CONSTITUCIÓN-MORONES PRIETO
CORREDOR DE MOVILIDAD SUSTENTABLE
PLAN MAESTRO

Informe Resumido

Enero 2014

CONSTITUCIÓN-MORONES PRIETO
CORREDOR DE MOVILIDAD SUSTENTABLE
PLAN MAESTRO

Informe Resumido

Enero 2014

CONTENIDO

00 Resumen Ejecutivo

Visión, Metas y Enfoque de Planificación

Plan Maestro

Constitución - Morones Prieto
Plan Maestro de Corredor de Movilidad Sustentable

01 Introducción

Acerca de la Cuenca del Río Santa Catarina

Huracán Alex 2010

Aprovechamiento de Oportunidades: Convertir un Desastre en una Oportunidad

Consejo Estatal para la Reconstrucción de Nuevo León + Consejo Nuevo León

Acerca de Este Proyecto
- ¿Qué es el Plan Maestro del Corredor de Movilidad Sustentable Constitución- Morones Prieto?
- Otros Esfuerzos de Planificación Relevantes

Acerca de este Documento

02 Visión y Enfoque de Planificación

Visión y Objetivos

A corto plazo, Escala de Corredor
A largo plazo, Escala de Corredor
A largo plazo, Escala de Ciudad

Enfoque de Planificación

5 Nodos Urbanos
4 Zonas de Ríos
3 Principios de Diseño Urbano
2 Escalas
1 Visión

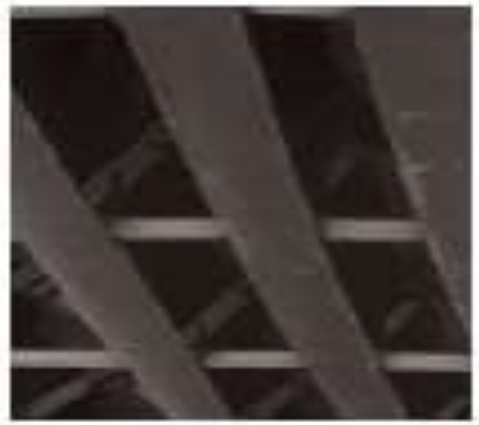
03 Comprensión de Monterrey y la Cuenca Hidrográfica Santa Catarina

Inspiración: Sitio + Cultura

Condiciones Existentes + Inventarios en Sitio

Municipios + Jurisdicciones
Nodos Urbanos + Destinos
Usos de las tierras existentes
Características Frontales de Ríos
Programa Público dentro del Corredor
Hidrología
Patrones de drenaje
Ecosistemas
Abrir Sistema Espacial
Transporte + Conectividad

Resultados de la Revisión del Agua por Expertos



04 Planificación Preliminar

Oportunidades y Restricciones

Plan Maestro Preliminar

05 Plan Maestro

Metodología

Objetivos del Proyecto
- Hidrología
- Movilidad
- Diseño urbano
- Espacio abierto

28 Estrategias

Macro Escala
Categoría 1: Agua

Escala de Ciudad
Categoría 2: Tránsito
Categoría 3: Tráfico de vehículos
Categoría 4: Uso de Tierra + Sub-centros
Categoría 5: Redes Peatonales+de Bicicletas
Categoría 6: Red de Espacio Abierto

Escala de Corredor
Categoría 7: Lecho de río + Canal de flujo bajo
Categoría 8: Áreas recreativas

06 Prioridades y Potencial de Implementación

Inmediato

Prioridad 1: A corto plazo

Prioridad 2: A mediano plazo

Prioridad 3: A largo plazo

07 Conclusiones y Próximos Pasos

Construyendo sinergias con otras agencias y organizaciones

08 Apéndices

Memorando Técnico 01
Agua (Tarea A1)

Memorando Técnico 02
Agua (Tarea A3)

Memorando Técnico 03
Transporte

Memorando Técnico 04
Capacidad de canal de río revisada

Memorando Técnico 05
Resultados del diseño urbano

Estudios de caso

00

RESUMEN EJECUTIVO

RESUMEN EJECUTIVO

00

Monterrey tiene una oportunidad única en una generación de replantear el corredor del Río Santa Catarina como una red troncal altamente funcional para la ciudad.

El proyecto del Corredor de Movilidad Sustentable de Constitución-Morones Prieto es un Plan Maestro integral para la rehabilitación de la infraestructura del área metropolitana de vital importancia, la circulación y las redes de espacios abiertos a lo largo del corredor del Río Santa Catarina.

El Plan Maestro fue desarrollado a lo largo de 18+ meses por AECOM (consultor multidisciplinario), bajo la dirección del Consejo Estatal para la Reconstrucción de Nuevo León (CERNL), y en colaboración con las aportaciones de la Gobierno del Estado de Nuevo León, a través de su Secretaría de Desarrollo Sustentable.

Visión, Objetivos y Enfoque de Planificación

Después de que el estado de Nuevo León fue golpeado duramente por el Huracán Alex en el año 2010, el Área Metropolitana de Monterrey quedó con graves daños en su infraestructura central de transporte, que es el sistema de autopistas que se compone de las avenidas Constitución y Morones Prieto, que se encuentran en ambos bancos del Río Santa Catarina canalizado.

Durante los esfuerzos de reconstrucción para el corredor del río, el estado de Nuevo León entendió esto como una oportunidad para cambiar el curso del área metropolitana. Los sectores público y privado se dieron cuenta de que con el fin de crear una nueva ciudad sustentable, era necesario involucrar a todos los sistemas urbanos. Esto no era una solución que pudiera ser resuelta mediante la fijación de la infraestructura de transporte, o mediante el aumento de la capacidad lecho del río en forma aislada. El paso a una nueva visión sustentable requiere la creación de un nuevo "ADN" para Monterrey, una nueva forma de ver los sistemas y construir una red integrada en su lugar. La búsqueda de un mapa de ruta para definir este nuevo ADN urbano es sobre lo que se trata este Plan Maestro.

En este sentido, la visión central y general subyacente al Plan Maestro del Corredor de Movilidad Sustentable de Constitución-Morones es:

El Área Metropolitana de Monterrey será la ciudad más económicamente vibrante, socialmente responsable y ambientalmente sustentable de México, con un corredor del Río Santa Catarina resistente a inundaciones y distritos urbanos adyacentes como su pieza central.

Será una ciudad donde los autos serán una opción al contar con excelente transporte público, un sistema de espacios abiertos altamente interconectado, y una sociedad civil cuidadosa que se enorgullecerá de su entorno urbano.

Su excelente calidad de vida atraerá talento e inversión desde dentro y fuera de México.

Con el fin de hacer realidad esta visión establecida en el Plan Maestro, el proyecto adoptó un enfoque de planificación llamado el "Enfoque 5-4-3-2-1". Este enfoque consiste en sopesar todas las propuestas y/o estrategias para la reconstrucción con el trasfondo de un sistema de múltiples capas centrado en la revitalización de (5) distritos urbanos, la restauración de (4) Zonas del Río, con el objetivo de implementar (3) Principios de Diseño Urbano de la sustentabilidad, y hacer frente a todos los factores en por lo menos (2) Escalas, escala macro/ciudad y la escala del corredor real, sumando todas las recomendaciones en una (1) la visión cohesiva.

Plan Maestro del Corredor de Movilidad Sustentable de Constitución-Morones Prieto

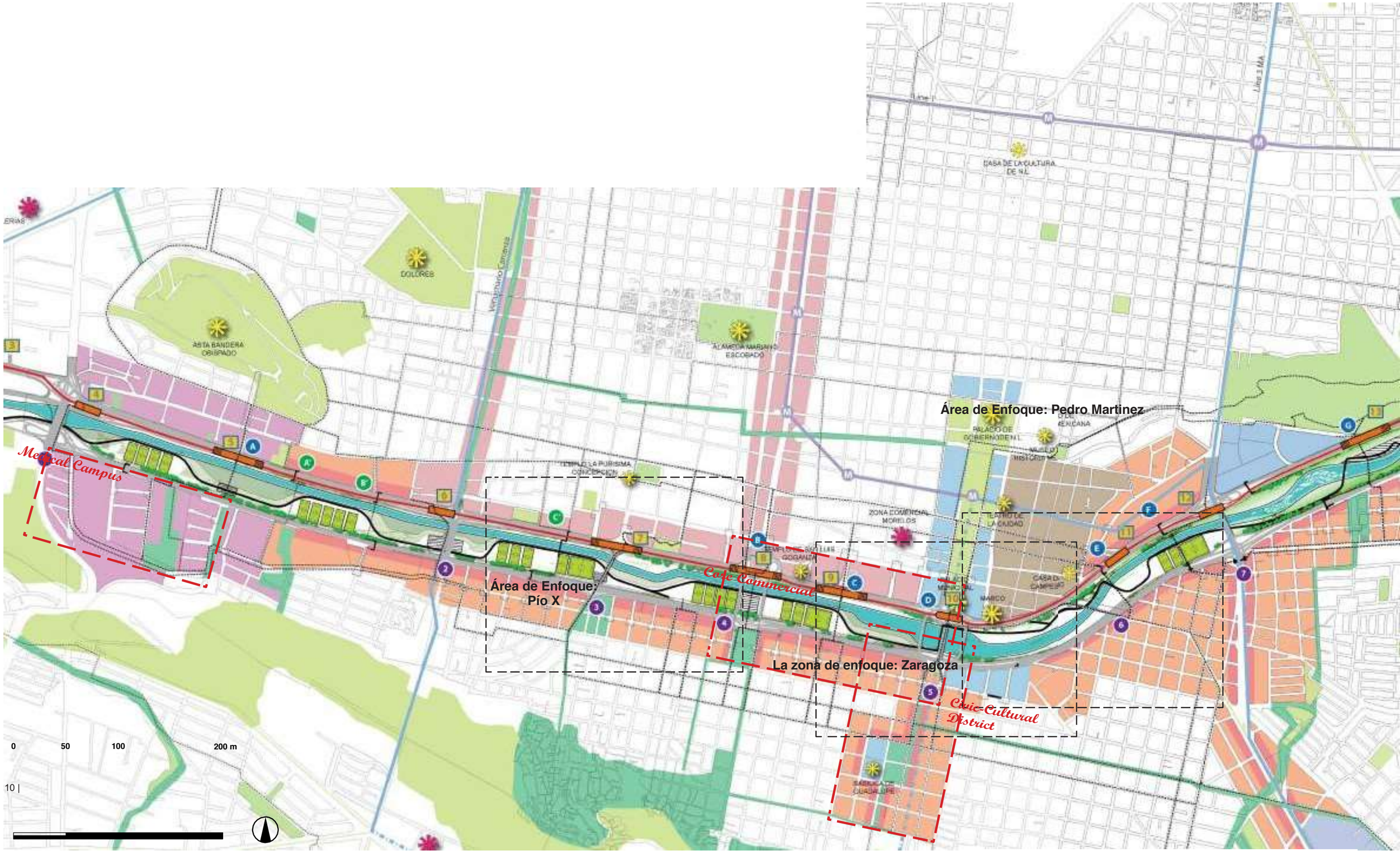
Como resultado de un proceso de planificación integral, el Plan Maestro resumió sus recomendaciones en un plan maestro de concepto (Fig. 00-1), y veintiocho (28) Estrategias.

Las estrategias, como se muestra en la tabla de la derecha y la figura 00-1 (página siguiente), se organizan en ocho (8) categorías: sistemas de agua, tránsito, tráfico vehicular, uso de la tierra y subcentros, redes para peatones y ciclistas, red de espacios abiertos, lecho del río y canales de flujo bajo, y áreas recreativas. Para mayor claridad, las categorías también se clasificaron en escalas específicas, a pesar de que muchas de las estrategias recomendadas se traslapan en al menos dos de esas escalas. Una explicación detallada y recomendaciones específicas para cada estrategia se incluyen en la sección 05 de este Plan Maestro.

