suficiente para solucionar el resto de la problemática.

Las alternativas propuestas, garantizan que la capacidad de la infraestructura puede conducir las avenidas de diseño.

Para poder determinar las alternativas que eviten desbordamiento de escurrimientos pluviales en los canales y/o laguna en la cuenca La Escondida, se consideró priorizar obras que ayuden a incrementar la capacidad de conducción del flujo y obras a lo largo del cauce que permitan transitar el caudal de forma segura; sin que generen derrames que afecten a zonas conurbadas.

El inicio del dren Santa Anita, no fue considerado como prioridad, ya que los derrames que pudiesen ocurrir en esa zona no se encuentran en áreas urbanizadas, por lo tanto, no generan afectación, ni su mejoramiento un beneficio social.

II.8.1 Alternativa 1

Obras propuestas para la captación, la conducción y desalojo de los escurrimientos pluviales que afectan a 13,602 viviendas.

Tabla 26 obras propuestas (Alternativa 1)

Descripción	No.
Dren Santa Anita: sobreelevar bordos con concreto 1.5 m en 1 km.	1
Laguna La Escondida: ampliar su capacidad con la sobreelevación de bordos a lo largo de 9 km de perímetro con tablaestacado metálico y altura promedio de 3.5 m a partir de la cota más baja.	2
Dren Anhele: rectificar su sección, canalizarlo y revestirlo con concreto aguas debajo de la Laguna mediante un canal de geometría rectangular de 30 m de base y 3 m de altura a lo largo de 2.8 km	3

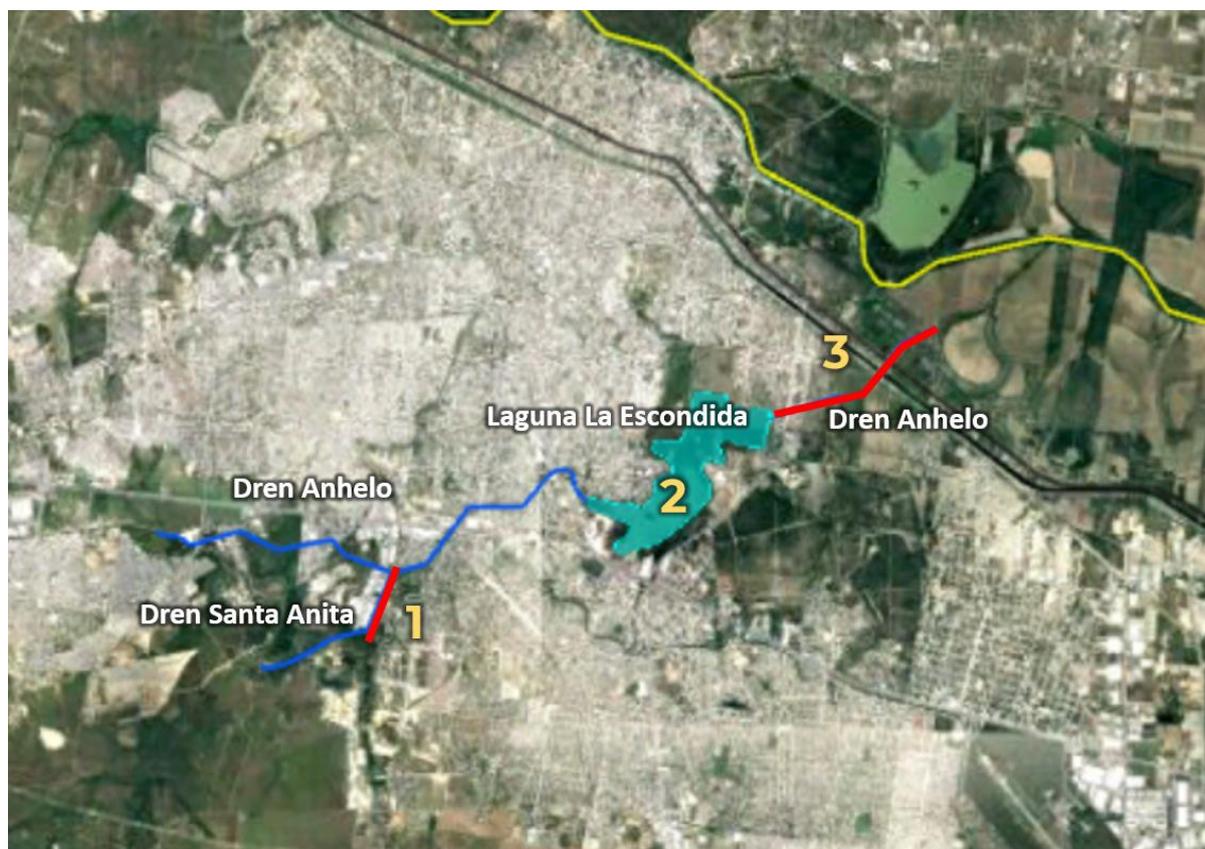


Figura 26 Obras propuestas Alternativa 1

Los resultados de implementar esta alternativa se muestran a continuación.

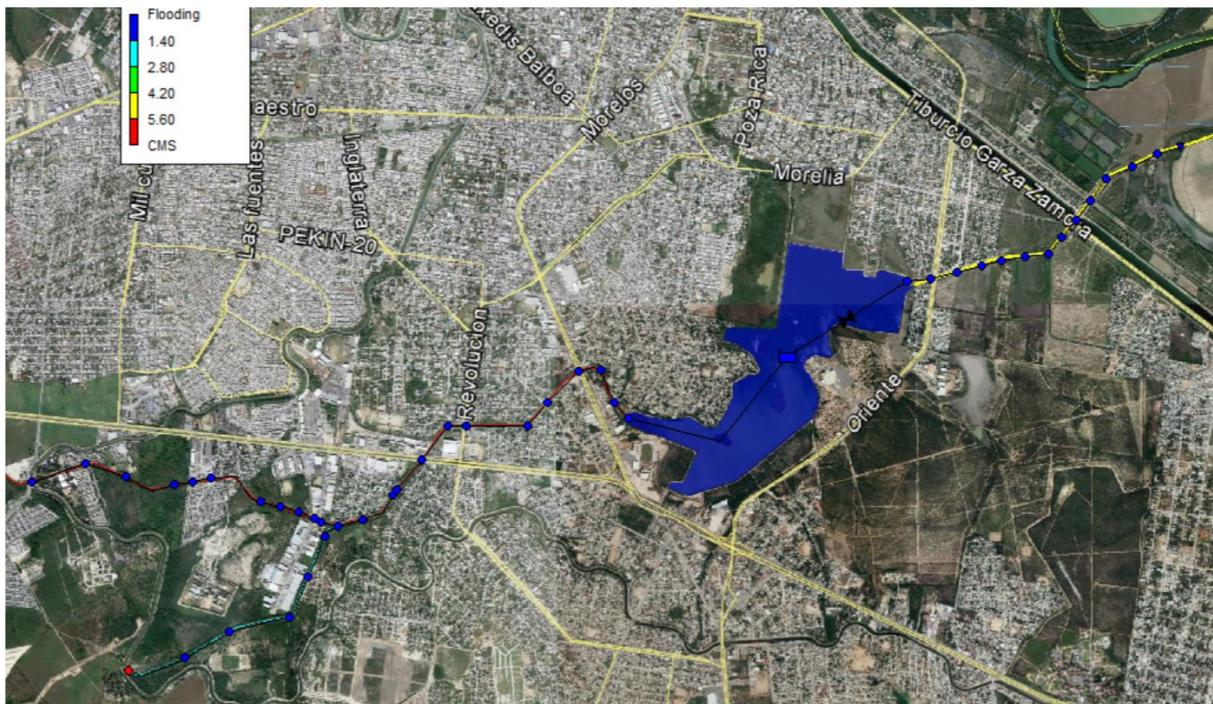


Figura 27 Modelo hidráulico para la alternativa 1

Después de 21 horas de lluvia no se observan inundaciones en áreas con infraestructura.

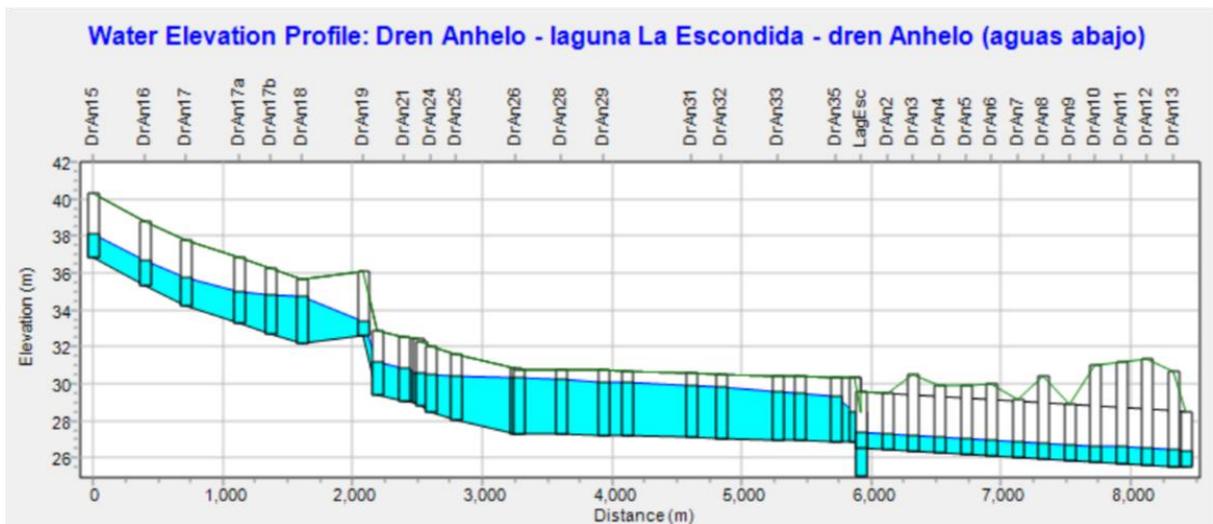


Figura 28 Perfil de simulación del Dren Anhelo y la laguna La Escondida después de 10 horas de lluvia, alternativa 1

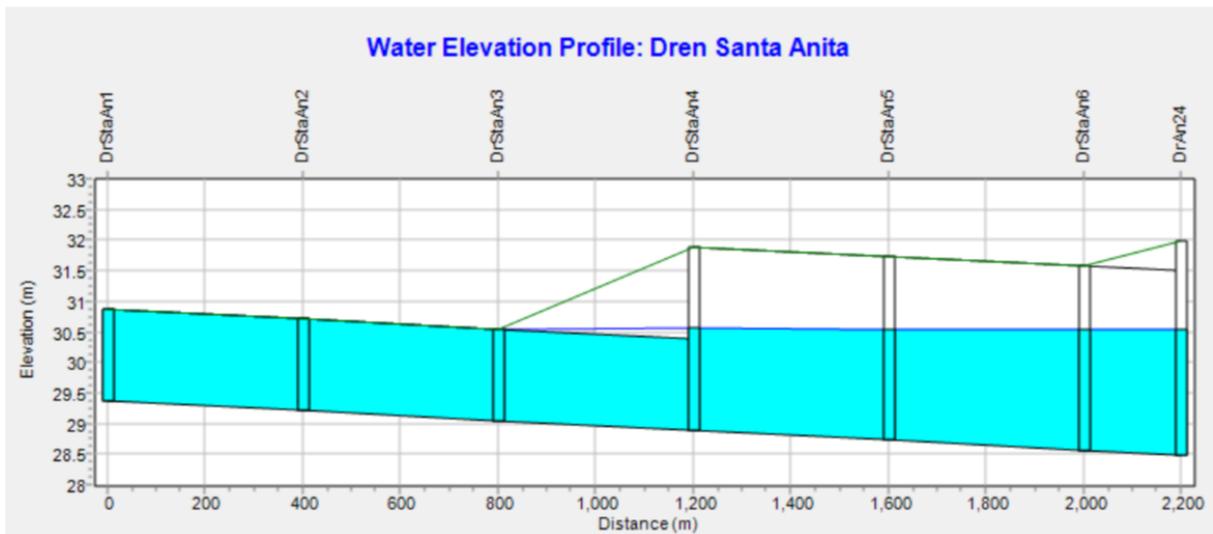


Figura 29 Perfil de simulación del Dren Santa Anita después de 10 horas de lluvia, alternativa 1

En el tramo inicial no se propone realizar obras debido a que el área no está urbanizada y no se generan pérdidas.

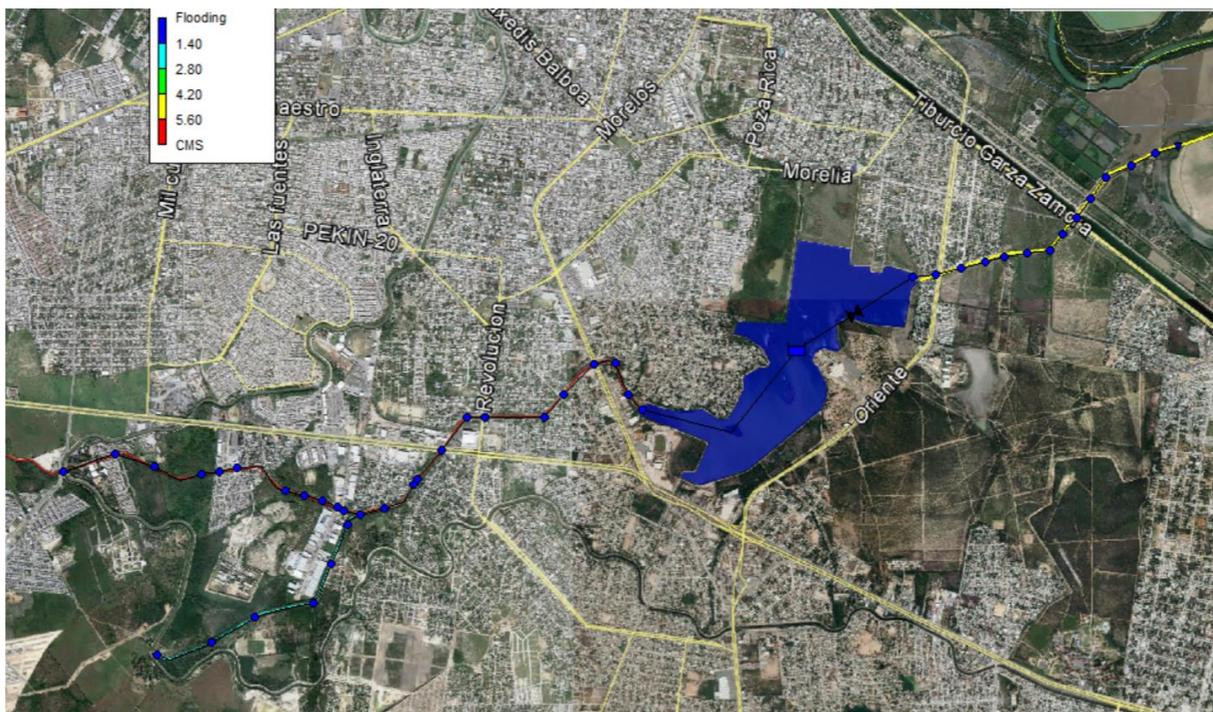


Figura 30 Modelo hidráulico para la alternativa 1

Después de 30 horas de lluvia no se observan inundaciones.

La laguna La Escondida funciona como un cuerpo regulador; su mantenimiento y desazolve anual es indispensable para mitigar las inundaciones.

Descripción	Inversión	Meses											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Total	\$479,104,917.58												

II.8.2 Alternativa 2

La alternativa 2 consiste en construir drenajes con apoyo de cajones cerrados que eviten el contacto directo con la población y reduzcan la incidencia de taponamientos por basura, o que generen por sí solos focos de infección, al mismo tiempo que incrementen la seguridad hídrica, teniendo menor susceptibilidad a rupturas o desbordamientos.

Tabla 29 obras propuestas (Alternativa 2)

Descripción	No.
Dren Santa Anita: encajonamiento con concreto de 3 m de base por 1.5 m de altura en 1 km	1
Laguna La Escondida: ampliar su capacidad con la sobreelevación de bordos a lo largo de 9 km de perímetro con tablaestacado metálico y altura promedio de 3.5 m a partir de la cota más baja.	2
Dren Anhelo: encajonamiento aguas debajo de la Laguna con 30 m de base y 3 m de altura a lo largo de 2.8 km	3

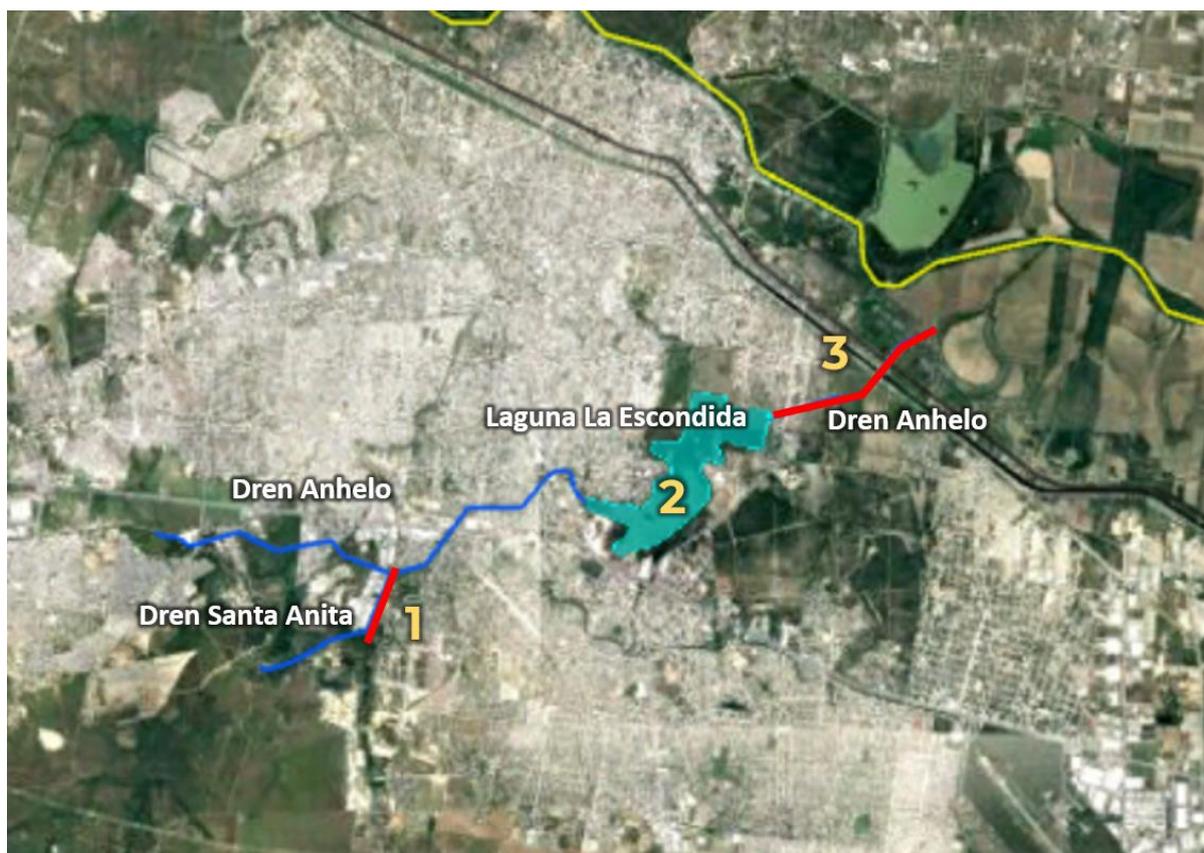


Figura 31 Obras propuestas Alternativa 2

A continuación, se muestra que para las obras propuestas como alternativa 2, no existen desbordamientos o derrames.

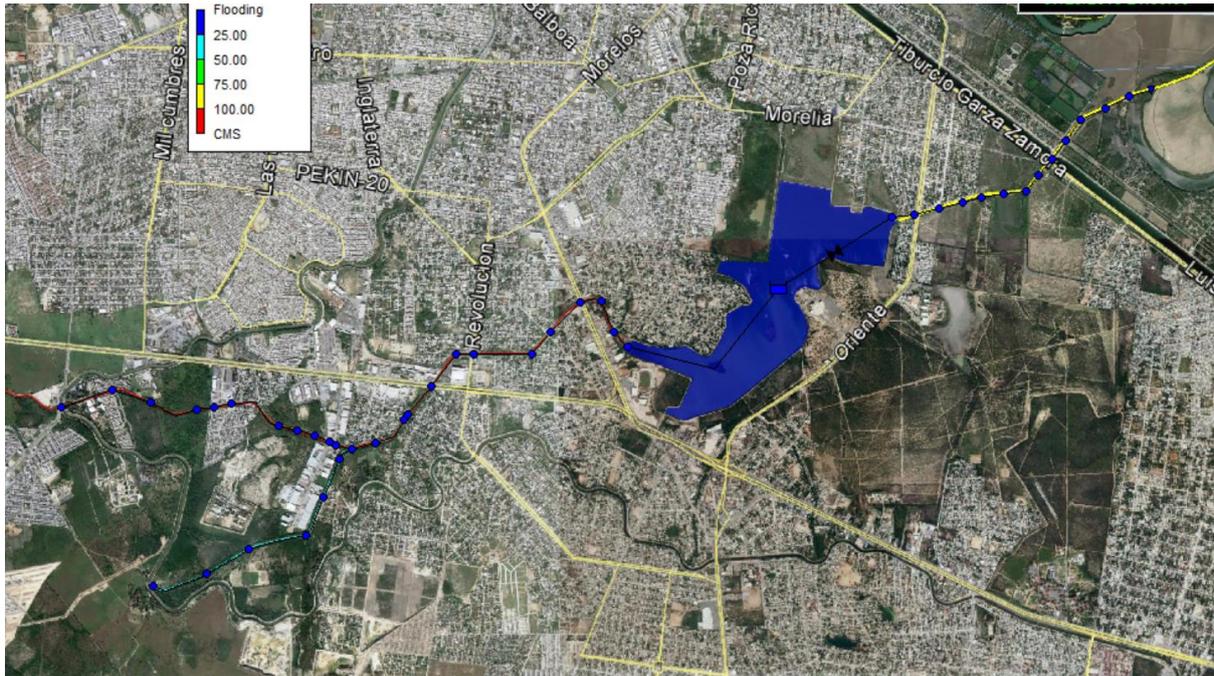


Figura 32 Modelo hidráulico para la Alternativa 2 después de 10 horas de lluvia.

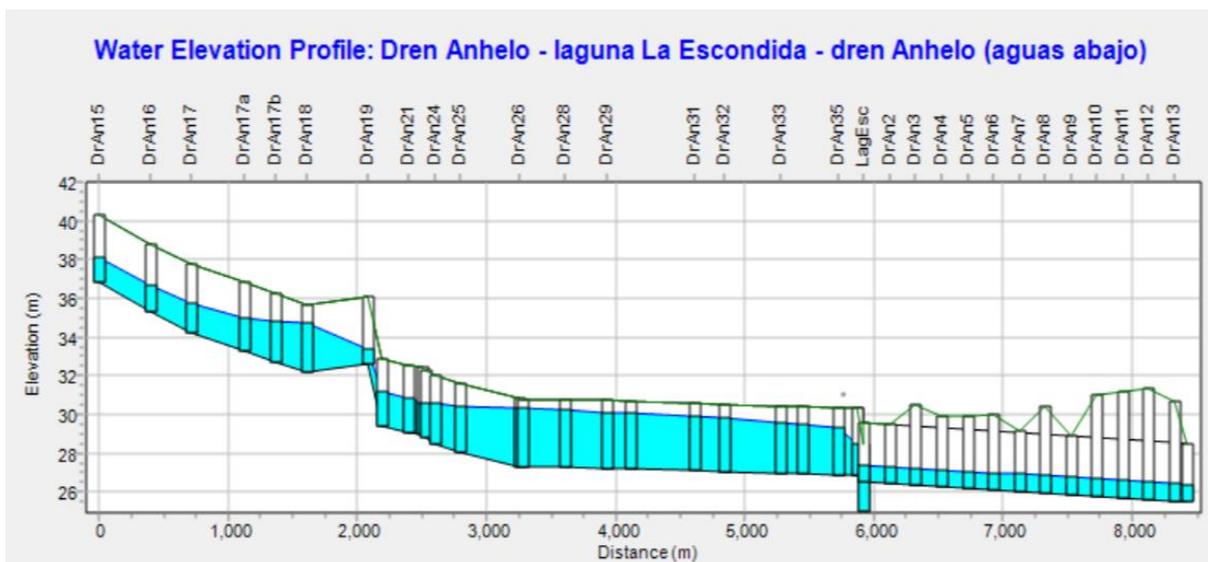


Figura 33 Perfil de simulación del Dren Anhelito y la laguna La Escondida después de 10 horas de lluvia, Alternativa 2.

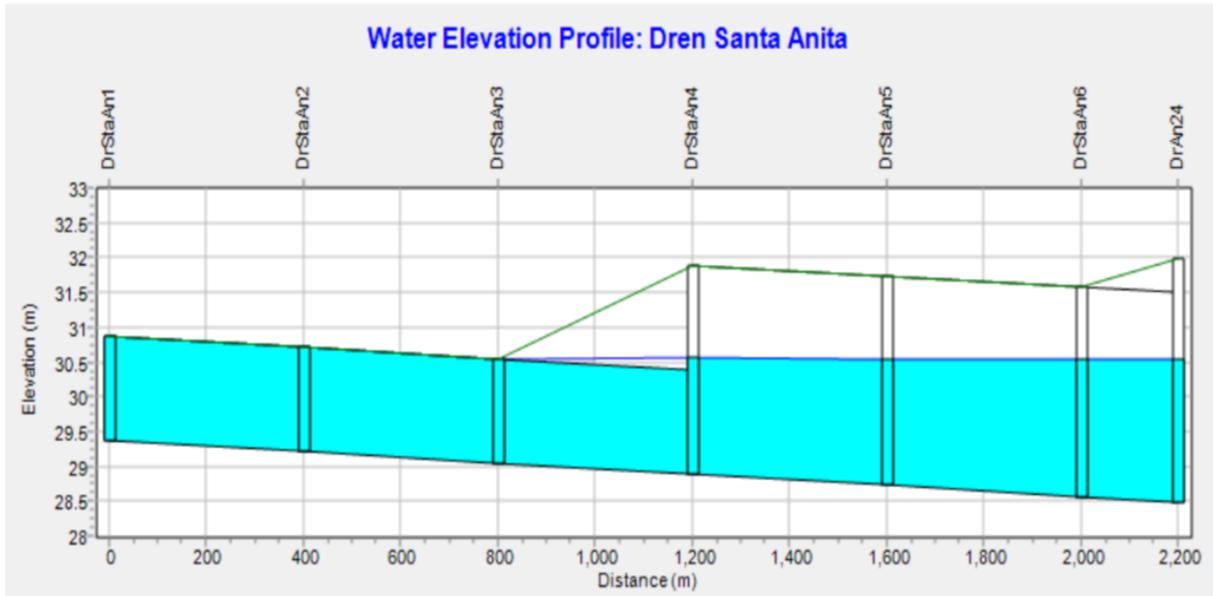


Figura 34 Perfil de simulación del Dren Santa Anita después de 10 horas de lluvia, Alternativa 2.

En los primeros 1,200 m no se consideran acciones debido a que no existen áreas urbanizadas y por lo tanto no se generan afectaciones.



Figura 35 Modelo hidráulico para la alternativa 2 después de 30 horas de lluvia.

Se observa que las acciones consideradas permiten conducir el caudal de forma segura sin que existan desbordamientos para la avenida asociada a un periodo de retorno de 10 años.

Descripción	Inversión	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
con tablaestacado metálico y altura promedio de 3.5 m a partir de la cota más baja.																									
Dren Santa Anita: encajonamiento con concreto de 3m de base por 2 m de altura en 1 km	\$37,441,859.41																								
Subtotal	\$1,281,561,107.63																								
IVA	\$205,049,777.22																								
Total	\$1,486,610,884.85																								

II.9 Beneficios esperados

Conforme a los modelos de simulación hidráulica y el censo de población del INEGI 2020, considerando un periodo de retorno de 10 de años, se beneficiaría a alrededor de 50,523 personas que actualmente son vulnerables a las afectaciones por inundaciones con tirantes de 0.30 m a 1.5 m y hasta 48 horas de retención.

En la siguiente figura se observan las áreas que tienen capacidad insuficiente.

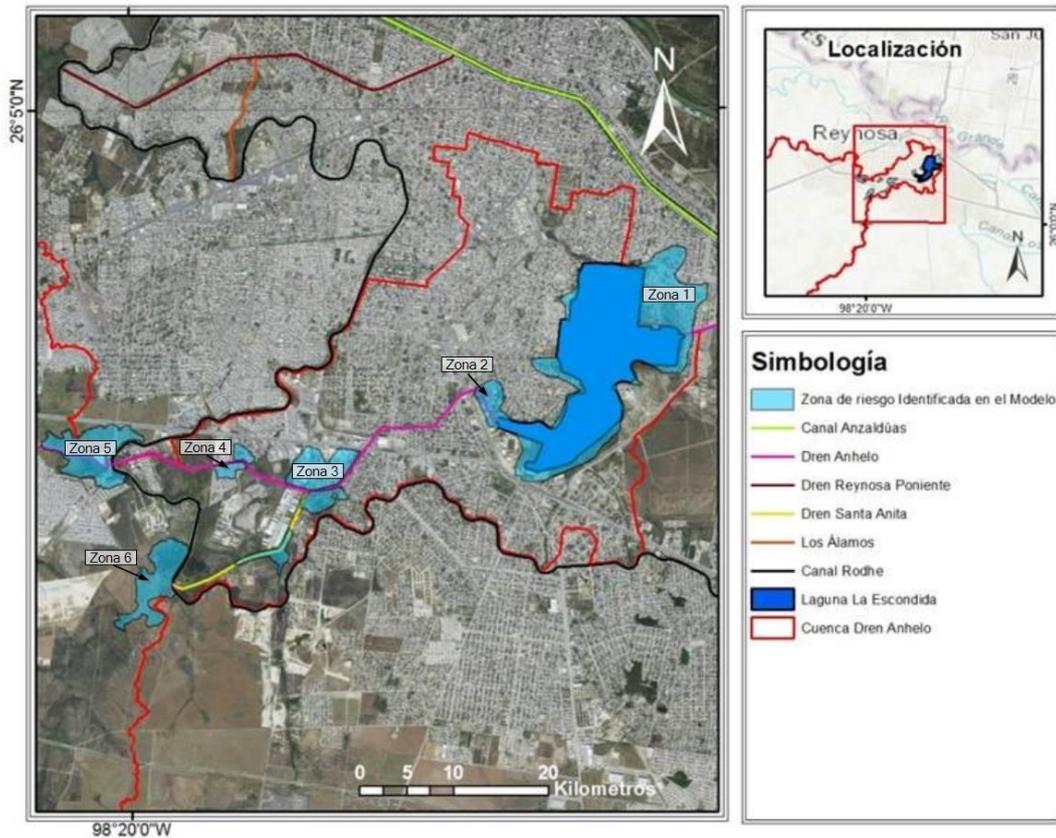


Figura 36 Áreas con riesgo de inundación

Tabla 31 Viviendas en zonas de riesgo

Zona	Viviendas
Zona 1	5,298
Zona 2	5,158
Zona 3	2,016
Zona 4	1,130
Total	13,602

INEGI 2020

Tabla 32 Cantidad de habitantes en zonas de riesgo

Población	Total
De 0-14 años	14,688
De 15 a 29 años	13,558
De 30 a 59 años	15,961
De 60 y más años	4,018
Con discapacidad	2,296
Total	50,523

INEGI 2020

Tabla 33 Beneficios y beneficiarios

Beneficio	Beneficiarios
Se evitarán los daños a viviendas que periódicamente se inundan.	13,602 viviendas y 50,523 habitantes

Beneficio	Beneficiarios
Se evitarán los daños al menaje de las viviendas que periódicamente se inundan.	13,602 viviendas y 50,523 habitantes
Se evitarán daños a edificaciones comerciales	Comercios principalmente ubicados en: Libramiento Oriente desde la calle Olmeca hasta la calle Lucía Calle Revolución Urbana desde la calle Comapa hasta la Av. Escuela Av. Porfirio Díaz/Blvd. Morelos desde la calle Predial hasta la Av. Américo Villarreal Guerra Libramiento Matamoros-Monterrey desde la calle San Rafael hasta la calle Lázaro Cárdenas
Se evitarán las pérdidas de insumos y/o mercancías comerciales	Negocios y comercios en la zona afectada
Se evitará la suspensión de actividades escolares y comerciales	Escuelas, como la primaria Leonel Quiroz y la Universidad Tecnológica de Tamaulipas Norte; el Parque Cultural Reynosa y la Unidad Deportiva Reynosa; así como negocios y comercios en la zona afectada
Se evitará la interrupción de tránsito vehicular y peatonal	704,767 habitantes de Reynosa, transeúntes y vehículos que transitan por la zona
Se evitará daño al pavimento y las banquetas	704,767 habitantes de Reynosa y población que transita por la zona
Se evitarán daños a vehículos automotores	Población que transita o estaciona sus vehículos en la zona
Se evitará la depreciación de los terrenos y edificaciones que están en zonas donde se presentan inundaciones y sus inmediaciones	Los propietarios de los terrenos y las edificaciones ubicadas en las zonas inundables y sus inmediaciones.
Se evitarán los focos de infección por estancamiento (además de que se combina el agua pluvial con el agua residual)	La población que habita en la zona afectada y sus inmediaciones.
Se evitará la necesidad de inversión de recursos económicos y humanos asociados a:	
Reparación de viviendas	Dueños y/o habitantes de las viviendas. Autoridades Municipales y/o Estatales y/o Federales
Menaje de casa	Dueños y/o habitantes de las viviendas. Autoridades Municipales y/o Estatales y/o Federales
Reparación de edificaciones comerciales	Dueños y/o habitantes de las viviendas. Autoridades Municipales y/o Estatales y/o Federales
Reposición de insumos y mercancías	Dueños y/o Habitantes de las viviendas.
Limpieza, recolección acarreo y disposición final de los materiales de residuo	Dueños y/o habitantes de las viviendas. Autoridades Municipales y/o Estatales y/o Federales
Sanitización de las zonas afectadas por inundaciones	Autoridades Municipales y/o Estatales y/o Federales
Atención médica y aplicación de medicamentos a la población	Autoridades Municipales y/o Estatales y/o Federales