La última sección de este documento presenta los criterios de prioridad para la implementación del Plan Maestro. Las (28) estrategias se presentan en tres grupos según su prioridad: prioridad a corto plazo (a implementarse dentro de los 3 años), prioridad a mediano plazo (a implementarse desde ahora, pero se completa dentro de los 9 años), y la prioridad a largo plazo (a ser iniciada después de 9 años). Antes de la implementación de estas estrategias, hay tres iniciativas que se recomienda que se inicien de inmediato. Estas acciones inmediatas incluyen el establecimiento del Consejo Nuevo León (una evolución del CERNL) como el líder y supervisor del Plan Maestro; definición de las responsabilidades y jurisdicciones de los grupos de interés; y la confirmación de un Plan de Acción (confirmación de la selección y secuencia de las estrategias para la implementación del Plan Maestro).

RESUMEN DE ESTRATEGIAS

Escala	Categoría	Estrategia		Propósito / Objetivo / Sub-Estrategia
Macro	Sistema de agua	S01	Reforestación en cuenca hidrográfica superior	Interceptar y detener precipitación y escorrentía superficial lenta. Dar prioridad a la reforestación aguas abajo de la presa Rompepicos.
		S02	Segunda Presa de Detención	Localizar segunda presa para optimizar la detención y atenuación de sedimento y flujos de inundación. Evaluar la producción de sedimento.
		S03	Túnel de desvío	Ubicar el desvío para un caudal sustentable (1-2 m³/s), costos razonables, evitar daños a las cuencas adyacentes.
		S04	Presas de detención más pequeñas y distribuidas	Construir pequeñas presas de retención en los afluentes de cabecera para atenuar los flujos de inundación y retener sedimentos.
		S05	Resiliencia de inundación mejorada en Corrientes	Analizar tierras en áreas de cuencas superiores afluentes y mejorarlas para retardar movimiento de precipitación a canales de corriente.
		S06	Plan de Adquisición de Tierras	Identificar terrenos de la ciudad susceptibles a desbordamiento por las inundaciones del río Santa Catarina y convertirlos para usos de suelo público (parques).
		S07	Plan de acción de emergencia (PAE)	Diseñar para inundaciones con posibilidad de 0.1% por año de la CNA (5,083 m³/s), pero prepararse para informar sobre, y ayudar a visualizar inundaciones más graves.
		S08	Código de Desarrollo de Tierra de Impacto Cero	Medidas de desarrollo de bajo impacto in situ para asegurar que los caudales post-desarrollo no superen los del predesarrollo.
Ciudad	Tránsito	S09	Puentes peatonales Norte-Sur Multiusos	Dos tipos: Acceso peatonal en puentes vehiculares existentes, y nuevos puentes peatonales exclusivos de Ecovía 2.
	Tráfico vehícular	S10	Coplas vehiculares Este-Oeste	Implementar/mejorar coplas de vehículos de este a oeste para aliviar el volumen de tráfico en Constitución-Morones Prieto en la ciudad.
	Uso de la Tierra + Sub-centros	S11	Proyectos de uso mixto de mayor densidad a lo largo del Corredor	Oportunidad de crear nuevos nodos urbanos densos a lo largo del corredor, para llenado de zonas infrautilizadas o desaprovechadas.
	Redes para peatones + ciclistas	S12	Dos coplas para bicicletas	Coplas orientadas a ciclistas-: Avenidas Padre Mier e Hidalgo (norte), y Calles 16 de Septiembre y 5 de Febrero (sur).
		S13	Carril de bicicletas continuo sobre el lecho del río	Impacto de construcción mínimo, carril estacional continuo, “a campo traviesa” a lo largo del lecho de río de Juárez a Santa Catarina.
		S14	Acceso directo al carril para bicicletas continuo	Acceso directo al carril continuo para bicicletas cada 3 Km (zonas naturales de los ríos), cada 1 Km (áreas cívicas y parques de los ríos).
		S15	Transferir un carril de tráfico para banqueta de peatones	Mejorar la circulación peatonal, donde el área del banco del río está limitada, y mejorar la “fachada urbana” a lo largo del corredor.
		S16	Circuitos peatonales del vecindario	Crear redes peatonales “oportunistas” adyacentes a estaciones de Ecovía 2, para minimizar banqueta de río donde el espacio es limitado.
	Red de Espacio Abierto	S17	Zonas del río	Definir (4) zonas de características del río, para gestionar el diseño y mejoras: natural (aguas arriba y abajo), cívicas y parque.
		S18	Columna verde central	Transformar eje que conecta la Macroplaza con la Basílica de Guadalupe en una columna verde urbana (remodelación + parque).
		S19	“Sistemas Verdes + Azules”	Sistema de espacio abierto lineal sobre las vías de drenaje naturales. Verde: conectores (peatones y fauna); Azul: Gestión de aguas pluviales.
		S20	Parches verdes	Preservar y/o insertar “parches verdes” (grupos de vegetación) en las orillas del río Santa Catarina.
		S21	Humedales / Cuencas de detención bajo los puentes existentes	Cuando se necesite capacidad adicional de canal de flujo bajo (en áreas restringidas bajo puentes (e)) construir humedales estacionales.
		S22	Paredes de bancos de Río + Pendientes de condición natural	Paredes para áreas verdes y públicas integradas (gradas, rampas de acceso y escaleras) para proporcionar control de erosión y características.
Corredor del Río	Lecho del río + Canal de flujo bajo	S23	Diseño de canal de flujo bajo	Diseñar canal de flujo bajo con los principios que favorecen/imitan la forma natural del canal dentro del río: trenzado y serpenteante.
	Áreas recreativas	S24	Programas consolidados permanentes al aire libre	Agrupar instalaciones de programas permanentes admisibles, para minimizar el acceso requerido y responder a las características del río.
		S25	Nodos actividad primaria (Parte superior de Puentes Ecovía)	Crear nodo de actividad primaria (comercial, reuniones, eventos) en la parte superior de los puentes peatonales de Ecovía 2.
		S26	Nodos actividad secundaria (Debajo de los Puentes)	Crear nodo de actividad secundaria (baloncesto, pista de patinaje) debajo de puentes vehiculares existentes sin obstruir las tuberías.
		S27	Cumplimiento de las Directrices de lecho de río CONAGUA	Crear manual de gestión de ríos para responder a directrices de la CONAGUA: calendario de actividades, acceso y estacionamiento, etc
		S28	Gestión de la escultura monumental urbana existente	Preservar e incorporar la escultura monumental existente que sobrevivió a Alex a un nuevo diseño y zonas de ríos.


Área de Enfoque: Pedro Martinez
Medical Campus
Área de Enfoque: Pío X
Cafe Commercial
La zona de enfoque: Zaragoza
Civic-Cultural District
0
50
100
200 m

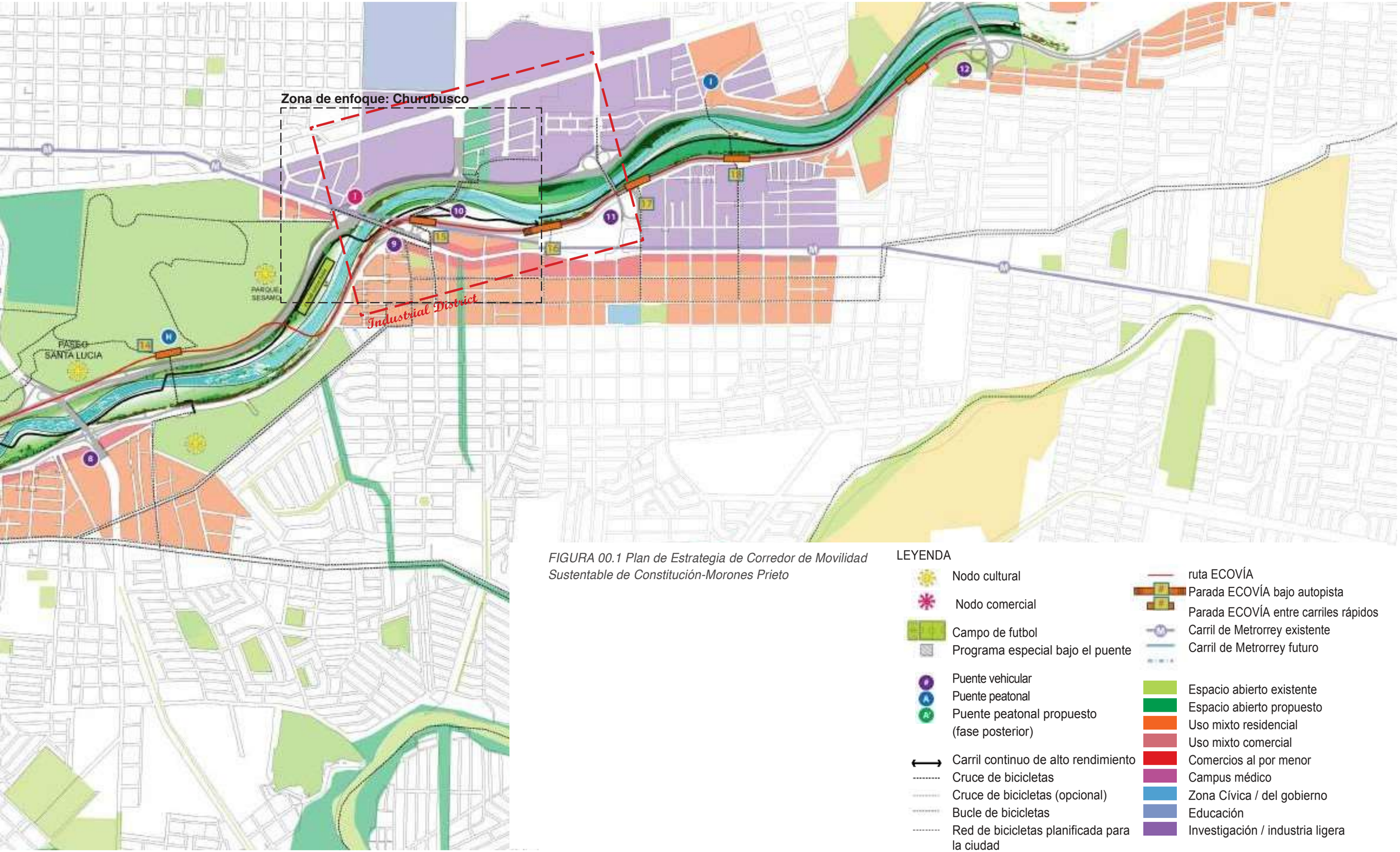


FIGURA 00.1 Plan de Estrategia de Corredor de Movilidad Sustentable de Constitución-Morones Prieto

01

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

01

El Área Metropolitana de Monterrey (AMM, Monterrey), está formada por la ciudad de Monterrey, la capital del Estado de Nuevo León y 12 municipios adyacentes parte del Estado de Nuevo León. Con una población de 4 millones, también es la tercera ciudad más grande de México después del valle de México y Guadalajara.

Monterrey es un importante centro industrial en el norte de México, produce uno de los mayores PIB de en el país. Cuenta con un sector industrial próspero, centros médicos de prestigio y una vibrante comunidad de investigación y académica. Monterrey ha sido clasificada en 2013, la sexta ciudad más atractiva para la inversión en América America[1].

Acerca de la cuenta del Río Santa Catarina

La Cuenca del Río Santa Catarina se encuentra dentro de la Sierra Madre Oriental, la cordillera Oriental expansiva del país que se extiende por 1,000 kilómetros. Obtiene su agua de esta cordillera; con origen en el Río La Chueca. Es parte de la región hidrológica del “Río Bravo”, una región que cubre más de 39,000 Km², que incluye las cuencas de los ríos Santa Catarina, San Juan, Ramos y Pesquería.[1]

El Río Santa Catarina es el río más importante en el área metropolitana de Monterrey y en el estado nororiental de Nuevo León. Su curso natural serpenteante, que atraviesa el valle plano aguas abajo de su origen en la Sierra Madre ha causado recurrentes inundaciones catastróficas que han ocasionado la pérdida de vidas y destrucción al ámbito urbano desde la fundación de la ciudad en el siglo XV.

1 Comisión de la Zona Conurbada. Plan Metropolitano 2000-2021.Plan de Desarrollo Urbano de la Zona Conurbada de Monterrey.

El Río Santa Catarina ha sido históricamente modificado y canalizado parcialmente dentro del área metropolitana de Monterrey, en un intento de aumentar la capacidad del río y reducir el riesgo de inundaciones. A pesar de estos esfuerzos, Monterrey recientemente sufrió daños significativos a la infraestructura, instalaciones recreativas y pérdidas personales causadas por los huracanes Gilberto (1988) y Alex (2010).

La Cuenca del Río Santa Catarina no sólo cubre la mayor área metropolitana de Monterrey, sino también el Parque Nacional Cumbres, un área natural protegida oficialmente. El corredor Santa Catarina de Monterrey conecta la ciudad y la naturaleza, desde los picos y valles ecológicos de la Sierra Madre hasta los distritos urbanos de llanuras metropolitanas. El Parque Nacional Cumbres se encuentra en la parte norte de la Sierra Madre Oriental, adyacente a la ciudad de Monterrey. El parque cuenta con 177,400 hectáreas y se estableció en 1939 con el objetivo de proteger los recursos hídricos, y la flora y fauna nativas que están viéndose afectadas por el rápido crecimiento de la ciudad de Monterrey[2].

Las montañas de la Sierra Madre Oriental pueden llegar a 2,100 metros sobre el nivel del mar y cuentan con bosques de pino y roble, cañones y cascadas. El Río Santa Catarina es el río más grande dentro del parque que llega a la ciudad. Tras las devastadoras inundaciones del huracán Gilberto, la presa Rompepicos fue construida dentro del área del parque, específicamente para hacer frente a los flujos de volúmenes de agua de alto riesgo durante las tormentas.

Huracán Alex

El huracán Alex se produjo en 2010 y se considera que causó peores daños que el huracán Gilberto en 1988.

2 Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Cumbres_de_Monterrey_National_Park

Originalmente un ciclón tropical, Alex causó graves daños en el Caribe, Golfo de México y la región noreste de México del 25 de junio al 02 de julio de 2010. Tocó tierra el 01 de julio de 2010 como un huracán de categoría 2 en el estado de Tamaulipas. A pesar de que la Sierra Madre Oriental debilitó el huracán a categoría 1, cuando Alex llegó a Nuevo León rompió récord de lluvia y llenó varias presas en la región obligando a la CNA a descargar el agua de las mismas. Un total de 713 m³/s fueron liberados de la presa La Boca en Santiago que estaba al 98% de su capacidad máxima de operación, 1,648 m³/s de Cerro Prieto en Linares a una capacidad del 114% y 3,080 m³/s de la presa de Cuchillo a 124% de su capacidad. El Río Santa Catarina, experimentó un flujo récord de 2,500 m³/s.

El daño causado por Alex se estima en $1.8 mil millones de dólares ($169 mil millones de pesos mexicanos). La región sufrió cortes de luz y de agua, inundaciones y colapso de la infraestructura. Se declaró estado de emergencia para la mayor parte de Nuevo León. Al menos 51 personas murieron como resultado del huracán, incluyendo 15 muertes en Nuevo León[4].

Las zonas bajas del área de Monterrey se inundaron y el sistema central de carreteras, que se extiende a lo largo de ambos lados del Río Santa Catarina, se derrumbó en múltiples ubicaciones. Los puentes peatonales y vehiculares que cruzan el río fueron destruidos. El daño incluyó la destrucción total de las instalaciones recreativas colocadas originalmente en el lecho del río. Los campos de fútbol, estacionamientos, mercados y un campo de golf fueron arrastrados completamente.

3 Comisión Nacional del Agua, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comunicado de Prensa No. 156-10.
4 Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Hurricane_Alex_(2010)

Aprovechamiento de Oportunidades: Convertir un Desastre en una Oportunidad

Después del huracán Alex, para el Estado de Nuevo León era una prioridad coordinar los esfuerzos de reconstrucción de manera integral. Se pensó que un plan maestro de reconstrucción era la mejor manera de coordinar los temas específicos que necesitaban ser abordados, como la gestión del agua, rehabilitación y reconstrucción de infraestructura vial, uso del suelo y nuevas directrices y regulaciones urbanas.

En el Área Metropolitana más grande de la misma ciudad de Monterrey, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), mediante la Organización de la Cuenca del Río Bravo, decidió profundizar y modificar el lecho del río Santa Catarina para incrementar su capacidad durante los desbordamientos de corrientes pico y reducir el riesgo de inundación de la ciudad. Además de cambiar la capacidad del río, la CONAGUA inicialmente recomendó mantener el canal libre de cualquier infraestructura, como instalaciones recreativas que históricamente habían sido colocadas en el lecho del río. Además, la cuenca superior podría ser reforestada para fomentar la recarga y retención de agua y, por lo tanto, reducir la cantidad de escorrentía que el río tendría que soportar.

Debido a la necesidad de la ciudad de reparar con urgencia su infraestructura de carreteras y puentes se puso en marcha el concepto de la Copla (Par Vial) Constitución-Morones Prieto. Este concepto consistía en convertir temporalmente los anteriores 8 y 6 carriles, carreteras de doble sentido que flanqueaban el río en un sistema vehicular de pares, con el tráfico de Constitución con movimiento exclusivamente en dirección oeste, y el de Morones Prieto en dirección al este.

Una vez que el concepto de Copla se implementó y comenzó sus operaciones, se determinó entonces que podría convertirse en una solución permanente viable,

5 http://www.nl.gob.mx/?P=parvial_2011

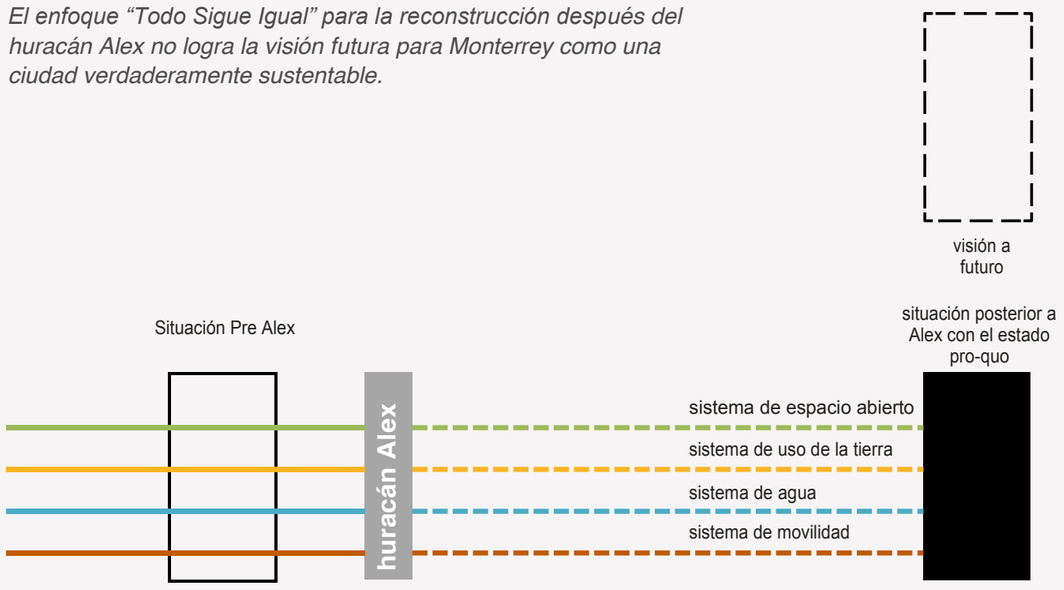
incluyendo la futura incorporación de un segundo carril de Ecovía (sistema de transporte rápido de autobús) a lo largo del lado de Constitución de la Copla.

Junto con las propuestas de Ecovía 2, y la ampliación prevista del Metrorrey (sistema de metro de la ciudad), Monterrey estaba buscando convertirse en una ciudad multimodal, con el corredor Constitución-Morones Prieto como su componente más prominente.

La reconstrucción del corredor del río se veía como una oportunidad para cambiar el curso del área metropolitana. Los sectores público y privado se dieron cuenta de que con el fin de crear una nueva ciudad sustentable, se necesitaba que todos los sistemas urbanos estuvieran involucrados. Esto no era una solución a la que se podía llegar mediante la fijación de la infraestructura de transporte, o mediante el aumento de la capacidad lecho del río en forma aislada. El camino a una nueva visión sustentable requería la creación de un nuevo "ADN" para Monterrey, una nueva forma de ver los sistemas y construir una red integrada en su lugar (Fig. 01-1). La búsqueda de un mapa de ruta para definir este nuevo ADN urbano es sobre lo que se trata este Plan Maestro.

Inundación causada por el Río Santa Catarina en Monterrey, Nuevo León durante el huracán Alex (2010; Fuente: Wikipedia)

El enfoque "Todo Sigue Igual" para la reconstrucción después del huracán Alex no logra la visión futura para Monterrey como una ciudad verdaderamente sustentable.



Replantear la forma en que todos los sistemas urbanos trabajan, con el objetivo de un enfoque integrado a los esfuerzos de reconstrucción, permite que la visión a futuro se convierta en una realidad.

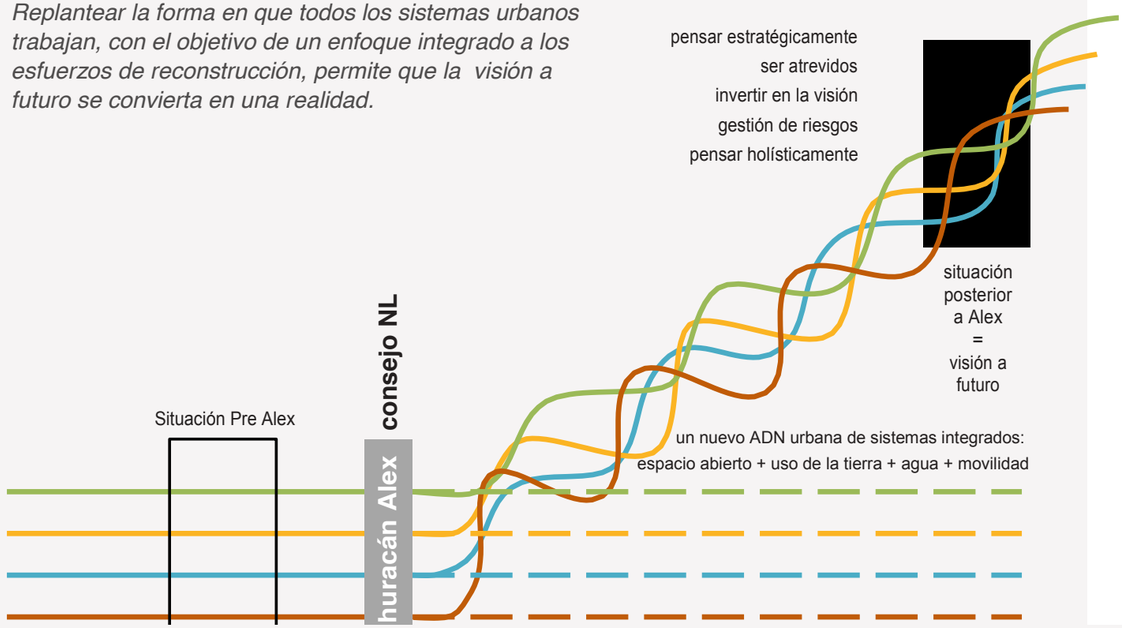


FIGURA 01.1 Sistemas Integrados - Una visión holística. Diagrama de concepto.