Beneficio	Beneficiarios
Construcción de obras emergentes para la evacuación de las aguas estancadas y para protección de la población	Autoridades Municipales y/o Estatales y/o Federales
Reparación de pavimento, guarniciones y banquetas	Autoridades Municipales
Reparación de infraestructura de servicios públicos	Autoridades Municipales y/o Estatales y/o Federales
Se evitarán impactos económicos asociados a:	
Ausentismo de la población a sus fuentes de trabajo, derivado de la necesidad de reparar los daños	Los habitantes de las viviendas afectadas por las inundaciones.
Retraso o ausentismo de la población a su fuente de trabajo derivado de dificultades para su traslado	Los habitantes de las viviendas afectadas por las inundaciones y los que se trasladan a sus fuentes de trabajo transitando por las zonas inundadas
Retrasos en operaciones aduanales y flujo de comercio internacional entre Reynosa y Mc. Allen	Los comerciantes y empresas que utilizan los cruces fronterizos ubicados en Reynosa
La suspensión de actividades de los comercios o centros de trabajo	Los comerciantes y empresas ubicadas en las zonas inundables.
Inconformidades, molestias y reclamos de la población afectada, directa o indirectamente por las inundaciones.	Las autoridades Municipales, Las autoridades Estatales, Las autoridades Federales y la sociedad en su conjunto

II.10 Comparación de alternativas para la cuenca La Escondida

Para definir la alternativa más adecuada para disminuir la problemática de inundaciones en la ciudad de Reynosa en la cuenca del sistema del dren Anheló, el dren Santa Anita y la laguna La Escondida, se consideraron los aspectos económicos y los beneficios que generan.

Tabla 34 Comparación entre alternativa 1 y 2 para mitigar inundaciones en la cuenca asociada a la laguna La Escondida

Concepto	Alternativa 1	Alternativa 2
Inversión (con I.V.A)	\$479,104,917.58	\$ 1,486,610,884.85
Gastos sistemáticos anuales con IVA	\$1,889,533.86	\$ 2,834,300.79
Población beneficiada (habitantes en zona de inundación)	50,523	50,523
Viviendas beneficiadas (zona de inundación)	13,602	13,602
Población total beneficiada (habitantes en Reynosa)	704,767	704,767
Tiempo requerido para construcción	10 meses	24 meses
Vida útil de la obra	30 años	30 años

Concepto	Alternativa 1	Alternativa 2
Impacto ambiental	Bajo	Bajo
Grado de dificultad, complejidad y riesgo	Bajo	Medio
Requerimiento de tecnología y equipos, así como de personal altamente especializado	Bajo	Alto
Mitigación de inundaciones	Sí	Sí
Características generales	Se contemplan canales abiertos, los cuales son susceptibles a que se arroje basura, materiales, animales, árboles, restos de edificaciones, etc., así como al crecimiento de maleza, entre otros factores que pueden alterar la capacidad hidráulica y la velocidad del flujo del canal. Si se excede la capacidad de flujo, se desbordan en varios puntos.	Se contemplan conductos cerrados, los cuales tienen menor susceptibilidad a la basura a lo largo de su trayectoria. Si se excede la capacidad se desbordan en puntos específicos o pueden romperse.

Tomando en cuenta los montos de inversión por año y los costos de operación y mantenimiento de ambas alternativas en precios sociales (sin IVA) se calculó el costo anual equivalente, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 35 Valor Presente Neto y Costo anual equivalente de alternativas 1 y 2

	VPN	CAE
ALTERNATIVA 1	\$389,433,692.52	\$41,083,780.17
ALTERNATIVA 2	\$1,126,135,562.02	\$118,212,383.20

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36 Costos alternativa 1 para obras propuestas

Año	Costos Alternativa 1*		
	Inversión sin I.V.A.	Operación y Mantenimiento sin I.V.A.	Total Precios sociales
2023	\$413,021,480.67	-	\$ 413,021,480.67
2024 – 2053		\$ 48,867,255.00	\$ 48,867,255.00

Fuente: Elaboración propia.

*las obras iniciarán su construcción en 2023 y concluirán en 10 meses con 30 años de vida útil.

Tabla 37 Costos alternativa 2 para obras propuestas

Año	Costos Alternativa 2*		
	Inversión sin I.V.A.	Operación y Mantenimiento sin I.V.A.	Total Precios sociales
2023	\$ 580,295,507.63		\$ 580,295,507.63
2024	\$ 701,265,600.00		\$ 701,265,600.00
2025-2054		\$ 73,300,882.50	\$ 73,300,882.50

Fuente: Elaboración propia.

*las obras iniciarán su construcción en 2023 y concluirán en 24 meses con 30 años de vida útil.

II.10.1 Conclusión de alternativas

Considerando que los beneficios son similares para ambas alternativas y que la alternativa 2 tiene un costo anual equivalente casi 3 veces mayor al de la alternativa 1 a precios sociales, se considera que la alternativa 1 es la más adecuada para mitigar las inundaciones en el área de la Cuenca La Escondida de acuerdo con su costo y funcionalidad.

II.11 Situación con el Programa o Proyecto de Inversión

Con la implementación de las obras sugeridas para la captación, conducción y desalojo de los escurrimientos pluviales asociados a un periodo de retorno de 10 años, se logrará:

- Disminuir el daño a las viviendas y al menaje de casa de la población.
- Disminuir las inundaciones que ponen en riesgo la integridad física de la población
- Disminuir los daños a las edificaciones dedicadas al comercio y a los comerciantes
- Disminuir los problemas de movilidad y transporte de personas y mercancías
- Disminuir la depreciación de predios y edificaciones ubicados en el área afectada por las inundaciones.
- Disminuir la creación de focos infecciosos en los sitios en donde se estanca el agua de lluvia, mezclada con aguas residuales.
- Disminuir el daño a la infraestructura de servicios básicos.
- Disminuir gastos para la reparación de daños, limpieza y sanitización de las zonas afectadas y atención médica a la población afectada.
- Disminuir los gastos en la construcción de obras y servicios emergentes.
- Disminuir la pérdida de ingresos económicos a la población afectada
- Disminuir el malestar y reclamos de la población afectada
- Mejorar la calidad de vida de la población afectada y de los habitantes de la ciudad en su conjunto.

II.11.1 Descripción general

A continuación, se presenta la planeación general de las obras propuestas para la captación, conducción y desalojo de los escurrimientos pluviales que inundan la zona urbana de la ciudad de Reynosa en la cuenca La Escondida, el presupuesto correspondiente, el programa

de ejecución de las obras y la estimación de los gastos sistemáticos para la operación y el mantenimiento de las obras propuestas.

Las obras están calculadas para una avenida con periodo de retorno de 10 años y están basadas en resultados (mitigación de inundaciones) después de ser analizados por modelos hidrológicos que contemplaron una lluvia por 36 horas mediante el software SWMM 5.1.

Las obras que se proponen para el área de la cuenca La Escondida, contemplan la ampliación del dren Anhelo aguas abajo, su rectificación, canalización y revestimiento, así como la sobreelevación de los bordos de la laguna La Escondida y de los bordos del dren Santa Anita.

En la siguiente figura se pueden observar las ubicaciones de las obras propuestas:

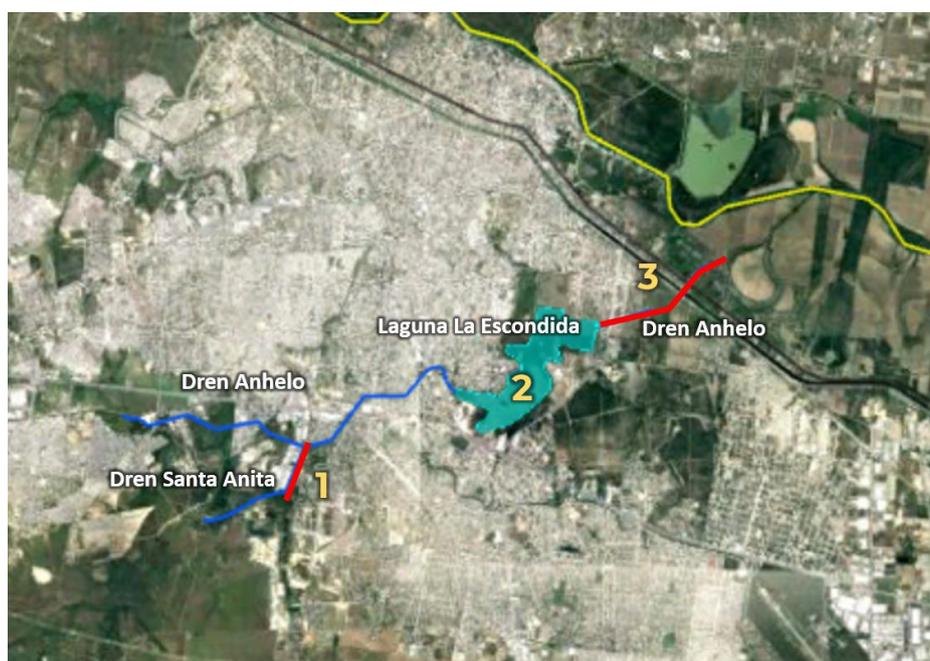


Figura 37 Obras civiles propuestas para mitigar las inundaciones en la cuenca La Escondida en Reynosa, Tamaulipas.

De igual forma, en la tabla siguiente se detallan las características de las obras que se proponen para este proyecto, mismas que están asociadas a beneficios en las zonas circundantes.

Tabla 38 Descripción de obras propuestas para la cuenca La Escondida, Reynosa, Tamaulipas

No.	Descripción
3	Dren Anhelo: rectificar su sección, canalizarlo y revestirlo con concreto aguas debajo de la Laguna mediante un canal de geometría rectangular de 30 m de base y 3 m de altura a lo largo de 2.8 km
2	Laguna La Escondida: ampliar su capacidad con la sobreelevación de bordos a lo largo de 9 km de perímetro con tablaestacado metálico y altura promedio de 3.5 m a partir

No.	Descripción
	de la cota más baja.
1	Dren Santa Anita: sobreelevar bordos con concreto 1.5 m en 1 km de longitud

II.11.2 Inversión requerida:

Tabla 39 Inversión requerida para las obras en el dren Anhelo, la Laguna la Escondida y el dren Santa Anita, Reynosa, Tamaulipas

Descripción	Inversión
Dren Anhelo: rectificar su sección, canalizarlo y revestirlo con concreto aguas debajo de la Laguna mediante un canal de geometría rectangular de 30 m de base y 3 m de altura a lo largo de 2.8 km	\$301,842,566.28
Laguna La Escondida: ampliar su capacidad con la sobreelevación de bordos a lo largo de 9 km de perímetro con tablaestacado metálico y altura promedio de 3.5 m a partir de la cota más baja.	\$75,343,248.22
Dren Santa Anita: sobreelevar bordos con concreto 1.5 m en 1 km de longitud	\$35,835,666.17
Subtotal	\$413,021,480.67
IVA	\$66,083,436.91
Total	\$479,104,917.58

Es necesario considerar que existen \$12,030,741.77 por obras inducidas debido a reubicación de servicios y \$53,692,792.49 asociados a proyectos, gerencias externa y supervisión. Adicionalmente los gastos anuales de mantenimiento son de \$1,628,908.50

El total requerido es de \$478,745,014.93 más I.V.A.; además del mantenimiento anual que asciende a \$48,867,255.00 más I.V.A. durante los 30 años de operación.

II.11.2.1 Obras inducidas por reubicación de servicios:

Tabla 40 Obras inducidas por reubicación de servicios para el dren Anhelo, la laguna La Escondida y el dren Santa Anita

Obra	Agua potable \$	Alcantarillado \$	Total Precios sociales
Conducción	\$ 6,015,370.88	\$ 6,015,370.88	\$ 12,030,741.77

Estas obras se refieren a cambios de la infraestructura actual por cruce o interferencia con las líneas de agua potable y alcantarillado y por ello se desglosan en estos dos rubros.

II.11.2.2 Gastos sistemáticos

En los costos sistemáticos de operación de esta alternativa no se considera sistema de operación y control manuales, esto debido a que las propuestas están compuestas por:

- Estructuras de descarga y regulación que funcionan como vertedores, los cuales, al alcanzar la cresta y su punto de vertido operan sin necesidad de intervención manual.
- Ampliación de drenes pluviales que funcionan automáticamente cuando inicia una precipitación y el agua comienza a escurrir. De esta forma, de acuerdo con su tiempo de concentración hidráulicamente el agua va transitando por el dren. El dren, al encauzar los escurrimientos debe tener la capacidad para conducir el caudal, de tal forma que no desborde y, una vez concluida la lluvia comienza a vaciarse sin necesidad de intervención manual.

Por lo anterior, únicamente se consideran como costos sistemáticos aquellos relacionados a la limpieza y conservación de las estructuras y ascienden a \$1,628,908.50 anuales más I.V.A, es decir, \$1,889,533.86 pesos.

Debido a que la operación es por gravedad, no se considera energía eléctrica, únicamente equipo como maquinaria para desazolve y mano de obra, así como materiales para reparaciones únicamente con fines de mantenimiento.

II.11.3 Programa de construcción:

A continuación, se detalla el programa de construcción de las obras propuestas para los drenes Anhele, Santa Anita y la laguna La Escondida.

Tabla 41 Programa de construcción de las obras propuestas en la cuenca La Escondida.

Descripción	Inversión	Meses									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dren Anhele: rectificar su sección, canalizarlo y revestirlo con concreto aguas debajo de la Laguna mediante un canal de geometría rectangular de 30 m de base y 3 m de altura a lo largo de 2.8 km	\$301,842,566.28										
Laguna La Escondida: ampliar su capacidad con la sobre elevación de bordos a lo largo de 9 km de perímetro con tablaestacado metálico y altura promedio de 3.5 m a partir de la cota más baja.	\$75,343,248.22										
Dren Santa Anita: sobre elevar bordos con concreto 1.5 m en 1 km	\$35,835,666.17										
Subtotal	\$413,021,480.68										
IVA	\$66,083,436.91										
Total	\$479,104,917.59										

II.11.4 Alineación estratégica

II.11.4.1 Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024

El presente proyecto se alinea con el objetivo 2 del Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024, en los puntos de generar salud y bienestar a la población y crear empleos a través de inversiones en infraestructura.

- Objetivo 2. “Garantizar empleo, educación, salud y bienestar mediante la creación de puestos de trabajo, el cumplimiento del derecho de todos los

jóvenes del país a la educación superior, la inversión en infraestructura y servicios de salud y por medio de los programas regionales, sectoriales y coyunturales de desarrollo” (Presidencia de México, 2019).