Consejo Estatal para la Reconstrucción de Nuevo León & Consejo Nuevo León

Para dirigir los esfuerzos de reconstrucción, el Consejo Estatal para la Reconstrucción de Nuevo León (CERNL) fue creado en 2010 como una asociación pública/privada con la aprobación del Gobernador como una entidad. El CERNL tuvo la tarea de ayudar, coordinar y orientar las actividades de reconstrucción después del huracán Alex que revitalizarían y restaurarían la economía, la comunidad y el medio ambiente. Los miembros del CERNL ofrecieron su tiempo y experiencia y no recibieron ninguna compensación. Votaron y fueron capaces de aprobar los planes relativos a los proyectos de reconstrucción. Las tareas del CERNL incluyeron:

- Asesorar y aprobar el plan maestro de reconstrucción;
- Proponer estrategias de coordinación para los proyectos y programas ejecutados por los diversos organismos municipales, estatales y federales;
- Supervisar los fondos y recursos asignados a los proyectos de reconstrucción;
- Informar al público sobre los avance del proyecto;
- Apoyar las solicitudes de fondos públicos y privados destinados a proyectos de reconstrucción;
- Promover el voluntariado en los trabajos de restauración y reconstrucción;
- Crear y aprobar las comisiones o grupos de trabajo dedicados a cuestiones específicas de reconstrucción;
- Supervisar la ejecución de los trabajos de reconstrucción;
- Supervisar el trabajo a través de comisiones;
- Articular las comunicaciones públicas; y
- Aprender de la experiencia del pasado para construir un mejor Nuevo León.

Después de una séptima reunión del CERNL, el Gobernador asignó una iniciativa para crear el Consejo de Nuevo León, una entidad no partidista, interinstitucional potencialmente permanente que continuaría la obra del CERNL con un enfoque a futuro de 15 años iniciales como máximo. El Consejo Nuevo León es único en México, en el sentido que reúne a los sectores público y privado, responde a planes de visión a largo plazo y proporciona la administración necesaria para afrontar el reto de reconstruir la tercera área metropolitana más grande de México, mientras que planifica un futuro verdaderamente sustentable. Es gracias a la creación de esta entidad, que un Plan Maestro a largo plazo como el que se resume en este documento es posible.

Acerca de Este Proyecto

¿Qué es el Plan Maestro del Corredor de Movilidad Sustentable Constitución-Morones Prieto?

Monterrey tiene una oportunidad única en una generación de replantear el corredor del Río Santa Catarina como una red troncal altamente funcional para la ciudad.

El proyecto del Corredor de Movilidad Sustentable de Constitución-Morones Prieto es un Plan Maestro integral para la rehabilitación de la infraestructura del área metropolitana de vital importancia, la circulación y las redes de espacios abiertos a lo largo del corredor del Río Santa Catarina. El Plan Maestro fue desarrollado por AECOM bajo la dirección del CERNL, y en estrecha colaboración con las aportaciones de la Secretaría de Desarrollo Sustentable de Nuevo León.

El Plan Maestro tiene como objetivos:

- Mejorar el control de inundaciones y gestión del agua;
- Mejorar la conectividad regional y local;
- Mejorar la accesibilidad al espacio abierto recreativo;
- Mejorar la salud ecológica de la ciudad;
- Mejorar el rendimiento sostenible,
- Mejorar la habitabilidad;
- Elevar el valor de bienes raíces; y
- Permitir que el proyecto sea económica, ecológica y socialmente sustentable.

El Plan Maestro establece una visión estratégica a largo plazo para un corredor multimodal más vibrante, urbano y sustentable a lo largo del Río Santa Catarina que se convertirá en una pieza central icónica de la ciudad, con base en la creación de la Copla Constitución-Morones Prieto y los planes para la implementación de la Ecovía 2. La ingeniería hidráulica está en el corazón del proceso de planificación proporcionando un conocimiento detallado de los sistemas hidrológicos y ayudando a mitigar futuros eventos climáticos catastróficos. A través de la planificación de futuros nodos urbanos de uso mixto y mejoras estratégicas en el ámbito público a lo largo de la orilla del río, las tierras adyacentes al corredor del río se prevén como futuros imanes para el desarrollo inmobiliario, con apoyo a un modelo más compacto y sustentable para el crecimiento urbano en la región de Monterrey.

Este Plan Maestro propone un enfoque integrado para los sistemas hidrológicos, de espacio abierto, de movilidad y uso de la tierra. Transmite un enfoque estratégico sólido con puntos de acción específicos para abordar diferentes escalas: la cuenca más amplia del Río Santa Catarina, el contexto urbano del río de la manera que atraviesa la ciudad de Monterrey y el corredor del río incluyendo el lecho del río. El área del proyecto comprende el corredor urbano del río del Municipio de Monterrey y Guadalupe.

Otros esfuerzos de planificación relevantes

El Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) fue contratado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, CNA), y el Organismo de Cuenca del Río Bravo (OCRB), para desarrollar un estudio que analizaría los impactos del huracán Alex en el Río Santa Catarina y las estrategias de mitigación necesarias para prevenir un futuro desastre de esa magnitud.

Los objetivos de este estudio incluyeron:

1. Determinar los impactos de los flujos en el canal del Río Santa Catarina resultantes de huracán Alex.
2. Estudio topográfico: crear datos topográficos que se puedan utilizar en el modelado hidrológico e hidráulico.
3. Identificar obstrucciones pre y post Alex en el canal, tales como puentes y vías, así como cambios en el tamaño y la dirección del canal.
4. Medir las obstrucciones restantes para determinar la sección del canal en esos puntos.
5. Definir el flujo futuro y su posible comportamiento utilizando los datos de precipitación del huracán Alex y otros supuestos de precipitación de diferentes escenarios de eventos de tormenta que pueden ser posibles.
6. Analizar el comportamiento del caudal del río existente para identificar posibles puntos de conflicto con las carreteras afectadas bajo los tres escenarios siguientes:
   - Reconstrucción de las mismas condiciones de los caminos pre Alex;
   - Reconstrucción de alternativas de caminos en áreas críticas;
   - Redefinir el sistema de caminos de la ciudad para liberar el río de caminos a lo largo de sus bordes.
7. Proponer estrategias de mitigación que respondan a diferentes escenarios de precipitación, el uso del suelo y la construcción de estructuras de control en canales que alimentan al Río Santa Catarina.
8. Comparar la alineación actual del río con alineaciones históricas mediante el uso de fotografías aéreas históricas y registros para entender el comportamiento del canal.
9. Evaluar el desempeño de la presa Rompepicos.
10. Proponer una estrategia de gestión de las aguas pluviales.

El equipo de proyecto de AECOM fue el responsable de una revisión independiente de los datos y métodos que estaban siendo formulados por las entidades locales y el ITESM para entender los procesos de inundación del Río Santa Catarina y su cuenca. Los hidrólogos de AECOM proporcionaron un estimado independiente del tipo de inundación de probabilidad de 0.1% por año para fines del diseño y elaboraron un modelo TUFLOW de 2 dimensiones de inundaciones para ayudar a las autoridades locales a visualizar los procesos dinámicos de inundación e informar sobre el proceso de planificación maestral integrada (véase la sección 3 de este informe).

Acerca de Este Documento

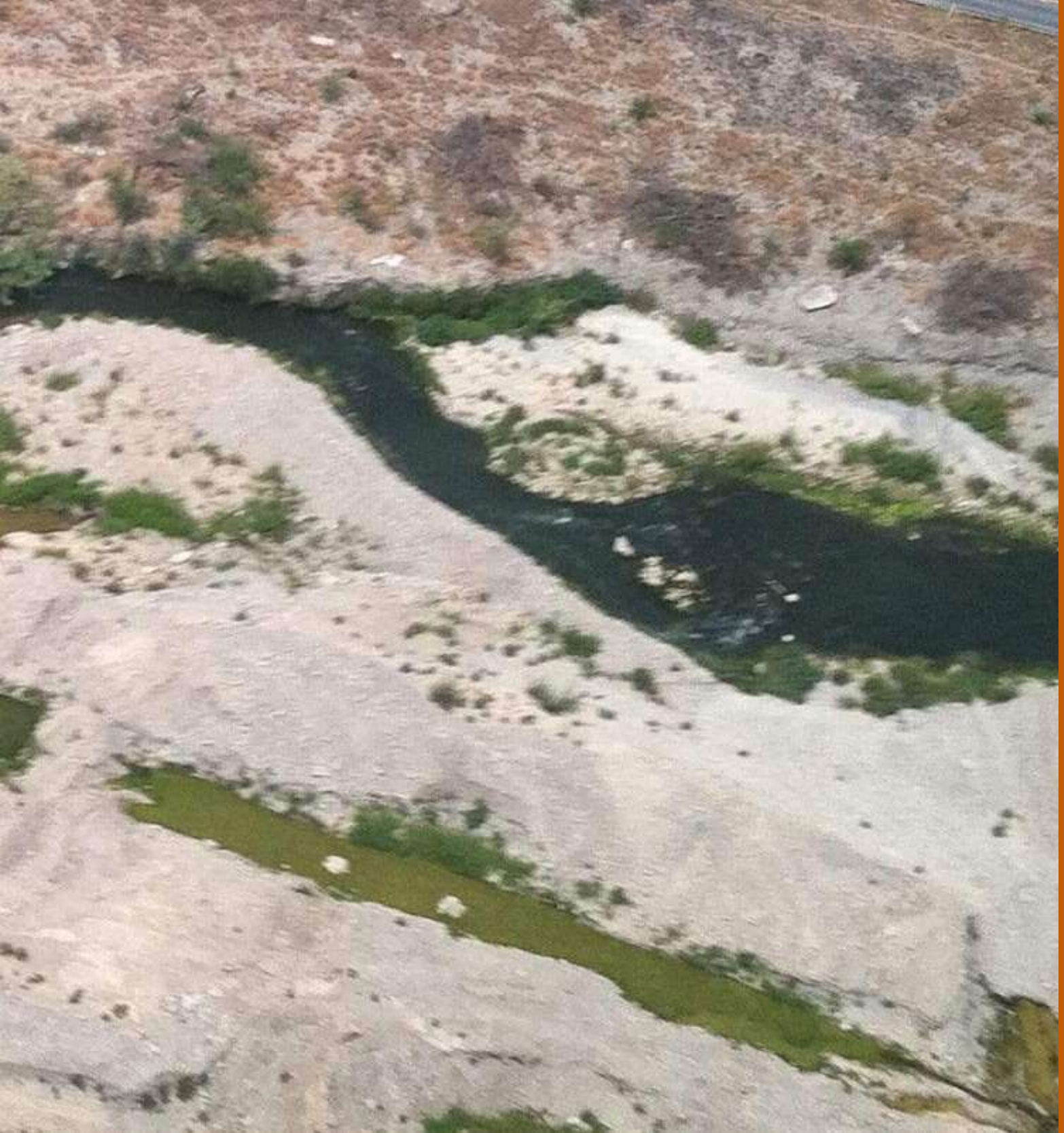
El Informe Resumido del Plan Maestro del Corredor de Movilidad Sustentable Constitución-Morones Prieto es el resultado de un proceso de planificación de colaboración de trabajo con el Consejo Estatal para la Reconstrucción de Nuevo León y la Secretaría de Desarrollo Sustentable de Nuevo León, llevado a cabo por AECOM de diciembre de 2010 a marzo de 2013 .

El propósito de este documento es proporcionar un resumen de la visión y un marco o “mapa de ruta” para el Consejo Estatal para la Reconstrucción de Nuevo León y otros actores involucrados en los esfuerzos de planificación y reconstrucción. El objetivo central de este “mapa de ruta” es identificar los próximos pasos y posibles proyectos necesarios para implementar la visión del Plan Maestro. Dado que se prevé que muchas de las estrategias identificadas se convertirán en proyectos por derecho propio, es de suma importancia que se haga constante referencia a este documento para asegurar la integridad y continuidad de esta visión.

El informe resumido está organizado en seis secciones:

- Sección 02 describe la visión y el enfoque de planificación utilizados;
- Sección 03 ofrece un breve resumen del análisis del sitio desarrollado;
- Sección 04 ilustra las ideas iniciales de planificación;
- Sección 05 describe el plan maestro y 28 estrategias;
- Sección 06 concluye el informe resumido, analiza las prioridades y el potencial de aplicación de las 28 Estrategias; y finalmente,
- Sección 07 describe los próximos pasos de la planificación.