II.11.4.2 Programa Nacional Hídrico 2019-2024

- “*Objetivo 3*. Reducir la vulnerabilidad de la población ante inundaciones y sequías, con énfasis en pueblos indígenas y afroamericanos.
 - i. Fortalecer los sistemas de observación e información hidrológica y meteorológica a fin de mejorar la gestión integral de riesgos.
 - ii. Fortalecer medidas de prevención de daños frente a fenómenos hidrometeorológicos y de adaptación al cambio climático, para reducir vulnerabilidad.
 - iii. Desarrollar infraestructura considerando soluciones basadas en la naturaleza para la protección de centros de población y zonas productivas.
 - iv. Fortalecer la atención de emergencias relacionadas con el agua para proteger a la población.” (CONAGUA, 2020)

II.11.4.3 Plan Estatal de Desarrollo 2016-2022

- “*Objetivo 3.2.4: Desarrollar la infraestructura, el equipamiento y las condiciones* que contribuyan a la mejora de la competitividad del estado y la calidad de vida de sus habitantes.
 - i. Estrategia Impulsar la mejora y mantenimiento de la infraestructura y equipamiento existentes, así como la creación de nuevas y modernas obras públicas, buscando un crecimiento urbano sostenible, equitativo y ordenado. Líneas de acción
 - 1. 3.2.4.1 Elaborar planes de infraestructura a largo plazo acordes con las tendencias de crecimiento demográfico y ubicación geográfica de las regiones del estado.
- *Objetivo 3.5.2* Administrar de manera sustentable los recursos hídricos del estado.
 - i. Estrategia: Impulsar acciones y crear infraestructura que ordene y conserve el uso sustentable del agua.
 - ii. Líneas de acción:
 - 1. Desarrollar un nuevo modelo de gestión integral del agua, para el manejo eficiente y la correcta distribución del agua en cuencas y acuíferos.
 - 2. Construir, mantener y conservar la infraestructura hidráulica.
- *Objetivo 3.5.1* Impulsar políticas sustentables de protección y conservación del medio ambiente y aprovechamiento de los recursos naturales
 - i. Estrategia: mantener el equilibrio del medio ambiente impulsando políticas y acciones que fomenten la disminución de contaminantes y el desarrollo sustentable
 - Líneas de acción:
 - Reducir la vulnerabilidad mediante la gestión integral de los riesgos, la salud, el recurso hídrico, los sectores productivos primarios, los recursos naturales, así como aumentar la resiliencia ante el cambio climático.” (Gobierno de Tamaulipas, 2017)

II.11.4.4 Plan municipal de Desarrollo, en virtud de que el Plan actual se encuentra en proceso de elaboración, se considera el Plan 2018-2021

- “Eje 1: Reynosa moderna y sustentable

b) hacer que la ciudad funcione para que la gente realice sus actividades cotidianas conectándose de manera eficiente con recursos y oportunidades para su desarrollo integral.

c) revertir los procesos históricos de marginación y exclusión que producen desigualdad, generan violencia e impiden el desarrollo pleno de nuestra sociedad.

▪ 1.1 Sub Eje: Obra Pública. Estrategia A1. Programa municipal de obras públicas:

• Líneas de Acción:

1. Fortalecer el Municipio mediante una planeación del territorio que promueva obra pública orientada hacia la inclusión social, el desarrollo integral y la sustentabilidad ambiental de la ciudad.

2. Proveer las obras de infraestructura y equipamiento urbano que requiere la ciudad haciendo uso de instrumentos de planeación agrupados en siete planes sectoriales que norman las actividades de manera sistematizada.

3. Respetar y fomentar la integración regional consolidando el Plan Metropolitano de la Zona Conurbada entre Reynosa y Río Bravo.

4. Impulsar la realización de obras de nueva infraestructura para la captación, delimitación y encauzamiento de las aguas pluviales dirigidas a mitigar la exposición de la población ante las amenazas de origen natural.

5. Solicitar para construcciones de alto impacto, estudios que permitan mitigar los riesgos derivados por el mismo proyecto”. (Ayuntamiento de Reynosa, Tamaulipas, 2019).

II.11.4.5 Artículo 34 de la Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria

- Para la programación de los recursos destinados a programas y proyectos de inversión, las dependencias y entidades deberán observar el siguiente procedimiento, sujetándose a lo establecido en el Reglamento

I. Contar con un mecanismo de planeación de las inversiones, en el cual:

a) Se identifiquen los programas y proyectos de inversión en proceso de realización, así como aquéllos que se consideren susceptibles de realizar en años futuros;

b) Se establezcan las necesidades de inversión a corto, mediano y largo plazo, mediante criterios de evaluación que permitan establecer prioridades entre los proyectos. Los mecanismos de planeación a que hace referencia esta fracción serán normados y evaluados por la Secretaría. (Gobierno de México, 2019)

Con respecto a las acciones para disminuir los riesgos de inundaciones a los habitantes de Reynosa, actualmente no se lleva a cabo ninguna acción que contribuya a resolver esta problemática.

Los proyectos de inversión identificados en la alternativa 1 para la cuenca La Escondida son susceptibles de realizar en años futuros; sin embargo, la necesidad de inversión a corto y mediano plazo en esta materia es indispensable para disminuir las pérdidas asociadas a las afectaciones, además de que concuerdan con los objetivos federales, estatales y municipales.

Descripción	Inversión	Meses 2023											
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Subtotal	\$413,021,480.68												
IVA	\$66,083,436.91												
Total	\$479,104,917.59												

II.11.8 Monto total de inversión

La inversión requerida para realizar las obras que mitigarán las inundaciones en la cuenca la Escondida en Reynosa, Tamaulipas, considerando los rubros: inversión inicial, gastos por obras inducidas, gerencia externa, la supervisión y la elaboración de proyectos es de:

Tabla 44 Inversión total requerida

Construcción	Inversión
Ampliación del dren Anheló, sobreelevación de bordos de la laguna La Escondida y sobreelevación de bordos en el dren Santa Anita	413,021,480.67
Obra Inducida	12,030,741.77
Gerencia externa (2.25%)	9,292,983.32
Supervisión (2.25 %)	9,292,983.32
Proyectos (8.5%)	35,106,825.86
Subtotal	478,745,014.93
IVA	76,599,202.39
Total	555,344,217.32

**Precios incluyen los costos de obras inducidas por reubicación de servicios*

Fuente: Elaboración propia

Por lo que se refiere a los costos de operación y conservación de la infraestructura, puesto que el sistema trabaja en su totalidad por gravedad y sigue un flujo natural, para los trabajos de operación, la conservación y el mantenimiento de la infraestructura se consideran

- Trabajos de desazolve
- Trabajos de limpieza de canales, y conductos
- Eventual reparación de partes estructurales dañadas

De conformidad con lo anterior, se consideran los siguientes montos como costos anuales de operación, conservación y mantenimiento de las obras:

Tabla 45 Gastos sistemáticos anuales para las obras propuestas

Construcción	Gastos sistemáticos anuales
Ampliación del dren Anheló, sobreelevación de bordos de la laguna La Escondida y sobreelevación de bordos en el dren Santa Anita	1,628,908.5
IVA	260,625.36
Total	1,889,533.86

Fuente: Elaboración propia

II.11.9 Calendario de actividades

Se considera que la ejecución del proyecto podrá realizarse en un plazo de 10 meses, iniciando en enero de 2023 con las actividades preparatorias para su ejecución y en marzo 2023 con las obras civiles, por tanto, se considera concluir las obras en el mes de diciembre de 2023.

II.11.10 Calendario de inversión

Al ser una obra que se concluye en un ejercicio fiscal, la totalidad de los recursos deberá programarse para 2023, conforme avance de estimación de acuerdo con la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas.

II.11.11 Financiamiento

Respecto a las fuentes de recursos de inversión, se prevé que el financiamiento se realice a través del Gobierno Federal por conducto de la Comisión Nacional del Agua con recursos Fiscales por el 50 % y el 50 % sea inversión Estatal.

II.11.12 Capacidad instalada que se tendría y su evolución en el horizonte de evaluación del programa o proyecto de inversión

A continuación, se presenta la capacidad hidráulica del cauce a cielo abierto y de las obras propuestas para captar, conducir y desalojar los escurrimientos pluviales para cada una de las cuencas de estudio.

Tabla 46 Detalle de capacidades hidráulicas para el Dren Anheló, una vez realizadas las obras civiles propuestas para mitigar las inundaciones

Punto de control	Capacidad hidráulica – Oferta en condiciones actuales (m³/s)	Demanda hidráulica en condiciones actuales (m³/s)	Capacidad hidráulica – Oferta en condiciones con proyecto (m³/s)	Demanda hidráulica en condiciones con proyecto (m³/s)
A1-A2	52.2	53.8	84.65	52.8
A2-A3	48.4	63.2	53.66	50.0
A3-A4	40.5	54.9	54.60	50.0
A4-LE	47.2	44.3	52.53	50.0
LE	87.3	148.9	152.43	150.0
A5-descarga	25.5	25.5	30	22
SA1-SA2	4.1	5.3	5.9	5.3

Lo anterior demuestra que, las obras hidráulicas como un canal o dren, que en condiciones actuales puede presentar una demanda determinada, al realizarse modificaciones a su estructura puede disminuir o aumentar, como el caso del dren Anheló, que, al incrementar la velocidad en algunos puntos, disminuye la demanda de caudal a transitar por un punto determinado.

Es indispensable realizar mantenimiento a las obras para que la capacidad instalada se mantenga constante durante el horizonte de evaluación.

II.11.13 Metas anuales y totales de producción de bienes y servicios cuantificadas en el horizonte de evaluación

Después del periodo de construcción de las obras de drenaje propuestas, 10 meses, se solucionará en buena medida la problemática de inundación y de daños que se presentan. En este plazo se alcanzarán las metas totales de protección a la población de Reynosa asentada en las zonas de riesgo de la cuenca La Escondida.

II.11.14 Vida útil

Respecto a la vida útil de las obras que comprende el presente documento, considerando las acciones a realizar y el tipo de material que se utilizará en las obras que las componen, se estima que la vida útil de las mismas alcanza entre 20 y 30 años. Para efectos de su análisis y en el caso del horizonte de evaluación se ha considerado un periodo de 30 años, considerando 10 meses de construcción para las obras en la cuenca La Escondida.

II.11.15 Descripción de los aspectos más relevantes para determinar la viabilidad del programa o proyecto de inversión

Debido al monto requerido de inversión de las obras, inferior a los 500 mdp, se evaluó este proyecto a nivel de perfil de conformidad con lo establecido en los lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión publicados por la Secretaría de hacienda y Crédito Público el lunes 30 de diciembre de 2013.

No obstante, al estar el monto cercano a los 500 mdp, se consideró que la solución presentada sea 100 % factible. Se evaluó conforme a la normatividad de Conagua el tránsito de la avenida asociada a un periodo de retorno de 10 años y su Manual MAPAS.

Las obras consisten en canales y encauzamiento de corrientes que se han llevado a cabo en nuestro país a lo largo de las últimas décadas por lo que se comprueba a través de las obras existentes que se cuenta con materiales disponibles y empresas para poder realizarlos.

Si bien, aún es necesario elaborar los proyectos ejecutivos que determinen con precisión la cantidad de material necesario para el desarrollo de las obras, en los apartados subsecuentes se explica la metodología.

Con ello, se comprueba la factibilidad técnica de las obras, la económica es la desarrollada en los capítulos subsecuentes de este análisis, donde el proyecto resulta rentable, la legal y la ambiental se apegan a la normativa existente y son totalmente factibles.

II.11.16 Conclusiones de la factibilidad técnica, legal, económica y ambiental

II.11.16.1 Con relación a la Factibilidad técnica

En la información contenida en los estudios de factibilidad técnica sobre las obras propuestas en Reynosa, Tamaulipas, se define la infraestructura disponible, se realizaron los estudios topográficos, hidrológicos y se formularon los anteproyectos de las obras propuestas, sobre el manejo integral de las inundaciones en el medio urbano.

Entre los principales aspectos considerados para análisis y formulación del proyecto para determinar la factibilidad técnica se pueden señalar los siguientes:

- Se tiene que el cálculo y tránsito de las avenidas a través de un modelo hidráulico realizado mediante el software SWMM 5.1 demostrando que es seguro conducir el caudal asociado a la avenida con periodo de retorno de 10 años.
- Se realizó el estudio completo de hidrología para calcular los escurrimientos para la cuenca que se delimitó y utilizó en este proyecto, para tormentas de diseño con un periodo de retorno de 10 años.
- Las áreas de inundación fueron determinadas a partir de modelos y fueron configuradas espacialmente con los valores obtenidos, tanto en extensión como en tirantes alcanzados.

Históricamente, la federación ha venido realizando obras similares como construcción de cauces, revestimiento, ampliación, rehabilitación de drenes y cauces, mantenimiento, construcción de estructuras de control, entre otros.

Por ello, se determina que existen empresas, materiales y mano de obra para poder llevar a cabo las obras consideradas en el proyecto de ampliación del drenaje pluvial de la ciudad de Reynosa.

Para determinar los costos, se utilizó como base el catálogo de precios unitarios de la Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento de la Conagua que considera la instalación y suministro; con los precios unitarios de los materiales, las cantidades necesarias de acuerdo con las dimensiones de las estructuras propuestas y la investigación de mercado anterior se determinaron los precios de las obras.

II.11.16.2 Con relación a la Factibilidad legal

- Ley de aguas nacionales, artículos 15, 83, 84, 96 Bis 2, Frac. III y 100.
- Ley General de Asentamientos Humanos – en relación con la fijación de normas para planear y regular el ordenamiento territorial de los asentamientos humanos y la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población. Art. 1 Fracc. II; artículo 2º, Fracción XIV; Art. 3, Fracc XII, Art. 4; Art. 5 Fracc. VIII; Art. 11; artículo 19;
- Ley General de Protección Civil – tiene por objeto el establecer las bases de la coordinación en materia de protección civil entre los tres órdenes de gobierno. Art. 1; artículo 2º, fracciones IV, V, XII, XVII, XVII y XIX.

Tomando en cuenta que la mayor parte de las obras se llevarán a cabo en terrenos propiedad de la federación (vías públicas) y de la jurisdicción estatal, no se prevén problemas legales. Solamente será necesario realizar los trámites de ocupación de zona federal, ante la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en los sitios en que los interceptores descarguen sus aguas en corrientes de Aguas Nacionales.

No obstante, al pertenecer a la Federación y/o estado pueden ser intervenidos para su rehabilitación, modernización y/o mantenimiento sin requerir permisos que dependan de terceros más que los permisos de construcción de la Federación y el municipio. El municipio acepta las obras debido a que con ellas se logrará evitar daños a la infraestructura municipal existente y a la población de la zona, por lo que es legalmente factible la realización de la obra.

II.11.16.3 Con relación a la Factibilidad ambiental

Respecto a la factibilidad Ambiental, se ha establecido que este tipo de proyectos se encuentran exceptuados y por lo tanto no requieren ingresar al procedimiento de evaluación de impacto ambiental de competencia federal, de conformidad con el art. 28 fracción I de la

ley general del equilibrio ecológico y protección al ambiente (LGEEPA) y el artículo 5 inciso A fracción 1 y 9 del reglamento de (LGEEPA) en materia de impacto ambiental (REIA).

En materia ambiental además de la identificación de los impactos generados por la ejecución y operación de las obras de infraestructura hidráulica (descripción del medio, infraestructura, factores de la zona como suelos, hidrología y rasgos biológicos), los trabajos realizados permiten identificar las acciones con el propósito de atenuar sus efectos con el medio ambiente:

- **Emisiones:** Se cumplirán las disposiciones señaladas en el reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico en materia de contaminación a la atmósfera y a la NOM-080-ECOL-1994 que establece los límites permisibles de emisión de ruido proveniente del escape de los vehículos automotores, motocicletas y triciclos motorizados en circulación.
- **Descargas de aguas residuales:** Debido a la naturaleza de este proyecto, es posible que se ocasionen descargas de este tipo que resulten por afectaciones a la infraestructura de drenaje existente, sin embargo, se evitarán en manera de lo posible. Para el caso de las disposiciones sanitarias de los empleados de construcción, serán instaladas letrinas.
- **Residuos sólidos:** Serán almacenados para su posterior disposición en donde las autoridades municipales indiquen. El material sobrante de las excavaciones podrá ser utilizado en áreas de relleno de la ciudad o en lugares que lo requieran. Estas acciones se llevarán a cabo atendiendo lo previsto en la Ley de Aguas Nacionales en el sentido de disponer en sitios apropiados los desechos y en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en cuanto a las disposiciones especificadas para aceptar los residuos de este tipo de actividad en los rellenos sanitarios.
- **Sustancias contaminantes:** En caso de accidente durante la fase de construcción, se pondrá en marcha un programa de supervisión y de recuperación de sustancias contaminantes.