FIGURA 01.2 Sección 05 describe las 28 Estrategias para el Corredor del Río Santa Catarina.



02

VISIÓN Y ENFOQUE DE PLANIFICACIÓN

VISIÓN y ENFOQUE DE PLANIFICACIÓN

02

Visión y Objetivos

Los muchos desafíos que enfrenta el corredor del Río Santa Catarina se abordan a través de una serie de estrategias a escala y de temas específicos que se describen en las siguientes secciones de este documento, cada una representa un aspecto clave para la posible implementación de este Plan Maestro. Antes de desarrollar las estrategias, el equipo del proyecto trabajó con el Consejo Estatal para la Reconstrucción de Nuevo León y la Secretaría de Desarrollo Sustentable de Nuevo León para definir una visión proyecto que ayudara a dirigir el esfuerzo de planificación maestral.

La visión también identifica los objetivos que definen un marco sustentable para el desarrollo futuro. Estos objetivos abordan dos escalas urbanas y marcos de dos plazos (a largo y corto plazo), destacando las oportunidades relacionadas con el crecimiento económico, la gestión de recursos y la calidad de vida, lo que permitiría a Monterrey y Nuevo León evolucionar hacia un área metropolitana verdaderamente sustentable. El corredor del río se contempla como el conducto para contar la historia de Monterrey y como plataforma para celebrar sus muchos logros y su futuro brillante.

A Corto Plazo, OBJETIVO Escala del Corredor

El Corredor del Río Santa Catarina proporcionará una variedad de instalaciones de espacios abiertos y recreativas a las personas del Área Metropolitana de Monterrey, al tiempo que estará preparada para soportar de manera efectiva los fenómenos meteorológicos catastróficos.

El corredor Constitución-Morones Prieto será reparado para que funcione eficazmente como una copla que soporte un sistema de tránsito rápido de autobuses de manera eficiente y segura.

A Largo Plazo, OBJETIVO Escala del Corredor

A través de la conversión de la copla de carretera Constitución-Morones Prieto en un corredor de movilidad multimodal, el Río Santa Catarina se convertirá en una parte bien conectada, apreciada e icónica del espacio público de Monterrey, al tiempo que estará preparada para soportar de manera efectiva los fenómenos meteorológicos catastróficos

Las tierras adyacentes al corredor del río se convertirán en un imán para el desarrollo inmobiliario y se regenerarán en nodos urbanos de uso mixto vibrantes a orillas del río.

A Largo Plazo, Visión de Escala de la Ciudad

El Área Metropolitana de Monterrey será la ciudad más económicamente vibrante, socialmente responsable y ambientalmente sustentable de México, con un corredor del Río Santa Catarina resistente a inundaciones y distritos urbanos adyacentes como su pieza central.

Será una ciudad donde los autos serán una opción al contar con excelente transporte público, un sistema de espacios abiertos altamente interconectado, y una sociedad civil cuidadosa que se enorgullecerá de su entorno urbano.

Su excelente calidad de vida atraerá talento e inversión desde dentro y fuera de México.

Enfoque de Planificación

El enfoque de planificación para el Plan Maestro del Corredor de Movilidad Sustentable Constitución-Morones Prieto se basa en una intervención integral de cinco niveles, que ha sido llamado el “enfoque 5-4-3-2-1”.

El enfoque 5-4-3-2-1 reconoce que el Plan Maestro tiene que abordar problemas multidimensionales que rodean la reconstrucción del área metropolitana, y que tiene que ser posible poder diseccionado en diferentes “capas” durante su implementación. Sin embargo, también es muy importante que todas las iniciativas y estrategias incluidas también se sumen a una visión integral. Por lo tanto, el enfoque... los diferentes niveles y capas (5, 4, 3, 2) se deben alinear en una visión única: 1.

Los cinco niveles del enfoque de planificación como se describen en las siguientes páginas son:

- 5 Cinco nodos urbanos
- 4 Zonas de ríos
- 3 Principios Diseño Urbano
- 2 Escalas
- 1 Visión

Ciudad de Montañas: valle plano contra montañas pronunciadas.

Cinco (5) Nodos Urbanos / Distritos

Con base en nuestros análisis, los usos existentes de la tierra y los indicadores económicos, se han identificado 5 nodos urbanos donde una característica distintiva está emergiendo y pudieran ser reforzados para fomentar futuras oportunidades de desarrollo. Los nodos urbanos clave son:

- Nodo de la salud;
- Nodo comercial;
- Nodo cívico
- Nodo recreativo
- Nodo industrial verde

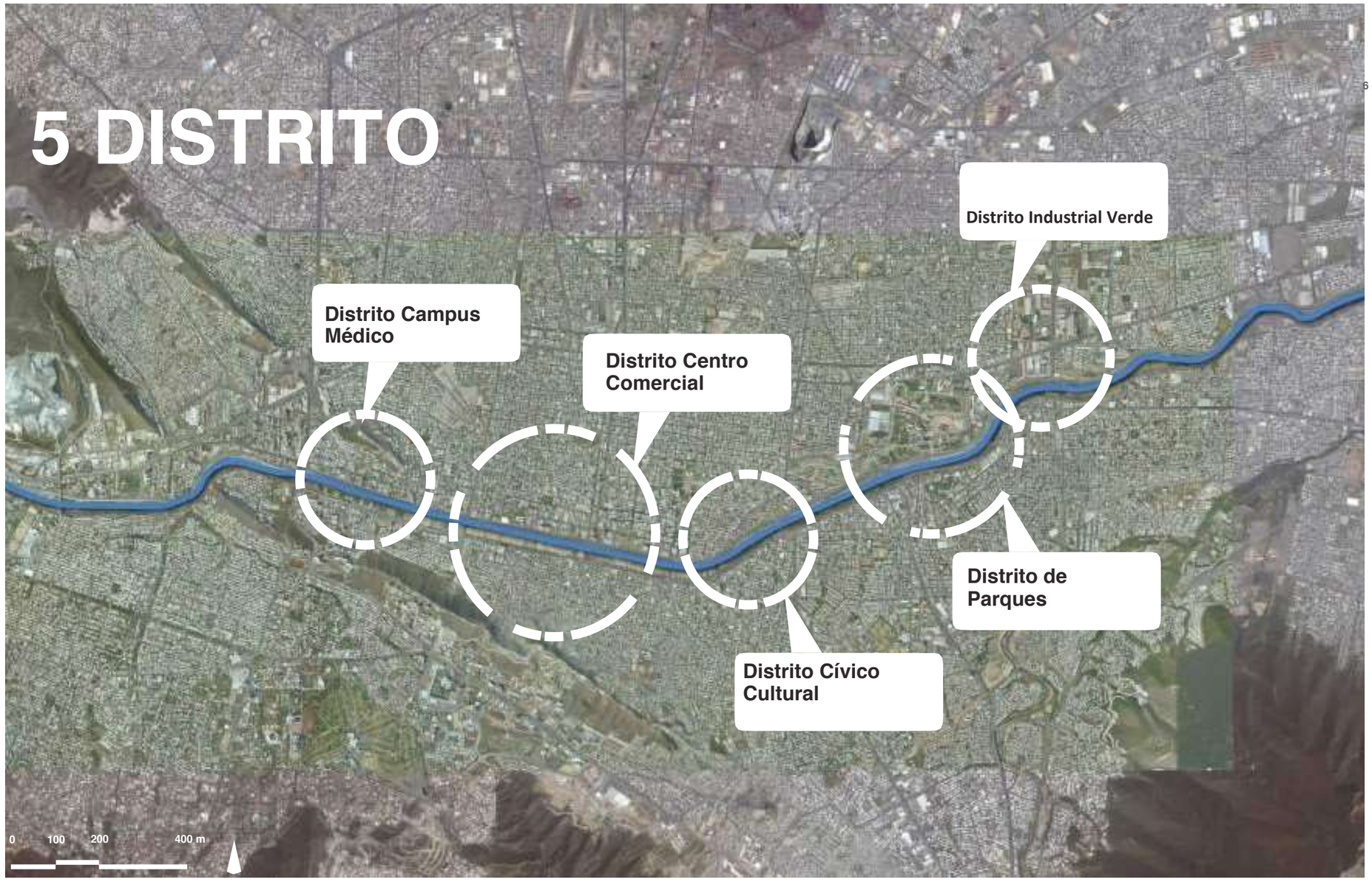


FIGURA 02.1 Diagrama: 5 Distritos

4 ZONAS DE RÍOS

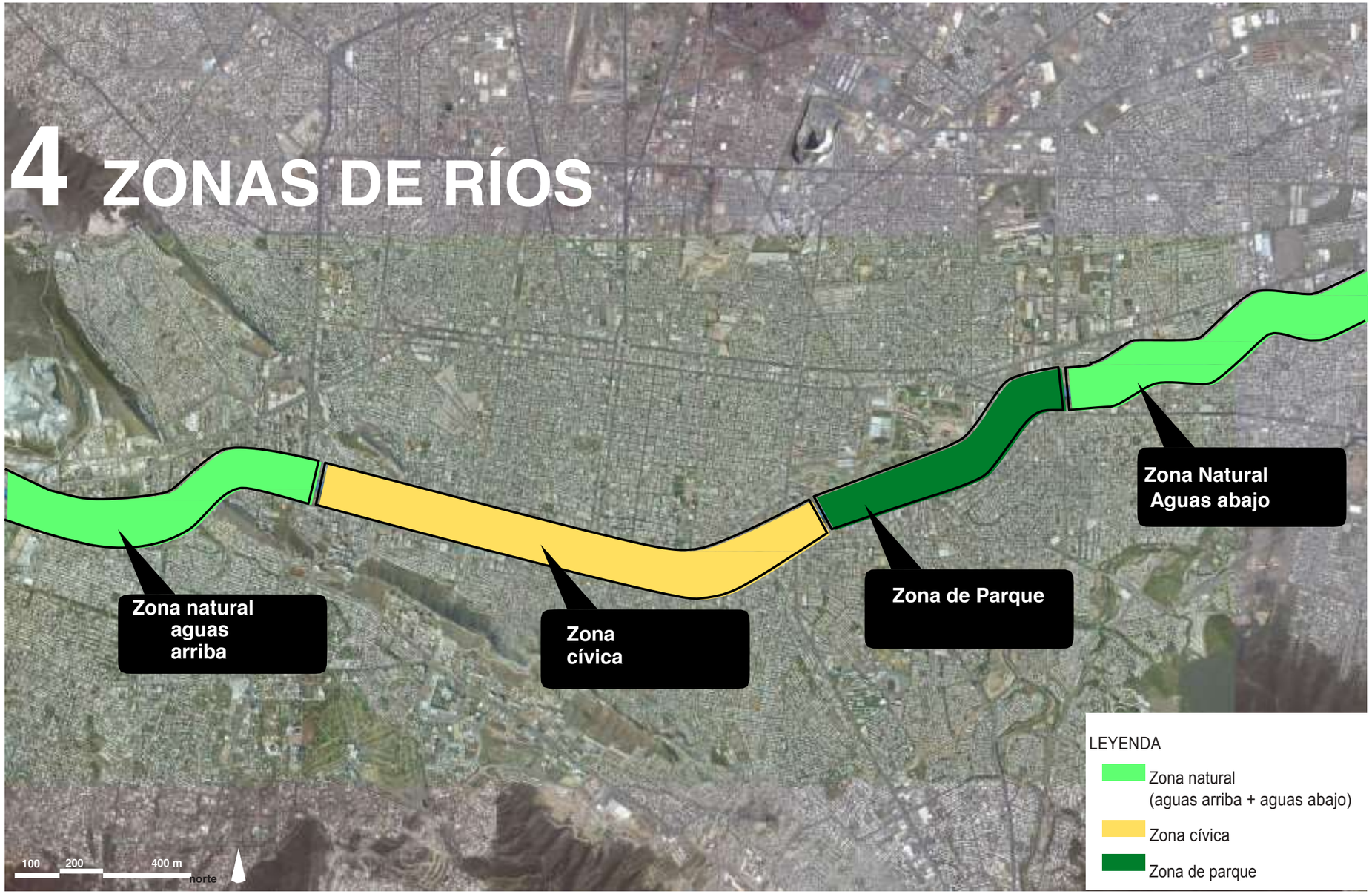


FIGURA 02.2 Diagrama: 4 Zonas de Río

Cuatro (4) Zonas de Ríos

Características de las transiciones de los ríos de un canal natural que fluye libremente hacia las orillas de la ciudad a un canal construido en la Zona Cívica y un canal construido parcialmente dentro de la Zona de Parque. Teniendo en cuenta el programa integrado dentro la cuenca del río, usos de suelo adyacentes y las características del paisaje, se han identificado las siguientes zonas fluviales:

- zona natural (aguas arriba)
- zona cívica
- zona de parque
- zona natural (aguas abajo)

FIGURA 02.3-4 Diagrama: Principio Urbano 1: Infiltración

(a) En un contexto urbano impermeable, la escorrentía se descarga en pocos puntos en grandes volúmenes; lo que disminuye la capacidad natural de los sistemas para evitar las inundaciones.