CAPÍTULO III

Evaluación Financiera

III.1 Análisis de la Oferta a lo largo del horizonte de evaluación,

De conformidad con el análisis de la oferta con el proyecto, las nuevas capacidades y características se describen en las siguientes tablas:

Tabla 47 Detalle de características

Sección	Segmento (coordenadas)				Longitud (m)	Sección	Ancho plantilla m	Alto m	Talud izquierdo m	Talud derecho m	Capacidad hidráulica (oferta) m ³ /s
	de		hasta								
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud							
Dren Anhelito Aguas arriba de la Laguna	26.04233	-98.33565	26.04368	-98.33047	498.04	trapezoidal	6.00	3.50	1.50	1.50	52.2
	26.04369	-98.33047	26.04249	-98.32114	968.89	trapezoidal	6.00	3.50	1.50	1.50	52.2
	26.04249	-98.32114	26.0406	-98.31661	523.71	trapezoidal	6.00	3.50	1.50	1.50	52.2
	26.0406	-98.31661	26.03889	-98.31057	609.42	trapezoidal	6.00	3.50	1.50	1.50	52.2
	26.03889	-98.31057	26.04159	-98.3053	447.045	trapezoidal	6.00	3.50	1.50	1.50	52.2
	26.04159	-98.3053	26.04392	-98.30337	148.565	trapezoidal	6.00	3.50	1.50	1.50	48.4
	26.04392	-98.30337	26.04718	-98.28648	2,394.10	rectangular	6.00	3.50	NA	NA	40.5 y 47.2
Dren Anhelito Aguas debajo de la Laguna	26.07581,	-98.26303	26.06943	-98.23549	2,860.26	rectangular	30.00	3.00	NA	NA	30
Dren Santa Anita	26.0284	-98.32784	26.02891	-98.32309	528.34	trapezoidal	1	1.5	1.5	1.5	5.9
	26.02891	-98.32309	26.03368	-98.32716	426.63	trapezoidal	1	1.5	1.5	1.5	5.9
	26.03368	-98.32716	26.03219	98.31444	535.19	trapezoidal	1	1.5	1.5	1.5	5.9
	26.03219	98.31444	26.03559	-98.31276	397.16	trapezoidal	1	1.5	1.5	1.5	5.9
	26.03559	-98.31276	26.03781	-98.31167	269.99	trapezoidal	1	1.5	1.5	1.5	5.9
	26.03781	-98.31167	26.03889	-98.31057	42.69	trapezoidal	1	1.5	1.5	1.5	5.9

Respecto a la Laguna La Escondida, se elevarán los bordos para alcanzar la cota 3.5 msnm logrando una capacidad de 152.43 m³/s de regulación.

III.2 Diagnóstico de la interacción de la oferta-demanda a lo largo del horizonte de evaluación

La demanda y los hidrogramas están calculados para un periodo de retorno de 10 años; de acuerdo con lo establecido en el manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento para drenaje pluvial, publicado por la Comisión Nacional del Agua; que determina que, para ciudades o poblados medianos de 100 mil a 1 millón de habitantes, el periodo de retorno debe considerarse de 5 a 10 años.

Con las obras propuestas, se logrará satisfacer la demanda; pues los drenes tienen un funcionamiento adecuado para el desalojo de los escurrimientos pluviales que transitarán.

Los resultados de implementar esta alternativa se muestran a continuación.

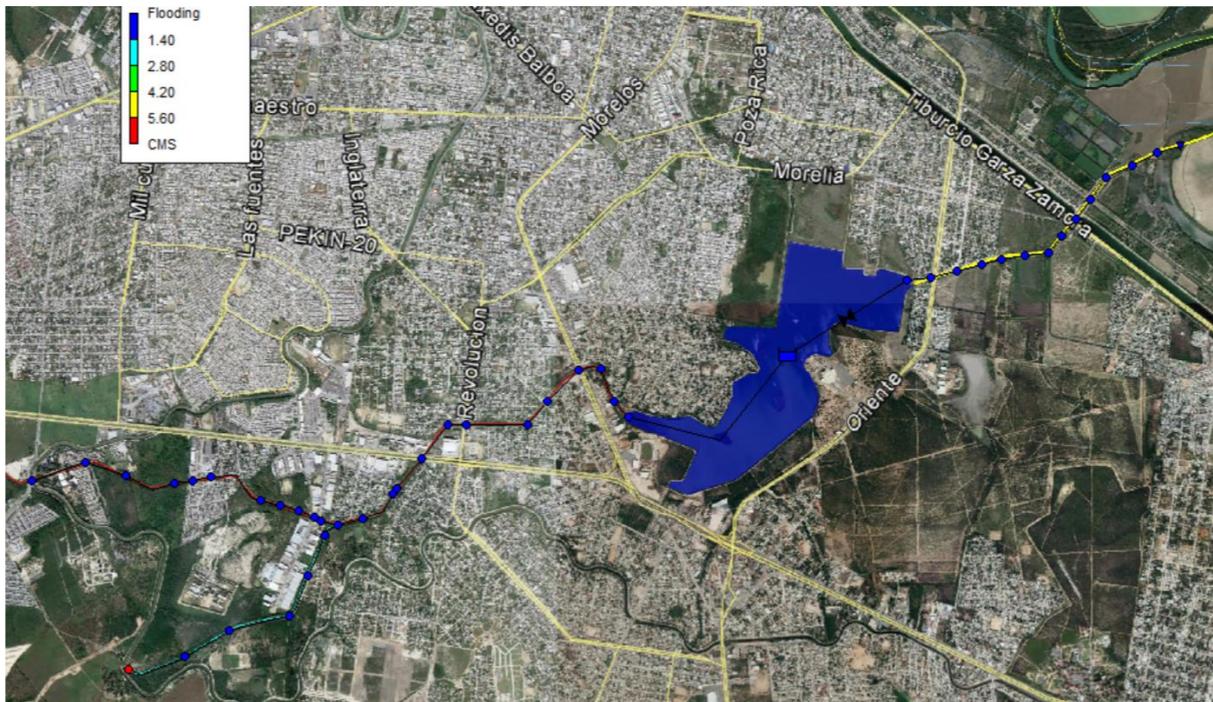


Figura 38 Modelo hidráulico para la alternativa 1

Después de 21 horas de lluvia no se observan inundaciones en áreas con infraestructura.

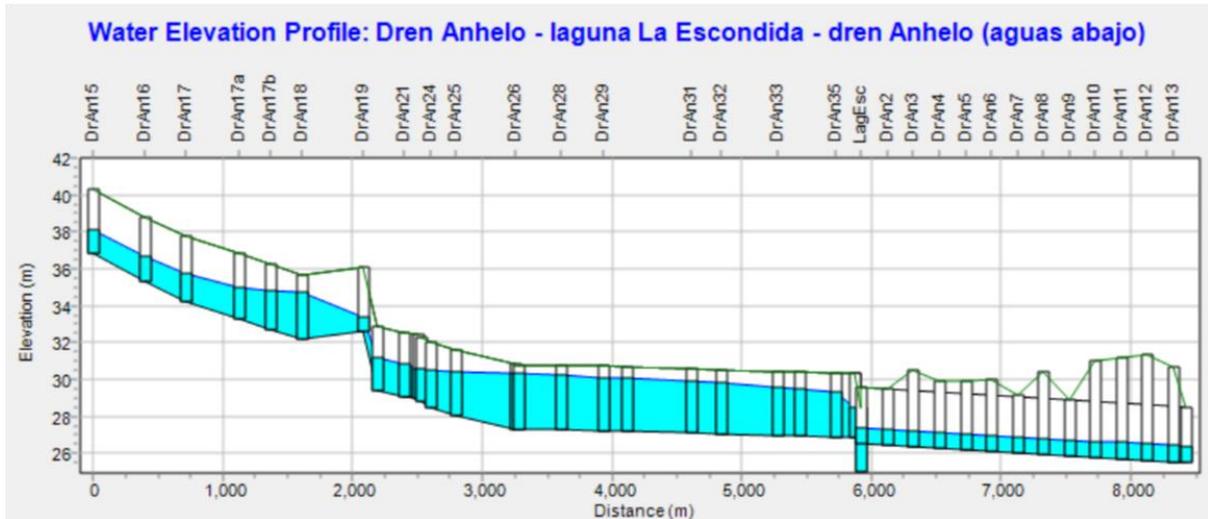


Figura 39 Perfil de simulación del Dren Anhele y la laguna La Escondida después de 10 horas de lluvia, alternativa 1

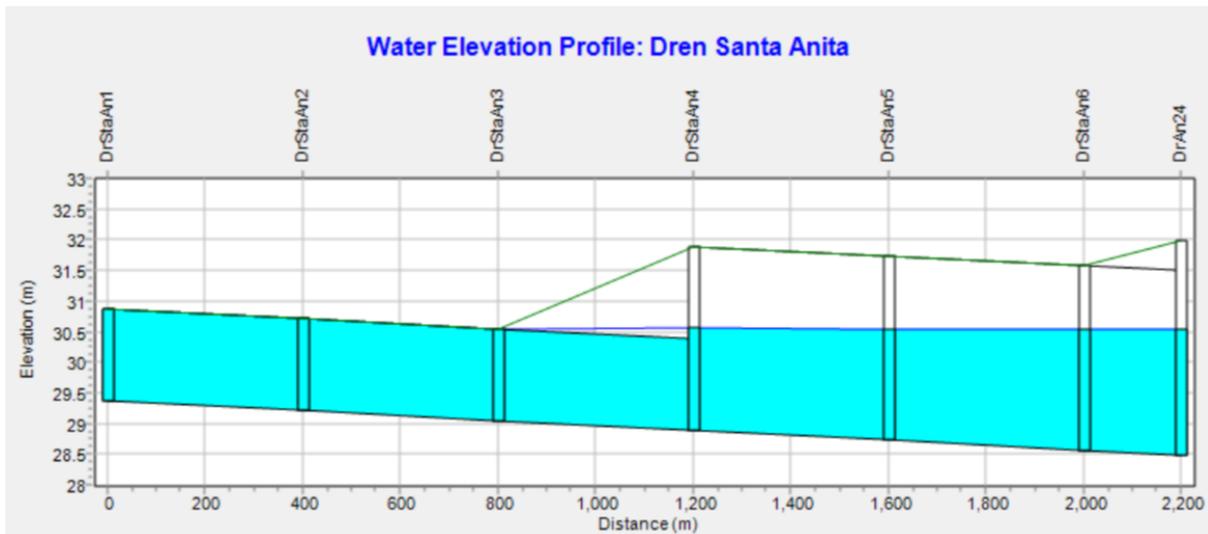


Figura 40 Perfil de simulación del Dren Santa Anita después de 10 horas de lluvia, alternativa 1

En el tramo inicial no se propone realizar obras debido a que el área no está urbanizada y no se generan pérdidas.

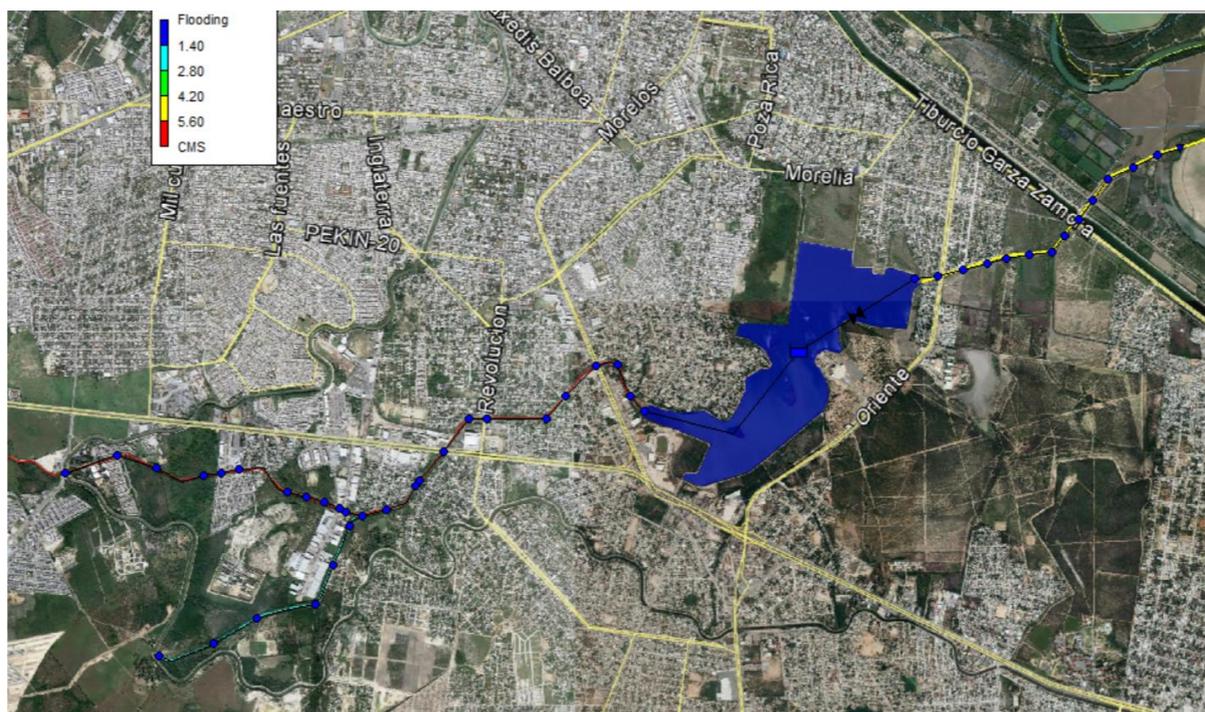


Figura 41 Modelo hidráulico para la alternativa 1

Después de 30 horas de lluvia no se observan inundaciones.

La laguna La Escondida funciona como un cuerpo regulador; su mantenimiento y desazolve anual es indispensable para mitigar las inundaciones.

Tabla 48 Detalle de capacidades hidráulicas para el Dren Anhelado, una vez realizadas las obras civiles propuestas para mitigar las inundaciones

Punto de control	Capacidad hidráulica – Oferta en condiciones actuales (m ³ /s)	Demanda hidráulica en condiciones actuales (m ³ /s)	Capacidad hidráulica – Oferta en condiciones con proyecto (m ³ /s)	Demanda hidráulica en condiciones con proyecto (m ³ /s)
A1-A2	52.2	53.8	84.65	52.8
A2-A3	48.4	63.2	53.66	50.0
A3-A4	40.5	54.9	54.60	50.0
A4-LE	47.2	44.3	52.53	50.0
LE	87.3	148.9	152.43	150.0
A5-descarga	25.5	25.5	30	22
SA1-SA2	4.1	5.3	5.9	5.3

III.3 Evaluación del Programa o Proyecto de Inversión.

La evaluación económica de un proyecto de infraestructura pluvial y/o drenaje, se basa en la determinación de las ventajas que ofrecerá a la población en términos de ahorros en daños por inundación, causados a viviendas, en comparación con la inversión requerida para mitigarlos.

Se trata entonces de una relación entre los beneficios que recibirá la sociedad con la realización del proyecto y los costos en que incurrirá la nación para proporcionarlos.

De esta forma, la evaluación económica se basa en la comparación de dos escenarios: con proyecto y sin proyecto, de lo cual se obtienen los beneficios buscados.

La comparación de ambos escenarios implica el análisis de las relaciones entre la oferta y la demanda de la infraestructura para el desalojo adecuado del agua producida por la lluvia.

La oferta se refiere a la infraestructura pluvial existente para el caso de la situación sin proyecto, mientras que, en la situación con proyecto, considera la realización de las acciones para el desagüe adecuado.

La demanda se refiere a la necesidad de desalojar los volúmenes generados por las precipitaciones pluviales en las cuencas de interés, considerando las acciones descritas que conforman al Proyecto integral de obras y acciones de solución de la problemática pluvial de la cuenca la Escondida de Reynosa en Tamaulipas.

Otros insumos importantes para la evaluación económica del proyecto son los costos de operación y mantenimiento, así como los montos de inversión correspondientes a la situación con y sin proyecto.

Por lo que se refiere a los montos de inversión, en el cálculo intervienen la inversión en obra física y el mantenimiento de la infraestructura.

Con la información anterior, se estiman los beneficios económicos del proyecto mediante la resta de los costos asociados a los beneficios de la situación con proyecto menos los correspondientes a la situación sin proyecto optimizada.

Por otra parte, los montos de inversión en la situación con proyecto están compuestos por la inversión inicial y los gastos programados para su mantenimiento. Para el caso de la situación sin proyecto los constituyen aquellos relacionados con la situación actual optimizada.

Finalmente, en virtud de que los efectos del proyecto se manifiestan a lo largo de su vida útil, se generan flujos de beneficios y costos, por lo que, para hacer comparables los valores de dichos flujos, es necesario emplear una tasa de actualización que refleje las preferencias por el consumo inmediato o diferido. En este caso, se utilizó la tasa de actualización del 10% correspondiente a la indicada por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

Si bien es posible atribuir otros beneficios como lo son los daños evitados a establecimientos (negocios y comercios), inconvenientes al tránsito vehicular al evitar congestionamientos y reducir el tiempo de traslado de automovilistas y transporte público, así como costos de operación vehicular, así como descomposturas y accidentes, además de daños a la salud, a la educación y al ausentismo laboral y escolar; estos beneficios atribuibles a la realización del proyecto, al ser cualitativos, únicamente se enuncian.

La rentabilidad del proyecto se mide en términos de los indicadores: Tasa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Neto (VPN) y tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI).

III.3.1 Identificación, cuantificación y valoración de costos

Construcción	Inversión
Ampliación del dren Anheló, sobreelevación de bordos de la laguna La Escondida y sobreelevación de bordos en el dren Santa Anita	413,021,480.67
Obra Inducida	12,030,741.77
Gerencia externa (2.25%)	9,292,983.32
Supervisión (2.25 %)	9,292,983.32
Proyectos (8.5%)	35,106,825.86
Subtotal	478,745,014.93
IVA	76,599,202.39
Total	555,344,217.32

Se integran dentro de los flujos de costos los recursos para la conservación y operación de la infraestructura hidráulica que ascienden a \$1,628,908.50 pesos más I.V.A.

III.3.2 Identificación, cuantificación y valoración de los beneficios del programa o proyecto de inversión

En la estimación de los beneficios es necesario considerar que las obras proyectadas están orientadas a reducir o eliminar las inundaciones y encharcamientos generados por las lluvias. Por ello, los beneficios del proyecto se componen de los siguientes conceptos:

- Ahorros por la reducción en daños en el menaje de viviendas, constituido por el mobiliario y enseres domésticos, así como daños al inmueble de las viviendas afectadas – Beneficio cuantificable con la información de viviendas del INEGI 2020.
- Ahorros en gastos incurridos en los establecimientos industriales y de servicios afectados por las inundaciones, por daños a mercancías, equipo, mobiliario y activos – Beneficio no cuantificable, ya que por su naturaleza es difícil de valorar.
- Actividad productiva suspendida – Beneficio no cuantificable, ya que por su naturaleza es difícil de valorar.
- Afectaciones a la salud pública que es posible evitar – Beneficio no cuantificable, ya que por su naturaleza es difícil de valorar.
- Problemas viales en las zonas inundadas, al evitar congestionamientos y reducir el tiempo de traslado de automovilistas y transporte público, así como descomposturas y accidentes – Beneficio no cuantificable, ya que por su naturaleza es difícil de valorar.
- Aumento del crecimiento económico en la zona urbana de Reynosa, al propiciar condiciones menos riesgosas para el establecimiento de industrias – Beneficio no cuantificable, ya que por su naturaleza es difícil de valorar.
- Generación de empleos: Se estima que, con la realización de este proyecto, se generen por lo menos un total de 315 empleos contemplando los que se generarían directamente, así como los que se crearían indirectamente.

Para efectos de cuantificación de los beneficios correspondientes al evitar los daños económicos en viviendas que se derivan de la construcción de las propuestas de este proyecto; se consideró de la información técnica derivada de este estudio y los modelos hidrológicos generados, se determinaron las áreas inundables para un periodo de retorno de 10 años (como lo determina el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de la Comisión Nacional del Agua), tanto para la situación con proyecto, como para la situación sin proyecto.

Una vez determinada la superficie inundable, se contrastó la información con los mapas de ubicación de viviendas y sus datos, obtenidos con el mapa interactivo de población de viviendas del INEGI para calcular el número de viviendas afectadas conforme al tirante de inundación en situación con y sin proyecto.

El cálculo de viviendas afectadas por inundación consideró el índice de marginación urbana para las zonas identificadas como inundables, definido por CONAPO.

Las funciones y la metodología utilizadas para el cálculo de los beneficios esperados de este proyecto se realizaron con la metodología de la investigación: “Estimación de daños económicos en zonas urbanas inundables, con base en el Área Geoestadística Básica para obtención del Daño Anual Esperado”, de Yolanda Solís Alvarado, Jaqueline Lafragua Contreras y Javier García Hernández (Baró-Suárez, 2011), (Yolanda Solís Alvarado, 2011).

En este sentido, para estimar el valor de los daños en cada vivienda inundada, se usan curvas específicas que consideran los costos para calcular los daños económicos a cada altura de lámina de agua alcanzada y para cada uno de los índices de marginación presentes en la zona de inundación.

Las funciones obtenidas para el cálculo de daños a viviendas se encuentran en función del Índice de Marginación Urbana (IMU) y de la profundidad de la inundación y se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 49 Funciones sintéticas de daños en viviendas según índice de marginación urbana (IMU)

Índice de marginación urbana (IMU)	Función de daños		
	Daños directos mínimos en zona habitacional	Daños directos más probables en zona habitacional	Daños directos máximos en zona habitacional
Muy alto	$141.36 * \text{Ln}(h) + 382.45$	$156.92 * \text{Ln}(h) + 424.33$	$247.63 * \text{Ln}(h) + 668.44$
Alto	$228.58 * \text{Ln}(h) + 637.93$	$280.52 * \text{Ln}(h) + 777.6$	$289.63 * \text{Ln}(h) + 801.56$
Medio	$544.93 * \text{Ln}(h) + 1546.6$	$685.51 * \text{Ln}(h) + 1913.15$	$709.63 * \text{Ln}(h) + 1976.04$
Bajo	$797.24 * \text{Ln}(h) + 2233.19$	$865.56 * \text{Ln}(h) + 2443.2$	$877.28 * \text{Ln}(h) + 2479.23$
Muy bajo	$1210.14 * \text{Ln}(h) + 3321.2$	$255.78 * \text{Ln}(h) + 3428.17$	$1521.8 * \text{Ln}(h) + 4051.63$

h: altura de la lámina de agua. Fuente: (Solís, Lafragua, Hernández, 2011)

Una vez calculado el valor de las funciones de daños para alturas de tirantes: 0.30 m, 0.50 m, 1.00 m, 1.50 m, 2.50 m y 3.00 m, se calcularon las tablas de valores máximos y mínimos probables multiplicando cada resultado de la función por el salario mínimo.

El salario mínimo que se utilizó para la obtención de los daños esperados es el vigente al 1 de enero de 2022 para la zona libre de la Frontera Norte, determinado en \$ 260.34 pesos.

Es importante mencionar que se consideró que solo las viviendas que presentan tirantes de inundación mayor a 0.2 m son afectadas.

Tabla 50 Función de daños calculada para un tirante de 0,30m

IMU	FUNCION DE DAÑOS (Pesos)		0.30m
	Daños directos mínimos en zona habitacional	Daños directos más probables en zona habitacional	Daños directos máximos en zona habitacional
MUY ALTO	\$212.26	\$235.40	\$370.30
ALTO	\$362.73	\$439.86	\$452.85
MEDIO	\$890.52	\$1,087.81	\$1,121.66
BAJO	\$1,273.33	\$1,401.09	\$1,423.01
MUY BAJO	\$1,864.22	\$1,916.25	\$2,219.42

Tabla 51 Función de daños calculada para un tirante de 0.50m

IMU	FUNCION DE DAÑOS (Pesos)		0.50m
	Daños directos mínimos en zona habitacional	Daños directos más probables en zona habitacional	Daños directos máximos en zona habitacional
MUY ALTO	\$284.47	\$315.56	\$496.80
ALTO	\$479.49	\$583.16	\$600.80
MEDIO	\$1,168.88	\$1,437.99	\$1,484.16
BAJO	\$1,680.59	\$1,843.24	\$1,871.15
MUY BAJO	\$2,482.39	\$2,557.73	\$2,996.80

Tabla 52 Función de daños calculada para un tirante de 1.00m

IMU	FUNCION DE DAÑOS (Pesos)		1.00m
	Daños directos mínimos en zona habitacional	Daños directos más probables en zona habitacional	Daños directos máximos en zona habitacional
MUY ALTO	\$382.45	\$424.33	\$668.44
ALTO	\$637.93	\$777.60	\$801.56
MEDIO	\$1,546.60	\$1,913.15	\$1,976.04
BAJO	\$2,233.19	\$2,443.20	\$2,479.23
MUY BAJO	\$3,321.20	\$3,428.17	\$4,051.63

Tabla 53 Función de daños calculada para un tirante de 1.50m

IMU	FUNCION DE DAÑOS (Pesos)		1.50m
	Daños directos mínimos en zona habitacional	Daños directos más probables en zona habitacional	Daños directos máximos en zona habitacional
MUY ALTO	\$439.77	\$487.96	\$768.85
ALTO	\$730.61	\$891.34	\$918.99
MEDIO	\$1,767.55	\$2,191.10	\$2,263.77
BAJO	\$2,556.44	\$2,794.15	\$2,834.94
MUY BAJO	\$3,811.87	\$3,937.34	\$4,668.67

Tabla 54 Función de daños calculada para un tirante de 2.50m

IMU	FUNCION DE DAÑOS (Pesos)		2.50m
	Daños directos mínimos en zona habitacional	Daños directos más probables en zona habitacional	Daños directos máximos en zona habitacional
MUY ALTO	\$511.98	\$568.11	\$895.34
ALTO	\$847.38	\$1,034.64	\$1,066.95
MEDIO	\$2,045.91	\$2,541.28	\$2,626.27
BAJO	\$2,963.69	\$3,236.30	\$3,283.07
MUY BAJO	\$4,430.04	\$4,578.83	\$5,446.04

Tabla 55 Función de daños calculada para un tirante de 3.00m

IMU	FUNCION DE DAÑOS (Pesos)		3.00m
	Daños directos mínimos en zona habitacional	Daños directos más probables en zona habitacional	Daños directos máximos en zona habitacional
MUY ALTO	\$537.75	\$596.72	\$940.49
ALTO	\$889.05	\$1,085.78	\$1,119.75
MEDIO	\$2,145.27	\$2,666.26	\$2,755.65
BAJO	\$3,109.05	\$3,394.11	\$3,443.02
MUY BAJO	\$4,650.67	\$4,807.79	\$5,723.50

Tabla 56 Valores mínimos probables obtenidos de daños a viviendas, según grado de marginación y altura de la inundación.

PARÁMETRO		INDICE DE MARGINACIÓN URBANA (Pesos)				
Tirante calle (m)	Tirante Vivienda (m)	MUY ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO	MUY BAJO
0.30	0.10	\$55,258.83	\$94,432.06	\$231,837.74	\$331,499.96	\$485,332.17
0.50	0.30	\$74,058.06	\$124,830.54	\$304,307.08	\$437,523.59	\$646,266.68
1.00	0.80	\$99,567.03	\$166,078.70	\$402,641.84	\$581,388.68	\$864,641.21
1.50	1.30	\$114,488.82	\$190,207.32	\$460,163.99	\$665,544.37	\$992,382.12
2.50	2.30	\$133,288.06	\$220,605.80	\$532,633.33	\$771,568.00	\$1,153,316.63
3.00	>2.30	\$139,997.79	\$231,455.48	\$558,498.76	\$809,409.47	\$1,210,756.64

Tabla 57 Valores máximos probables obtenidos de daños a viviendas, según grado de marginación y altura de la inundación.

PARÁMETRO		INDICE DE MARGINACIÓN URBANA (Pesos)				
TIRANTE CALLE (m)	TIRANTE VIVIENDA (m)	MUY ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO	MUY BAJO
0.30	0.10	\$61,284.71	\$114,513.56	\$283,201.65	\$364,759.59	\$498,875.23
0.50	0.30	\$82,153.24	\$151,819.45	\$374,366.49	\$479,868.98	\$665,879.33
1.00	0.80	\$110,470.07	\$202,440.38	\$498,069.47	\$636,062.69	\$892,489.78
1.50	1.30	\$127,034.36	\$232,051.73	\$570,431.07	\$727,430.15	\$1,025,048.39
2.50	2.30	\$147,902.89	\$269,357.62	\$661,595.91	\$842,539.54	\$1,192,052.49
3.00	>2.30	\$155,351.19	\$282,672.67	\$694,134.05	\$883,623.86	\$1,251,658.84

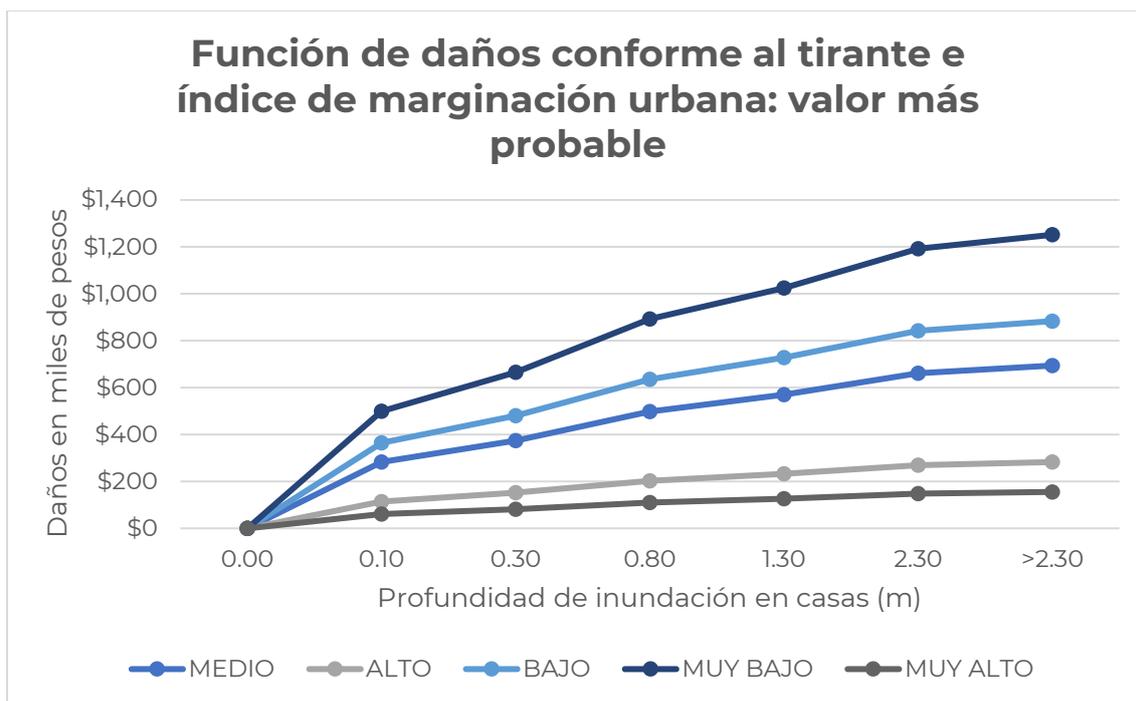


Figura 42 Representación gráfica de daños a viviendas, según grado de marginación y profundidad de inundación; valor más probable.

Para obtener el cálculo total de daños se multiplican los valores obtenidos máximos y mínimos por el número estimado de viviendas que se inundan para un periodo de retorno de 10 años, de acuerdo con los datos del modelo generado.

La cantidad de viviendas y los índices de marginación urbana para cada cuenca fueron obtenidos con base en información del INEGI.

Tabla 58 Total de viviendas afectadas en el área de la cuenca según tirante de inundación para un periodo de retorno de 10 años, en la situación SIN PROYECTO conforme a los índices de marginación

Tirante (m)	Cantidad de viviendas dañadas (periodo de retorno 10 años)					Total
	IMU Muy alto	IMU Alto	IMU Medio	IMU Bajo	IMU Muy bajo	
0.30	0	0	2,100	2,105	998	5,203
0.50	0	0	2,502	1,810	1,050	5,362
1.00	0	0	905	600	618	2,123
1.50	0	0	290	205	112	607
2.50	0	0	180	80	47	307
>2.50	0	0	0	0	0	0
TOTAL	0	0	5,977	4,800	2,825	13,602

Tabla 59 Cálculo de **valores mínimos probables** obtenidos para daños en viviendas (periodo de retorno de 10 años) con un **índice de marginación medio** para las zonas en riesgo de inundación de la cuenca La Escondida. Situación SIN PROYECTO

Tirante	Daños estimados por vivienda	Total de daños
		Periodo de retorno 10 años
0.30	\$-	\$-
0.50	\$304,307.08	\$761,376,314.45
1.00	\$402,641.84	\$364,390,868.82
1.50	\$460,163.99	\$133,447,558.08
2.50	\$532,633.33	\$95,873,999.59
>2.50	\$558,498.76	\$-

Tabla 60 Cálculo de **valores mínimos probables** obtenidos para daños en viviendas (periodo de retorno de 10 años) con un **índice de marginación bajo** para las zonas en riesgo de inundación de la cuenca La Escondida. Situación SIN PROYECTO

Tirante	Daños estimados por vivienda (\$)	Total de daños
		Periodo de retorno 10 años
0.30	-	\$-
0.50	\$437,523.59	\$791,917,694.06
1.00	\$581,388.68	\$348,833,210.76
1.50	\$665,544.37	\$136,436,596.13
2.50	\$771,568.00	\$61,725,439.83
>2.50	\$809,409.47	\$-

Tabla 61 Cálculo de **valores mínimos probables obtenidos** para daños en viviendas (periodo de retorno de 10 años) con un **índice de marginación muy bajo** para las zonas en riesgo de inundación de la cuenca La Escondida. Situación SIN PROYECTO

Tirante	Daños estimados por vivienda (\$)	Total de daños
		Periodo de retorno 10 años
0.30	-	\$-
0.50	\$646,266.68	\$678,580,014.73
1.00	\$864,641.21	\$534,348,266.54
1.50	\$992,382.12	\$111,146,797.17
2.50	\$1,153,316.63	\$54,205,881.65
>2.50	\$1,210,756.64	\$-

Tabla 62 Cálculo de **valores más probables** obtenidos para daños en viviendas (periodo de retorno de 10 años) con un **índice de marginación medio** para las zonas en riesgo de inundación de la cuenca La Escondida. Situación SIN PROYECTO