(b) Mediante el aumento de áreas permeables urbanas, el agua puede infiltrarse en varias ubicaciones y por lo tanto reducir el volumen de escorrentía que se descarga en el río, reduciendo así las posibilidades de inundaciones.

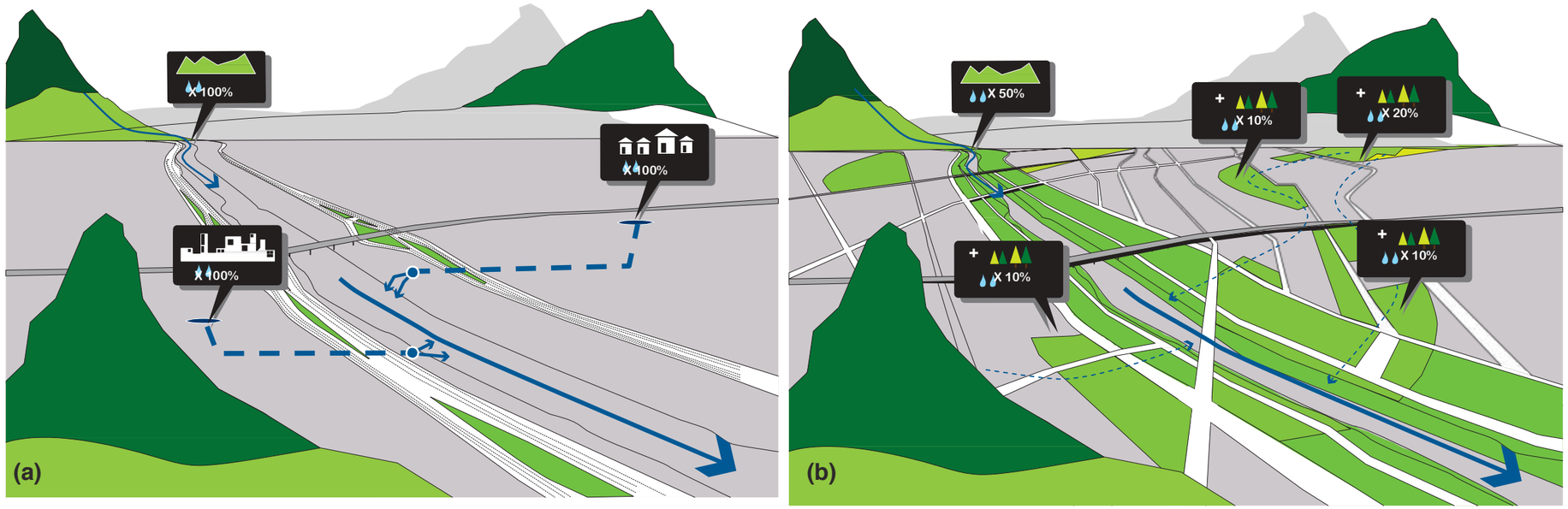
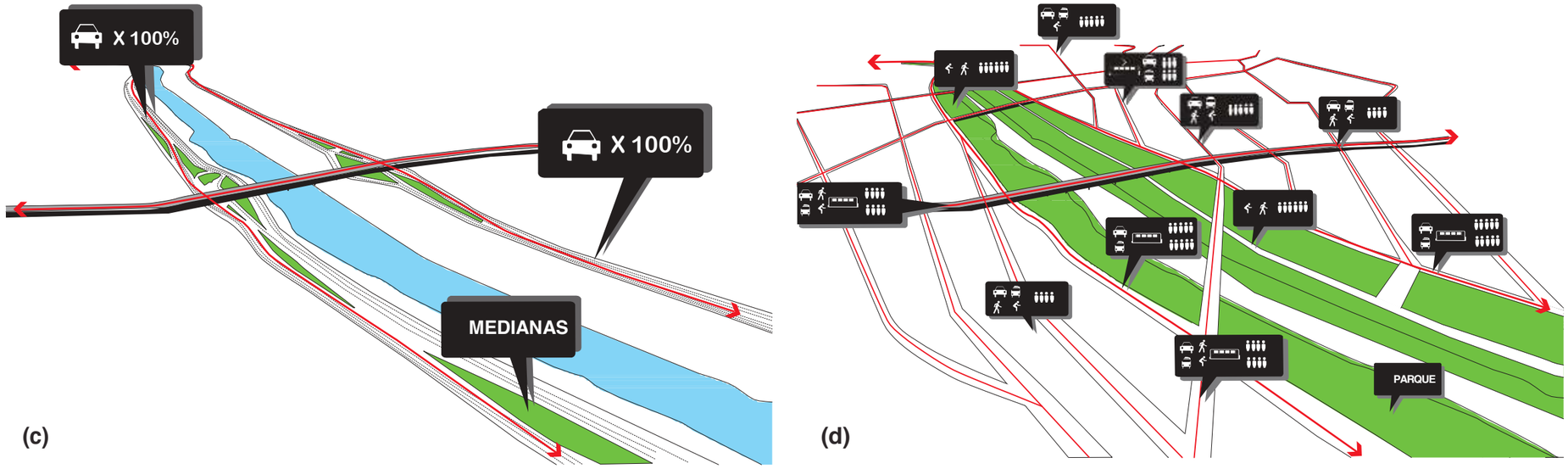


FIGURA 02.5-6: Principio Urbano 2: Programa

(c) La red actual urbana y de transporte permite un acceso restringido y un desarrollo del programa a lo largo de la cuenca del río. Las oportunidades se están perdiendo.

(d) Una red de movilidad diversificada abriría oportunidades para el nuevo programa a lo largo de la cuenca del río. La continuidad permitirá el desarrollo de ecosistemas conectados.



3 PRINCIPIOS DE DISEÑO URBANO

Tres (3) Principios de Diseño Urbano

La estrategia identifica tres principios de diseño urbano que responden al ciclo hidrológico, así como los requisitos del programa urbano. La aplicación de estos principios se traduce en superposiciones dinámicas de la naturaleza y la maximización de los beneficios de la vida urbana para los habitantes de las ciudades y los ecosistemas urbanos. Los principios son:

- Maximizar infiltración (Fig 02.3-4.);
- Aumentar las oportunidades para el programa de espacio abierto (Fig 02.5-6.);
- Crear redes - infraestructura verde (Fig 02.7-8.).

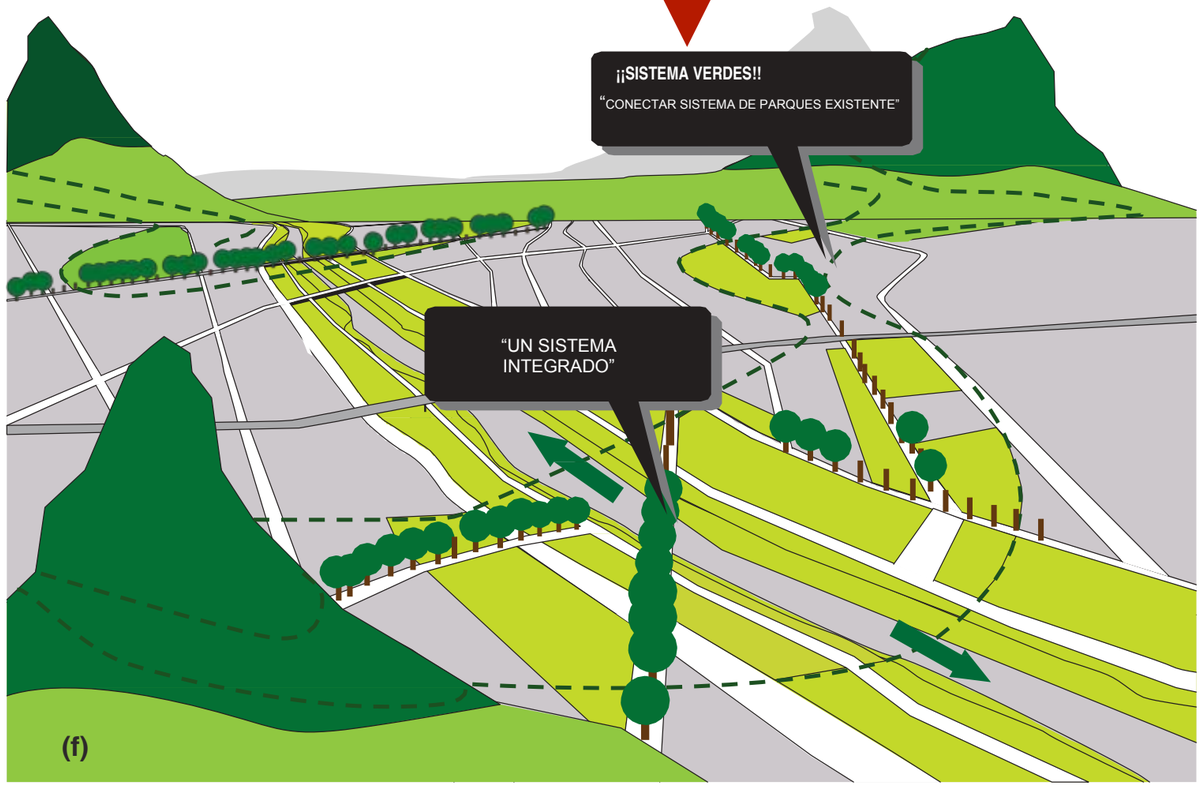


FIGURA 02.7-8 Diagrama: Principio Urbano 3: Infraestructura Verde
(e) El río y los parques de la ciudad ya existentes permanecen aislados y proporcionan valor recreativo y ecológico limitado.

(f) Mediante la conexión de estos espacios, se incrementará el acceso al espacio verde abierto, se establecerán ecosistemas y se crearán redes de infraestructura verde, que ayudan a aliviar las inundaciones y la contaminación del agua.

Dos (2) Escalas

La estrategia identifica dos escalas de referencia:

- Escala urbana (contexto urbano e hidrológico); y
- Escala de corredor (área de estudio).

Nuestra área de estudio está influenciada por los sistemas geológicos, hidrológicos y urbanos únicos de Monterrey. Estos sistemas fueron cuidadosamente examinados como parte del análisis y proceso de planificación para identificar más amplias oportunidades y desafíos y para proponer una visión que sea alcanzable y contextualmente coherente.