Tirante	Daños estimados por vivienda (\$)	Total de daños
		Período de retorno 10 años
0.30	\$-	\$-
0.50	\$374,366.49	\$936,664,964.63
1.00	\$498,069.47	\$450,752,871.26
1.50	\$570,431.07	\$165,425,011.62
2.50	\$661,595.91	\$119,087,264.43
>2.50	\$694,134.05	\$-

Tabla 63 Cálculo de **valores más probables** obtenidos para daños en viviendas (periodo de retorno de 10 años) con un **índice de marginación bajo** para las zonas en riesgo de inundación de la cuenca La Escondida. Situación SIN PROYECTO

Tirante	Daños estimados por vivienda (\$)	Total de daños
		Período de retorno 10 años
0.30	-	\$-
0.50	\$479,868.98	\$868,562,850.73
1.00	\$636,062.69	\$381,637,612.80
1.50	\$727,430.15	\$149,123,180.96
2.50	\$842,539.54	\$67,403,163.29
>2.50	\$883,623.86	\$-

Tabla 64 Cálculo de **valores más probables** obtenidos para daños en viviendas (periodo de retorno de 10 años) con un **índice de marginación muy bajo** para las zonas en riesgo de inundación de la cuenca La Escondida. Situación SIN PROYECTO

Tirante	Daños estimados por vivienda (\$)	Total de daños
		Período de retorno 10 años
0.30	-	\$-
0.50	\$665,879.33	\$699,173,299.45
1.00	\$892,489.78	\$551,558,682.68
1.50	\$1,025,048.39	\$114,805,419.72
2.50	\$1,192,052.49	\$56,026,467.11
>2.50	\$1,251,658.84	\$-

Tabla 65 Total de daños, **valor mínimo probable y valor más probable**, calculados para las viviendas identificadas en zona de riesgo de inundación ubicadas en la cuenca La Escondida (periodo de retorno de 10 años) Situación SIN PROYECTO

IMU	Daños estimados (periodo de retorno 10 años)	
	Valor mínimo probable	Valor más probable
Muy alto	\$-	\$-
Alto	\$-	\$-
Medio	\$1,355,088,740.95	\$1,671,930,111.93
Bajo	\$1,338,912,940.77	\$1,466,726,807.77
Muy bajo	\$1,378,280,960.09	\$1,421,563,868.96
Total	\$4,072,282,641.81	\$4,560,220,788.67

Finalmente, para obtener el valor de los daños evitados anualmente, se obtiene el valor de los daños por periodo de retorno y se multiplica por la probabilidad de ocurrencia de ellos (10%), los resultados se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 66 Cálculo de daños a viviendas anual (Beneficio esperado) para un periodo de retorno de 10 años, para las viviendas con riesgo de inundación en el área de la cuenca La Escondida; para las funciones más probable y mínima probable.
Situación SIN PROYECTO

Función	Daños totales calculados	Probabilidad de ocurrencia	Beneficio anual
más probable	\$4,560,220,788.67	10%	\$456,022,078.87
mínima probable	\$4,072,282,641.81	10%	\$407,228,264.18

III.3.3 Cálculo de los indicadores de rentabilidad

Se resume el flujo neto anual en la tabla siguiente, que incluye los costos correspondientes a la inversión, operación y mantenimiento.

Tabla 67 flujo de costos y beneficios totales para las obras propuestas en la cuenca La Escondida

Año	Costos			Beneficios	Flujo Neto
	Inversión	Mantenimiento y conservación	Totales		
2021	\$478,745,014.93	\$0.00	\$478,745,014.93	\$0.00	-\$478,745,014.93
2022		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2023		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2024		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2025		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2026		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2027		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2028		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2029		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2030		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2031		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2032		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2033		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2034		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2035		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2036		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2037		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2038		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2039		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2040		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2041		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2042		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2043		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2044		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2045		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2046		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2047		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2048		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37

Año	Costos		Beneficios	Flujo Neto	
2049		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2050		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37
2051		\$1,628,908.50	\$1,628,908.50	\$456,022,078.87	\$454,393,170.37

Con base en los flujos netos de costos y beneficios del proyecto se obtienen los indicadores de rentabilidad económica social; utilizando una tasa de descuento del 10%. Se calculó el Valor Presente Neto (VPN/VA/VA), además de determinó la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la Tasa de Rentabilidad inmediata (TRI). En la tabla siguiente se resumen los indicadores de evaluación obtenidos; también se incluye el valor actual de beneficios y costos sociales.

Tabla 68 Indicadores de evaluación para las obras propuestas en la cuenca La Escondida

Indicador	Valor (\$)
VA Beneficios	\$3,908,073,756.85
VA Costos	\$449,182,360.03
VAN	\$3,458,891,396.82
TIR	94.91%
TRI	104.40%

III.3.4 Análisis de sensibilidad

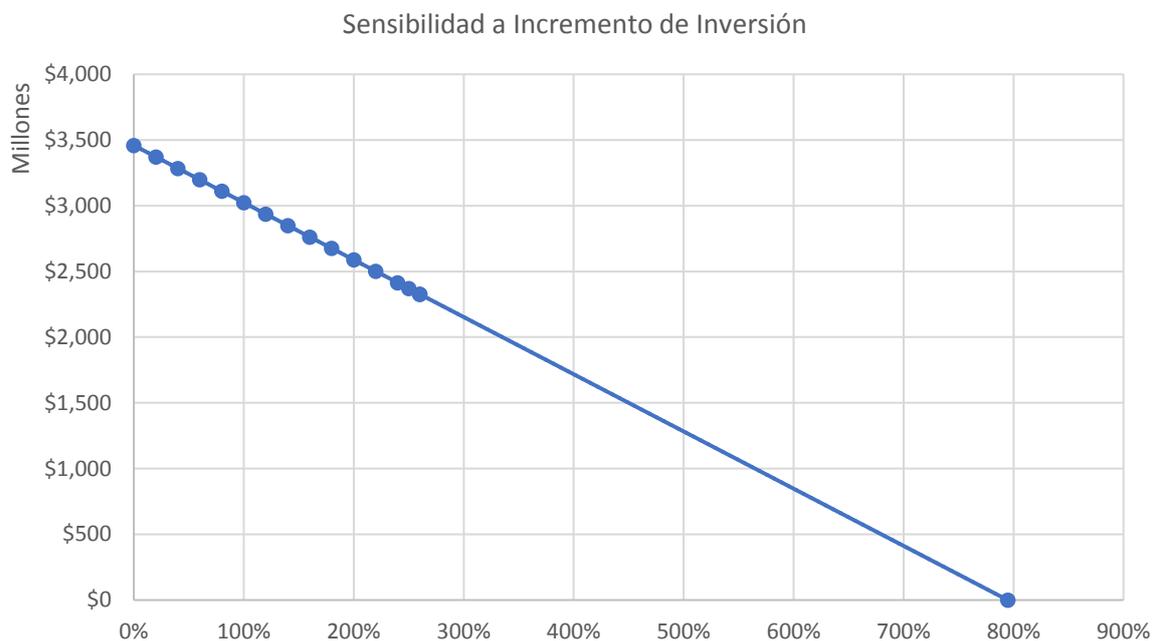
En la realización de las acciones del proyecto se contempla que pueden existir variaciones en los costos y beneficios que afectarían la precisión de la evaluación económica. Para conocer los impactos de los posibles cambios en la variación de los indicadores de rentabilidad se realiza el análisis de sensibilidad.

III.3.4.1 Incremento en los costos de inversión

En la siguiente tabla se muestra la variación de los indicadores de evaluación ante incrementos en los costos de inversión del proyecto. Se aprecia que los aumentos de los costos de inversión deben de ser del orden del 368% para que se presente la falta de rentabilidad del proyecto.

Tabla 69 Sensibilidad de los indicadores de evaluación ante incrementos en los costos de inversión de las obras que mitigarán las inundaciones en la zona de la cuenca la Escondida, Reynosa,

Aumento en los costos de inversión	VAN (Millones de \$)	TIR
0%	\$3,458.89	94.91%
795%	\$0.00	10.00%



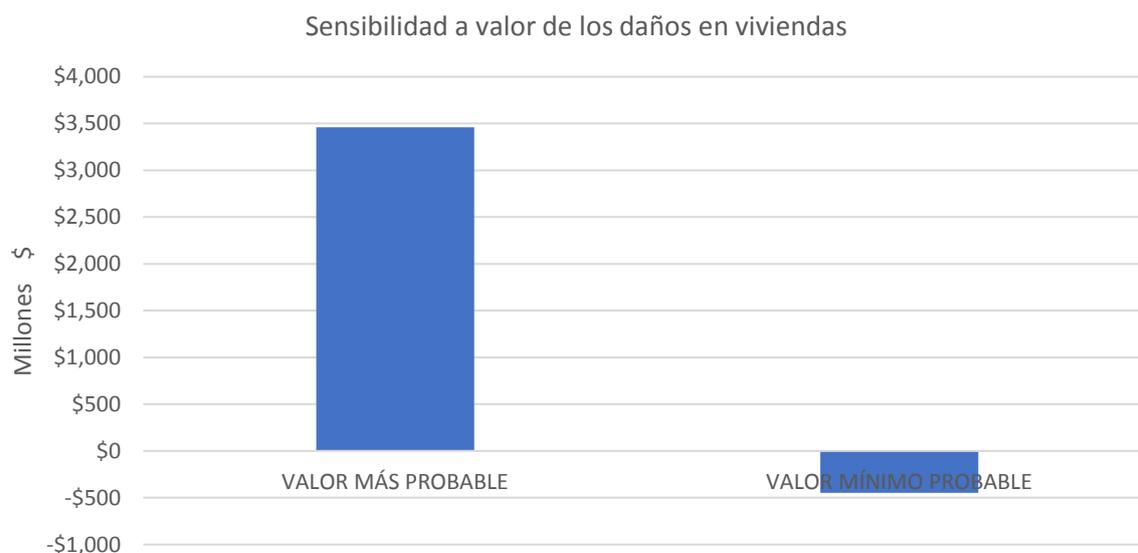
Gráfica 6 Sensibilidad del VAN ante incrementos en los costos de inversión de las obras que mitigarán las inundaciones en la zona de la cuenca la Escondida, Reynosa, Tamaulipas.

III.3.4.2 Valor de los daños en viviendas

Otro de los factores que pudiera afectar la precisión del cálculo, es la disminución de los beneficios, la cual se estima poco probable, derivado de que fueron calculados utilizando modelos hidrológicos y de simulación hidráulica con sustento técnico.

Tabla 70 Sensibilidad de los indicadores de evaluación ante variaciones en el cálculo de los daños en las viviendas ubicadas en la zona de la cuenca la Escondida, Reynosa,

Parámetros para daños en viviendas	VAN (Millones de \$)	TIR
VALOR MÁS PROBABLE	\$3,458.89	94.91%
VALOR MÍNIMO PROBABLE	\$3,040.73	84.72%



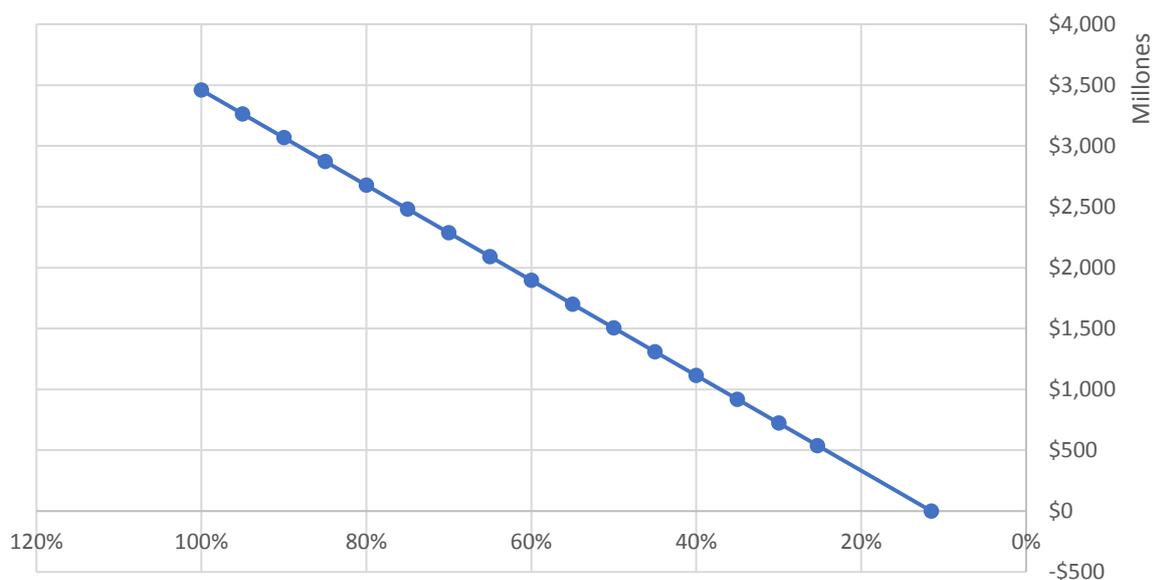
Gráfica 7 Sensibilidad del VAN ante variaciones en el cálculo de los daños en las viviendas ubicadas en la zona de la cuenca la Escondida, Reynosa,

En las siguientes tablas y gráficas se muestran las variaciones de los indicadores de evaluación ante la disminución de los beneficios del proyecto, para la cuenca La Escondida, en donde se aprecia que, la disminución de los beneficios debe de bajar hasta el 11% del monto original para que se presente la falta de rentabilidad del proyecto.

Tabla 71 Sensibilidad de los indicadores de evaluación ante la disminución de los beneficios que se tendrán al mitigar las inundaciones en la zona de la cuenca la Escondida, Reynosa,

% de beneficios	VAN (Millones de \$)	TIR
100%	3,458.89	94.91%
11%	-\$0.00	10.00%

Sensibilidad a Disminución de Beneficios



Gráfica 8 Sensibilidad del VAN ante disminución de beneficios que se estima, proporcionarán las obras que mitigarán las inundaciones en la zona de la cuenca la Escondida, Reynosa, Tamaulipas.

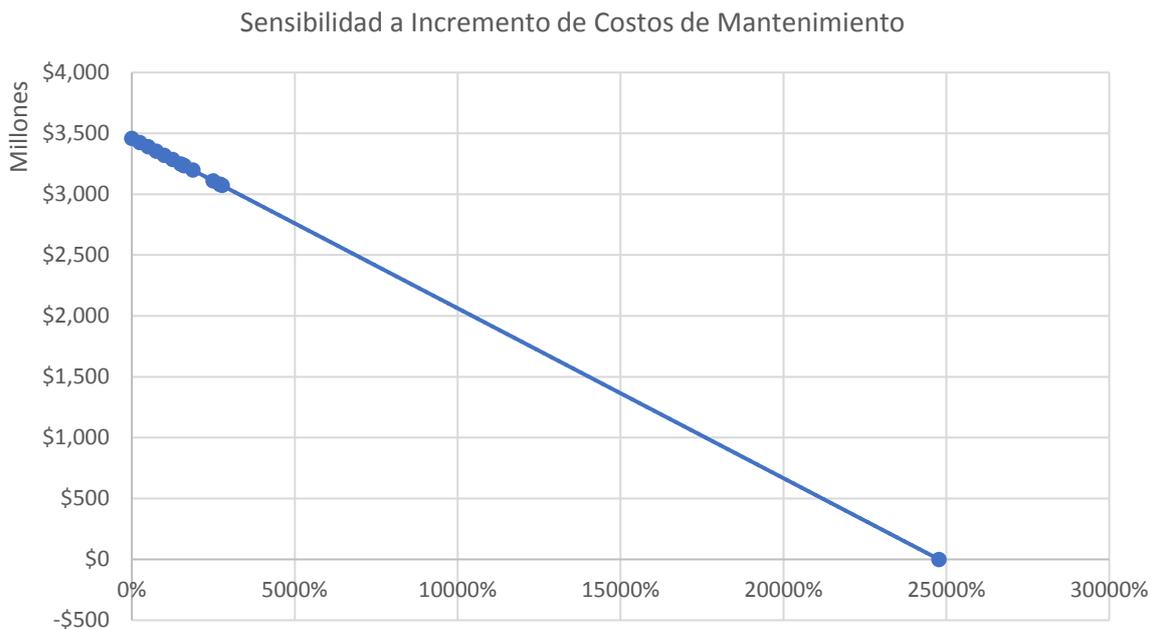
III.3.4.3 Aumento en los costos de conservación y operación.

En la tabla y figura siguientes se muestran las variaciones de los indicadores ante incrementos en los costos de conservación y operación del proyecto.

Se aprecia que los aumentos en los costos de conservación y operación deben de ser del orden de 24,778 veces para se presente la falta de rentabilidad del proyecto.

Tabla 72 Sensibilidad de los indicadores de evaluación ante aumento de los costos de mantenimiento de las obras que mitigarán las inundaciones en la zona de la cuenca la Escondida, Reynosa,

Aumento en costos de mantenimiento	VAN (Millones de \$)	TIR
0%	\$3,458.89	94.91%
24778%	-\$0.00	10.00%



Gráfica 9 Sensibilidad del VAN ante aumento de los costos de mantenimiento de las obras que mitigarán las inundaciones en la zona de la cuenca la Escondida, Reynosa,

III.3.5 Análisis de riesgos:

De acuerdo con los análisis de sensibilidad realizados puede concluirse que fueron identificados y analizados los posibles riesgos que pudieran afectar la rentabilidad del proyecto. Estos comprendieron posibles incrementos en las inversiones, en los costos de operación y conservación, así como una disminución de los beneficios esperados.

Se logró analizar los efectos que se tendrían en la rentabilidad del proyecto al estar sujeto a variaciones importantes de los costos y en los beneficios esperados, observándose que el proyecto conforme a los indicadores de evaluación resulta relativamente más sensible a la baja de los beneficios esperados, no obstante, aún con las variaciones posibles el proyecto se mantiene en un nivel aceptable de rentabilidad.

A continuación, se presenta en la siguiente tabla el resumen del análisis de riesgo para las obras propuestas:

Tabla 73 Análisis de riesgos del proyecto para mitigar inundaciones en Reynosa, Tamaulipas

Riesgo	Impactos	Probabilidad	Medidas de mitigación
Incrementos significativos en el costo de inversión de las obras.	Insuficiencia del presupuesto y retraso en la ejecución del proyecto. Baja en la rentabilidad del proyecto	Baja. Los costos estimados se apoyan en la realización de los estudios de factibilidad y en los anteproyectos de las obras, se considera que existe un nivel alto de confiabilidad en los costos. Adicionalmente, los análisis de sensibilidad muestran que, para alcanzar una rentabilidad cero, se tendrían que incrementar los costos de inversión hasta un 795%, lo que se considera poco probable.	Revisar los precios unitarios, para asegurarse que están correctamente realizados y elaborar los proyectos ejecutivos de las obras.
Que el nivel en que se mitiguen inundaciones sea considerablemente menor al planeado	Reducción en los daños evitados. Baja en la rentabilidad del proyecto	Baja. Los análisis técnicos realizados permiten tener un adecuado nivel de confianza sobre los daños que se lograrán evitar con su ejecución. Los análisis de sensibilidad sobre la posible disminución de los beneficios indican que tendrían que reducirse al 11% para llegar al 10% de rentabilidad correspondiente a la tasa social de descuento.	Realizar el proyecto ejecutivo y simular con las dimensiones y características finales las avenidas calculadas en el estudio hidrológico.
Oposición a la ejecución del proyecto por grupos sociales	Que las obras se retrasen o sufran modificaciones importantes	Media. Existe una clara percepción de la sociedad de la ciudad de Reynosa, sobre los problemas generados por las deficiencias del drenaje pluvial, por lo que no se considera que este sea un riesgo significativo	Realización de campañas de socialización de las obras.

Riesgo	Impactos	Probabilidad	Medidas de mitigación
Oposición para la obtención de facilidades para la utilización de terrenos de uso público y privado	Que las obras se retrasen o sufran modificaciones importantes	Baja. La obra transcurrirá por la vialidad, por lo que no se utilizarán terrenos privados.	Verificar que el trazo de las obras se realice por terrenos de propiedad federal, estatal o municipal.

III.3.6 Conclusiones y Recomendaciones de la evaluación:

De acuerdo con los resultados obtenidos, es indispensable realizar el proyecto para mitigar inundaciones a más de 50,523 habitantes, que de presentarse generarían daños de hasta \$456.02 mdp con tan sólo la ocurrencia de un evento con periodo de retorno de 10 años.

La TIR resulta en 94.91% por lo que el proyecto es rentable, derivado de que la tasa social de descuento es del 10 % y la sensibilidad indica que no existe riesgo ante la modificación o el incremento de los precios.

Tabla 74 Variación de VAN y TIR para diferentes escenarios

Sensibilidad	Aumento	Disminución	VAN (millones de pesos)	TIR
Incremento de inversión	795%	NA	0%	10%
Disminución de beneficios	NA	11%	0%	10%
Costos de conservación y mantenimiento	24,778%	NA	0%	10%

Conclusiones, recomendaciones, limitaciones y futuras investigaciones

Esta investigación se centra en el análisis costo beneficio de proyectos de drenaje pluvial y existe un área de oportunidad para futuras investigaciones para analizar la metodología costo beneficio para otros proyectos hidráulicos.

La investigación considera como enfoque central la cuenca del Dren Anheló y la Laguna la Escondida por ser el sistema con mayores riesgos y afectaciones, por lo que podrán realizarse futuras investigaciones para evaluar las afectaciones en el resto de las cuencas con influencia en la ciudad.

Se considera que un área de oportunidad para futuras investigaciones es aplicar la metodología costo-beneficio en conjunto con la de opciones reales para proyectos hidráulicos de drenaje pluvial.

Otra área de oportunidad se considera evaluar si la metodología establecida por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, SHCP, publicada en 2013 en el Diario Oficial de la Federación continúa siendo la mejor alternativa para la evaluación de este tipo de proyectos o requiere optimizarse.

Una vez desarrollado el análisis, se verifica que la metodología costo beneficio es óptima para la toma de decisiones respecto a proyectos de drenaje pluvial. Sin embargo, deberá tenerse en consideración que, en particular, para los análisis costo beneficio relativos a estos proyectos, el cálculo de la oferta y la demanda debe realizarse mediante simulaciones de flujo hidráulico; ya que sus valores pueden modificarse por las variaciones o acciones que se realicen en puntos de control distintos a los definidos inicialmente, los cuales son fijos.

Lo anterior en virtud de que se identificó que las modificaciones que se realicen aguas abajo en los sistemas hidráulicos de drenaje modifican la demanda aguas arriba; situación que no se establece actualmente en los lineamientos establecidos por la SHCP.

En este sentido, debe considerarse que el flujo en canales o tuberías responde a factores como la velocidad, la capacidad de regulación, entre otros, e impacta de forma directa en las alternativas de solución, haciendo indispensable la simulación de flujo para la evaluación de alternativas y el cálculo de la oferta y demanda.

La metodología costo beneficio establecida en los lineamientos de la SHCP satisface los requerimientos necesarios para la toma de decisiones de los proyectos de inversión como el sistema de Drenaje Pluvial del Dren Anheló, pero es recomendable complementarla por tipo de proyecto evaluado, en este caso con lineamientos particulares que especifiquen la necesidad de realizar simulaciones hidráulicas para el cálculo de la oferta, demanda y beneficios en proyectos de drenaje pluvial.

El cálculo de los beneficios relativo a inundaciones (daños evitados) se sustenta en el tirante de inundación y en el índice de marginación de la población, lo cual requiere estimaciones técnicas precisas para su consideración, no hacerlo puede llevar a cálculos de beneficios desmedidos y por ello requiere especial atención durante la evaluación; debe analizarse con claridad de tal manera que no se limite el desarrollo, pero que tampoco se base en beneficios sesgados.

Para evitar sobreestimar los beneficios anuales debe tenerse en cuenta un periodo de retorno asociado a la realidad y conforme a la normatividad. En este caso se eligió una avenida con una probabilidad hidrológica de presentarse una vez cada 10 años.

En este estudio se consideraron como beneficios, el evitar las afectaciones a las viviendas y sus enseres, muebles y bienes materiales. Sin embargo, los beneficios son mucho mayores, pero se consideran cualitativos por la gran cantidad de factores que se requiere para su cuantificación.

Por otro lado, en virtud de los indicadores de rentabilidad obtenidos durante la evaluación de la propuesta, se determina económicamente viable llevar a cabo el proyecto para mitigar inundaciones en el sistema Dren Anheló.

Los principales costos ascienden a \$527,612,269.93 pesos; mientras que los beneficios a \$13,680,622,366.10; por lo que se determina que los beneficios son mayores a los costos durante el horizonte de evaluación.

El proyecto es rentable con una Tasa Interna de Retorno del 104.4 % superior a la Tasa Social de Descuento utilizada del 10 %; asimismo se cuenta con un Valor Presente Neto (VAN/VPN) de Beneficios de \$3,908,073,756.85, un Valor Presente Neto (VAN/VPN) de Costos de \$449,182,360.03 y un Valor Presente Neto Global (VAN/VPN) de \$3,458,891,396.82; mientras que la Tasa de Rendimiento Inmediato TRI asciende a 94.91%, la cual refleja que entre más pronto se realice el proyecto e inicie su operación, mayor será la conveniencia de llevar a cabo el proyecto.

Se determina que de no llevar a cabo la inversión y presentarse un evento hidrometeorológico que propicie lluvias con periodo de retorno de 10 años, el impacto de las inundaciones continuará afectando de manera negativa a los habitantes de la Ciudad de Reynosa que se encuentran dentro del subsistema Dren Anheló.

Los riesgos de llevar a cabo la inversión corresponden a factores como cálculos imprecisos de los beneficios, incremento en los costos para implementar el proyecto, oposición social a la ejecución del proyecto, incremento en costos de operación y mantenimiento; los cuales son poco probables de presentarse derivado de que se cuenta con estudios hidrológicos e hidráulicos y se ha cuantificado la inversión con base en precios reales. Asimismo, se cuenta con aceptación social a la ejecución del proyecto y los beneficios se han calculado con fundamento en análisis hidrológicos y eventos de inundación pasados.

Respecto al proyecto en particular, se determina que la alternativa evaluada es la más adecuada considerando las características técnico – financieras y de costo beneficio para mitigar los riesgos por inundaciones en el sistema Dren Anheló (laguna La Escondida) de la ciudad de Reynosa, Tamaulipas.

Todo lo anterior verifica que si se emplea la evaluación costo beneficio en proyectos de infraestructura de drenaje pluvial considerando las simulaciones de flujo hidráulico para la determinación de oferta-demanda y beneficios, entonces es posible conocer con mayor certeza los costos y beneficios sociales y optimizar el manejo de los recursos públicos; verificando la hipótesis del presente trabajo.

Referencias

Aboites, L. (2009). *La decadencia del agua de la nación. Estudio sobre la desigualdad social y cambio político en México, segunda mitad del siglo XX*. El Colegio de México.

AIDA (2009). *Grandes represas en América, ¿peor el remedio que la enfermedad? Principales consecuencias ambientales y en los derechos humanos y posibles alternativas*. Fundación CS Fund.

Aparicio, F. (2018). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Editorial Limusa.

Baró-Suárez, J. E.-D.-A.-V.-A. (2011). *Costo más probable de daños por inundación en zonas habitacionales de México (Vol. II)*. México: Tecnología y Ciencias del Agua, antes Ingeniería Hidráulica en México.

Biswas, A. (2003). *Water Resources of North America. 2003 ed. Springer*.

Campos, J. y Serebirsky T. (2015). *Porque el tiempo pasa: evolución teórica y práctica en la determinación de la tasa social de descuento*. Banco Interamericano de Desarrollo.

Castañeda, R. (2010). *Evaluación socioeconómica de proyectos de inversión en servicios públicos locales, conceptualización y metodología de casos*. INDETEC.

Castillo, J. y Zhangallimbay, D. (2021). *La tasa social de descuento en la evaluación de proyectos de inversión: una aplicación para el Ecuador*. Centro de Investigaciones Económicas.

Centro Nacional de Prevención de desastres (2013). *Peligros Naturales y Tecnológicos relevantes durante el periodo 1810-2010*. Secretaría de Gobierno.

Centro Nacional de Prevención de desastres (2014). *Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México - Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana*. Secretaría de Gobernación.

Centro Nacional de Prevención de desastres (s.f.). *Atlas Nacional de riesgos*. Centro Nacional de Prevención de Desastres.

Comisión Nacional del Agua (2009). *Semblanza Histórica del Agua en México*. Primera edición.

Consejo Nacional de Población (2010). *Índice de marginación por localidad*. Secretaría de Gobierno.

Consejo Nacional de Población (2021). *Proyecciones de la Población de México y de las Entidades Federativas, 2016-2050*. Secretaría de Gobierno.
<https://datos.gob.mx/busca/dataset/proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-y-de-las-entidades-federativas-2016-2050>.

Congreso Constituyente (1917). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. Última reforma DOF 28-05-2021.

Congreso de los Estados Unidos Mexicanos (1948). *Ley reglamentaria del párrafo quinto del artículo 27 constitucional en materia de aguas del subsuelo*. DOF, 3 de enero.

Congreso de los Estados Unidos Mexicanos (1972). *Ley Federal de aguas*. DOF, 11 de enero.

Congreso de los Estados Unidos Mexicanos (1990). *Ley de contribución de mejoras por obras públicas federales de infraestructura hidráulica*. DOF, 26 de diciembre.

Congreso extraordinario constituyente (1857). *Constitución Política de la República Mexicana 1857*. Con sus adiciones y reformas hasta el año 1901.

Comisión Nacional del Agua (2015). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*.

Comisión Nacional del Agua (2006). *Estadísticas del Agua en México*.

Comisión Nacional del Agua (2005). *Estadísticas del Agua en México*.

Congreso de la Unión de los Estados Unidos Mexicanos (1992). *Ley de Aguas Nacionales*.

Congreso General de Los Estados Unidos Mexicanos (1992). *Ley de Aguas Nacionales*. Última reforma publicada en el DOF 11-05-2022.

Congreso General de Los Estados Unidos Mexicanos (2006). *Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria*. Última reforma publicada en el DOF 27.02-2022.

Cossío, J (1995). *Constitutional framework for water regulation in Mexico*. Natural Resources Journal, vol. 35, número 3.

Climate Data Online, CDO (2022). National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA.

El debate (2020). *Inundación 2020, Reynosa, Tamaulipas*.

Expreso Press, Uresti, (2015). *Inundación 2015, Reynosa, Tamaulipas*.

Fernández, M. y Carrillo, M. (Coords.) (2010). *América sumergida. Impactos de los nuevos proyectos hidroeléctricos en Latinoamérica y el Caribe*. Barcelona: Icaria.

Foro TV (2019). *Inundación 2019, Reynosa, Tamaulipas*.

Gaytán, J. (2018). *Clasificación de los riesgos financieros*. Mercados y Negocios, núm. 38, 2018.

Gobierno del Estado de Tamaulipas (2016). *Plan Estatal de Desarrollo 2016-2022*.

Harberger, A. (1972). *On Measuring the Social Opportunity Cost of Public Funds*. En project evaluation-collected papers, cap. 4, The University of Chicago Press, Chicago.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2000). *Modelos digitales de elevación, Reynosa*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825548421>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020). *Inventario de Viviendas*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/inv/default.aspx>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020). *Censos y Conteos de Población y Vivienda*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/cpvsh/>

La Verdad (2018). *Inundación 2018, Reynosa, Tamaulipas*.

Morín, E. (2018). Guía general para la presentación de evaluaciones costo y beneficio de programas y proyectos de inversión 2018. *Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos*.

Municipio de Reynosa, Tamaulipas (2018). *Plan Municipal de Desarrollo 2018-2021*.

Noticias Monterrey (2020). *Inundación 2020, Reynosa, Tamaulipas*.

Peña, R. (2018). *Inundación 2018, Reynosa, Tamaulipas*.

Rausch, G (2017). *Estado, Desarrollo y Naturaleza: el caso del proyecto Paraná Medio bajo el paradigma hidráulico nacional (Argentina, 1958-1986)*.

Rolland, L. y Vega, Y (2010). *La gestión del agua en México*.

Rozas, P. y Sánchez R. (2004). *Desarrollo de infraestructura y crecimiento económico: revisión conceptual*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Sotelo, G. (2002). *Hidráulica de Canales*. México, UNAM, Facultad de Ingeniería.

Secretaría de Gobernación (2019). *Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024*.

Secretaría de Gobernación (2020). *Programa Nacional Hídrico 2020-2024*.

Secretaría de Hacienda y Crédito Público (2013). *Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión*. Diario Oficial de la Federación.

Solís, Y, J. L. (s.f.). *Estimación de daños económicos en zonas urbanas inundables*, Gobierno de México. Gobierno de México.

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/58499/estimacion-de-danos-en-zonas-urbanas-inundables.pdf>

Suárez-Alemán, A. (2015). *Benchmarking economic infraestructura efficiency: How does the Latin America and Caribbean region compare?*. El Sevier, volume 58.

Suprema Corte de Justicia de la Nación (2014). *Protocolo de actuación para quienes imparten justicia en casos relacionados con proyectos de desarrollo e infraestructura. Primera edición.*

Televisa (2016). *Inundación 2016, Reynosa, Tamaulipas.*

Televisa (2018). *Inundación 2018, Reynosa, Tamaulipas.*

Universidad Nacional Autónoma de México (1982). *Manual de Hidráulica Urbana.*

WCD. (2000). *Dams and Development. A new framework for decision making.* London y Sterling: Earthscan.