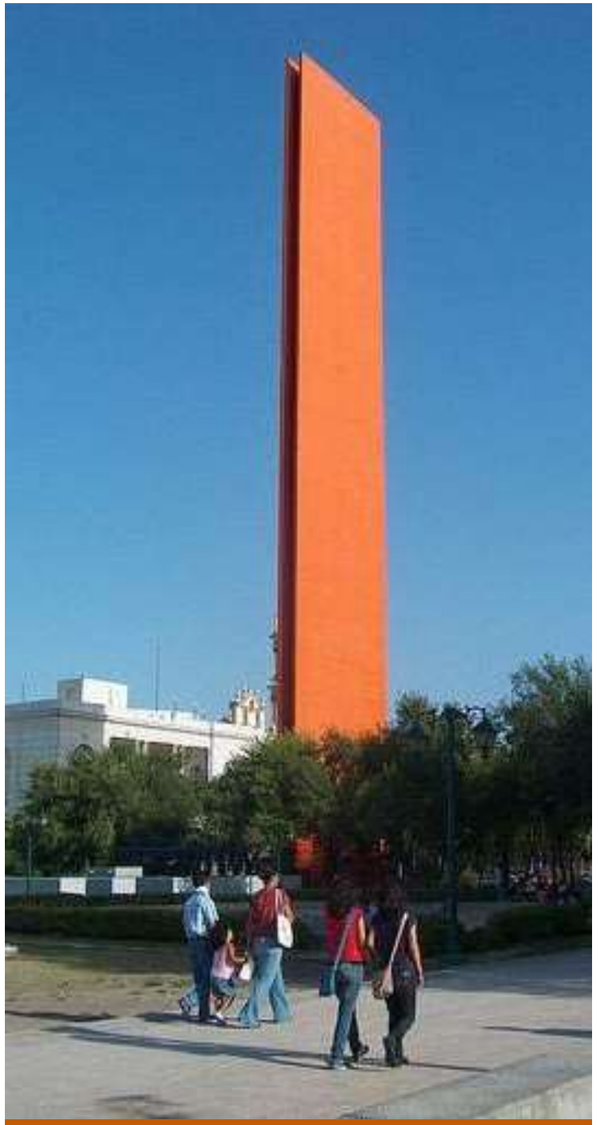
Al principio del proceso de planificación, el área de estudio se definió como el corredor del río paralelo a la avenida Constitución y la avenida Morones Prieto y que se extiende desde la unión de Gonzalitos (Oeste) hasta Las Américas (Este). Este corredor incluye el contexto urbano inmediato, así como la cuenca del río.

FIGURA 02.9 Diagrama: Cuenca / Escala Urbana y Escala de Corredor (área de estudio)

1 Visión

Naturaleza

Movilidad



Sitio

La superposición de estos temas de enfoque, 5 nodos urbanos, 4 zonas de río, 3 principios de diseño urbano y 2 escalas, genera una visión omnicomprensiva que es apropiada para el sitio, proporciona una adecuada movilidad de las personas y los sistemas naturales y sostiene la identidad de Monterrey como una ciudad que piensa estratégicamente, gestiona riesgos y toma acciones hacia un futuro sustentable.

Al invertir en la visión, Monterrey será la primera ciudad de México en tener un Corredor de Movilidad Integrado y Sustentable.

A largo plazo, VISIÓN Escala Ciudad

El Área Metropolitana de Monterrey será la ciudad más económicamente vibrante, socialmente responsable y ambientalmente sustentable de México, con un corredor del Río Santa Catarina resistente a inundaciones y distritos urbanos adyacentes como su pieza central.

Será una ciudad donde los autos serán una opción al contar con excelente transporte público, un sistema de espacios abiertos altamente interconectado, y una sociedad civil cuidadosa que se enorgullecerá de su entorno urbano.

Su excelente calidad de vida atraerá talento e inversión desde dentro y fuera de México.

03

COMPRENSIÓN DE MONTERREY Y LA CUENTA DE SANTA CATARINA

03

COMPRENSIÓN DE MONTERREY Y LA CUENCA SANTA CATARINA

El proceso de planificación se inició con un análisis a fondo del sitio, tanto a escalas del corredor como de la ciudad. Esta sección del informe resumido ilustra los principales factores estudiados durante este análisis, que se convirtieron en la base para el Plan Maestro.

Además, el equipo de planificación estudió el lugar y utilizó el paisaje y la historia local como fuente de inspiración. Los aspectos clave de estos estudios se describen en este documento. Algunos de estos elementos se describen en esta Sección.

Inspiración, Sitio + Cultura

Fundada en 1596, Monterrey se encuentra al norte de las montañas de la cordillera de la Sierra Madre Oriental, y es la capital del estado de Nuevo León. Monterrey es una ciudad vibrante, con un carácter único, de muchas maneras influenciada por su geología espectacular y vías fluviales.

El sistema de la cuenca de Santa Catarina pasa a través del Valle Extremadura, donde se encuentra el área metropolitana de Monterrey, y atraviesa de Este a Oeste[1]. El río es alimentado por numerosos afluentes y arroyos pequeños, algunos de los cuales se originan en las montañas que rodean la ciudad.

1 Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Monterrey

Paisaje Espectacular

El valle de Extremadura, que alberga el área metropolitana de Monterrey, se encuentra a 540 m sobre el nivel del mar y está rodeado de una serie de montañas y colinas que se elevan de forma espectacular desde el fondo del valle plano. Estos incluyen el icónico Cerro de la Silla, Cerro de la Loma Larga, Cerro del Obispado, Cerro del Topo y Cerro de las Mitras.

Este cambio repentino de altitud también se refleja en la diversidad de vegetación que cubre la zona, desde los bosques de pino y roble en la parte superior de la montaña hasta un valle desierto con escasa vegetación.

La zona de Monterrey es predominantemente seca y presenta veranos calientes e inviernos fríos extremos. El Río Santa Catarina, con una baja superficie fluye la mayor parte del año, lleva agua subterránea[2] y es la principal fuente de agua para un frágil cinturón de vegetación ribereña en sus márgenes.

Espíritu Emprendedor

Durante el siglo XIX, Monterrey surgió como una ciudad estratégica en el norte de México. Las conexiones por carretera y ferrocarril a San Antonio le dieron a Monterrey acceso a los Estados Unidos, y su proximidad al principal puerto de Tampico creó conexiones con los mercados europeos.

El cambio y la industrialización rápida, sobre todo centrada en la producción de acero, consolidaron a Monterrey como una potencia industrial en las primeras partes del siglo XX. Durante este período, la Fundidora de Fierro y Acero era la planta de producción de acero industrial más grande en el mundo3.

2 Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Monterrey
3 Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Monterrey

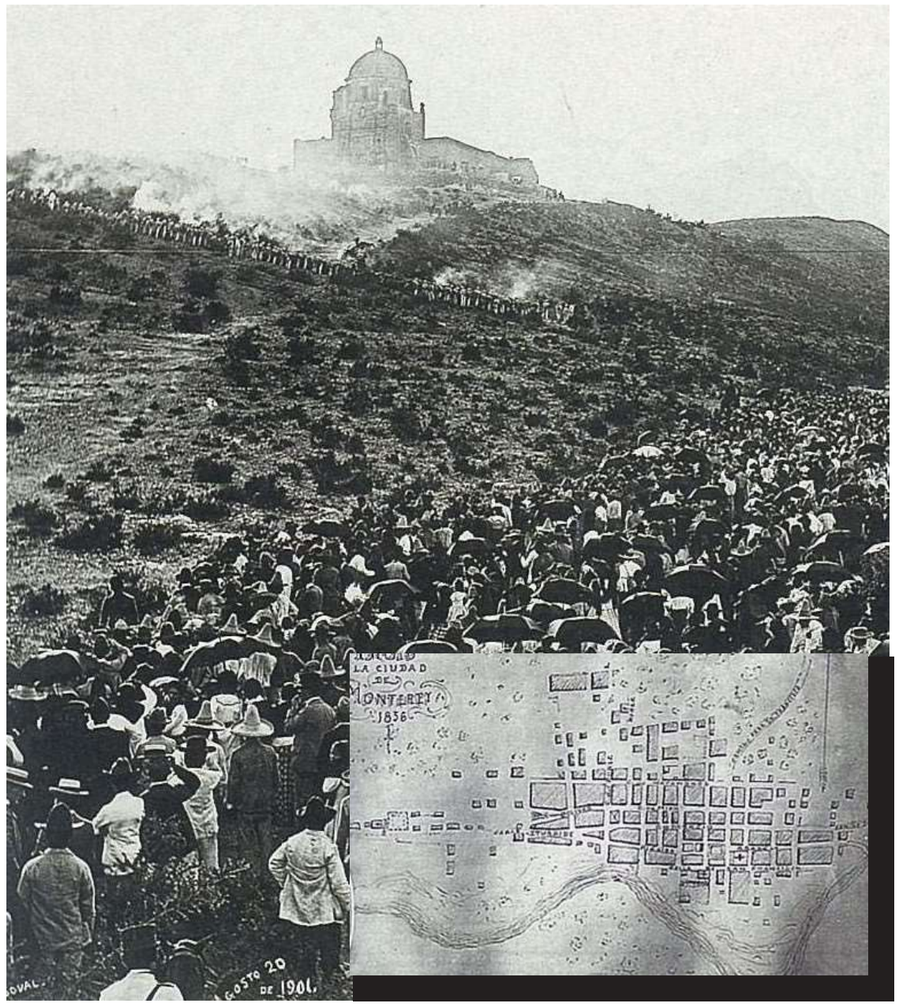
Este período productivo se vio reforzado por el desarrollo de fuertes lazos entre los sectores industriales, comerciales y académicos que continúan fortaleciendo la economía de Monterrey hasta la fecha.

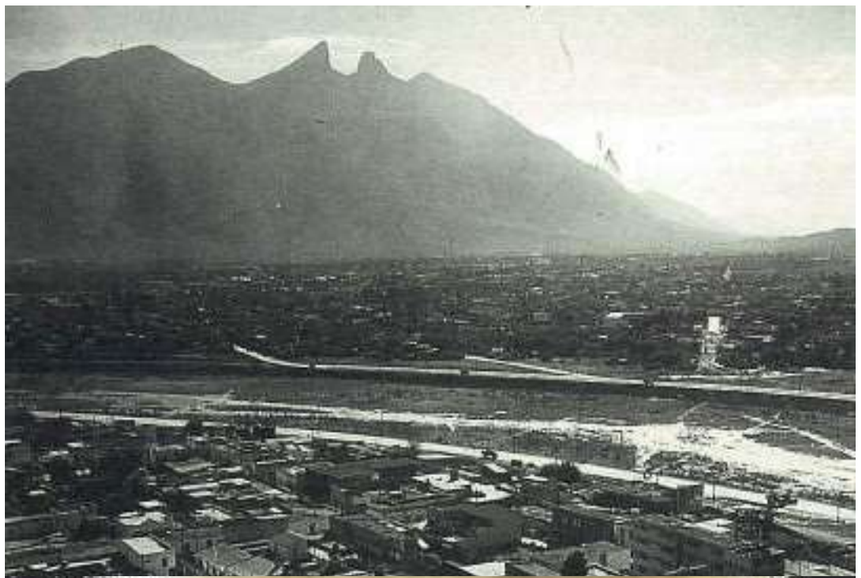
La prosperidad económica también ha hecho posible el desarrollo de una fuerte identidad cultural, donde las artes, los deportes y el entretenimiento juegan un papel importante en la vida de sus ciudadanos.

Infraestructura

El crecimiento económico de Monterrey también es visible en los múltiples puntos de referencia dentro de la ciudad. Estos incluyen la Red de Metrorrey, varios túneles y autopistas, la Macroplaza, el Parque Fundidora, el Faro de Comercio, el Puente Atirantado (Puente de la Unidad) y diversos edificios de Universidades.

En los últimos años, la ciudad de Monterrey también ha sido reconocida por su impresionante infraestructura médica, que proporciona servicios tanto a pacientes privados como públicos. Los hospitales en Monterrey son conocidos por su excelente prestación de servicios médicos y formación médica. Su reputación es el resultado de fuertes asociaciones forjadas entre la educación, el sector público y privado.





Monterrey una Ciudad de movimientos audaces: Las primeras fotografías que muestran la evolución de la ciudad y el fondo espectacular del paisaje de principios de 1900 (izquierda) a 1950 (derecha).

Registros históricos

Registros históricos muestran un desastre natural en 1909 cuando grandes áreas de Monterrey se inundaron (Fig. 03.1). 100 años más tarde, en 2010 el huracán Alex causó grandes daños en la ciudad, con destrucción de valiosa infraestructura y pérdida de vidas humanas.

Curso histórico del río

Imagen registrada de la inundación

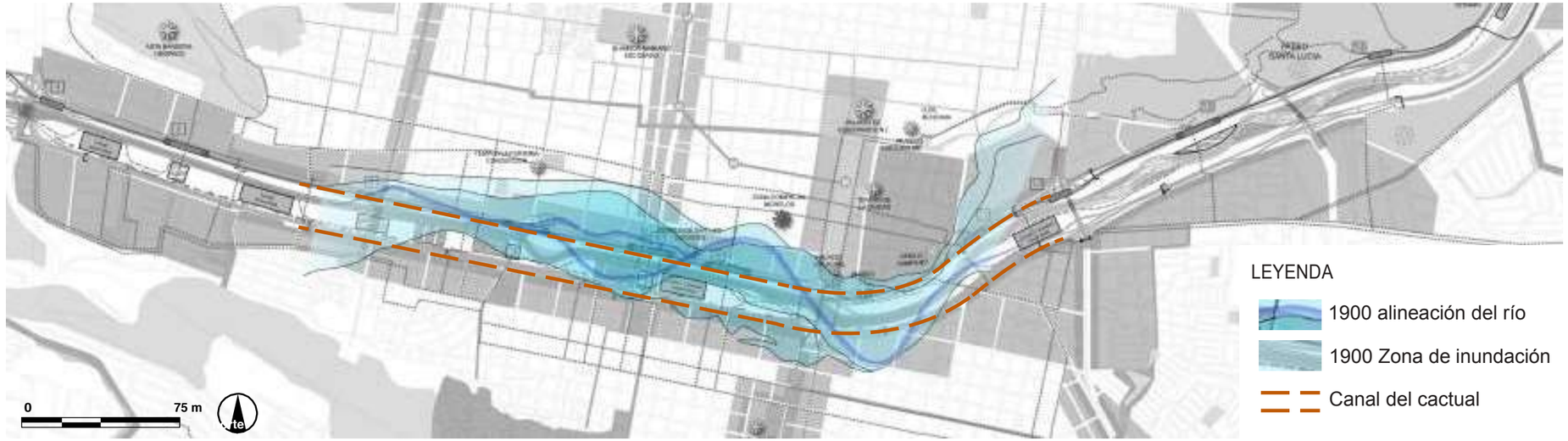
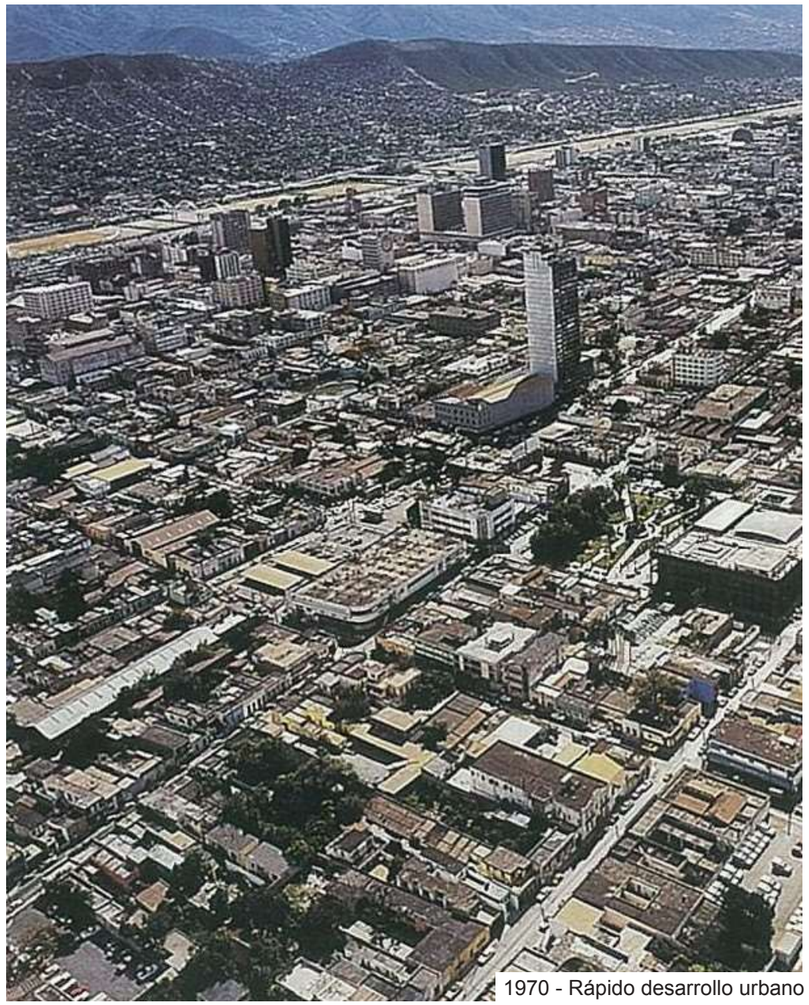
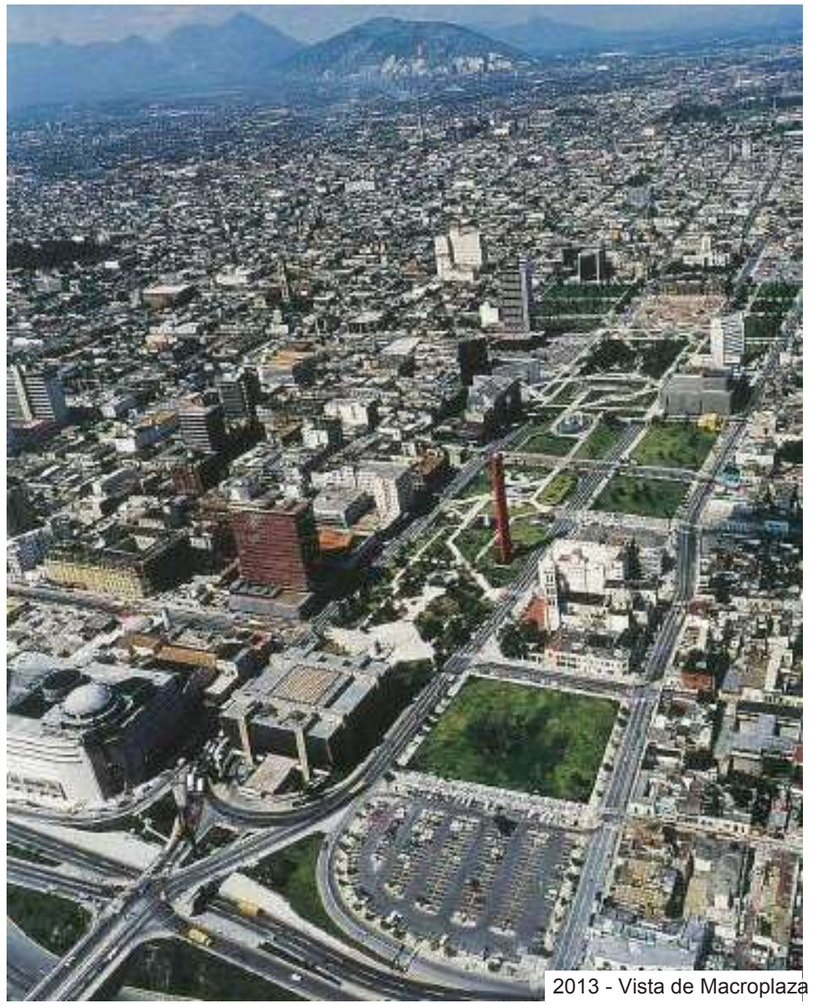


FIGURA 03.1 Diagrama: Superposición de mapa de inundación registrada.

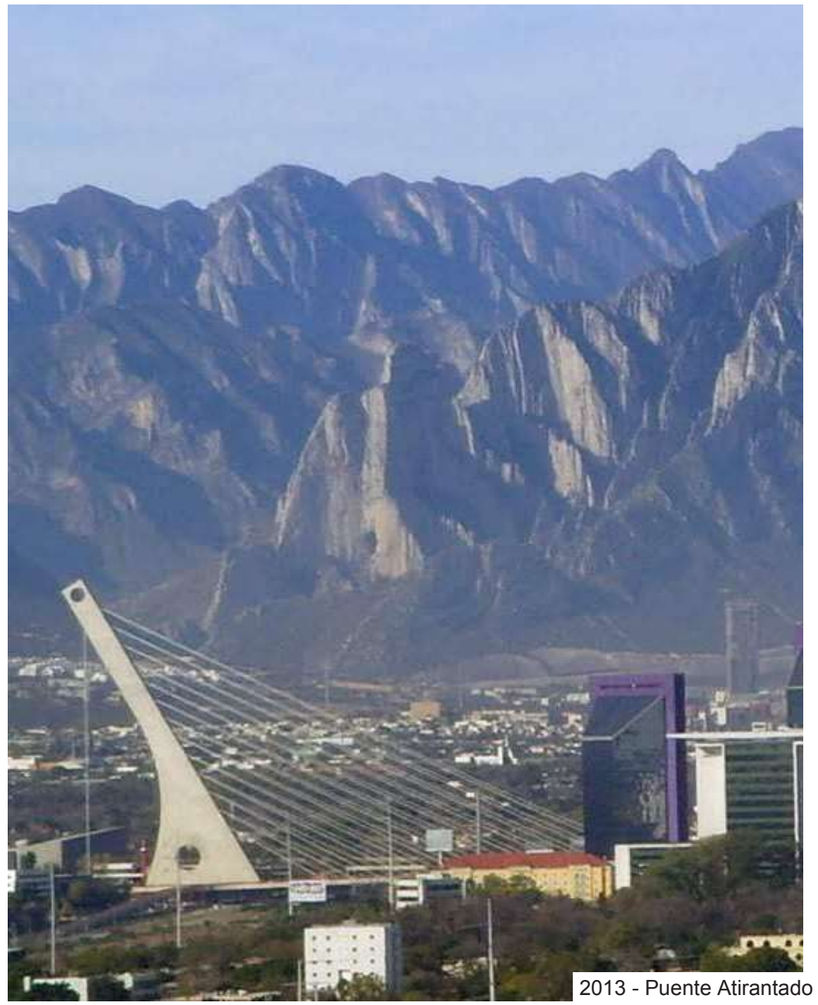
La ciudad de Monterrey está rodeada por un entorno natural rico y paisajes espectaculares.



1970 - Rápido desarrollo urbano



2013 - Vista de Macroplaza



2013 - Puente Atirantado

Monterrey una ciudad de movimientos audaces e iconos

Condiciones existentes + Inventarios del Sitio

Varios factores del sitio fueron identificados y estudiados para tener una mejor comprensión de las condiciones que rodean el esfuerzo de planificación. Esta sección del informe resumido ofrece una breve descripción y diagramas de los siguientes factores clave que fueron tomados en cuenta:

- Municipios + Jurisdicciones
- Ecosistemas
- Hidrología
- Espacios abiertos existentes
- Usos del suelo existentes
- Centros urbanos existentes
- Transporte en toda la ciudad
- Copla Constitución-Morones Prieto (antes y después de Alex)
- Inventario de conexiones del corredor (Pre Alex)
- Destinos urbanos clave (a lo largo del corredor)
- Características existentes de las orillas del río
- Programas al aire libre en el canal del río (Pre Alex)

Comprensión del patrimonio y los activos de Monterrey: Parque Fundidora.

Municipios + Jurisdicciones

El alcance del proyecto para el Plan Maestro reconoce dos escalas: el corredor y el contexto (cuenca y área urbana). Como resultado de ello, el Plan Maestro recomienda estrategias que requerirán que todos los municipios trabajen juntos para lograr la visión. Dada su ubicación y su relación con el corredor del río, los siguientes municipios están en el centro de este proyecto (Figura 03.2):

- Monterrey
- Guadalupe
- Garza García

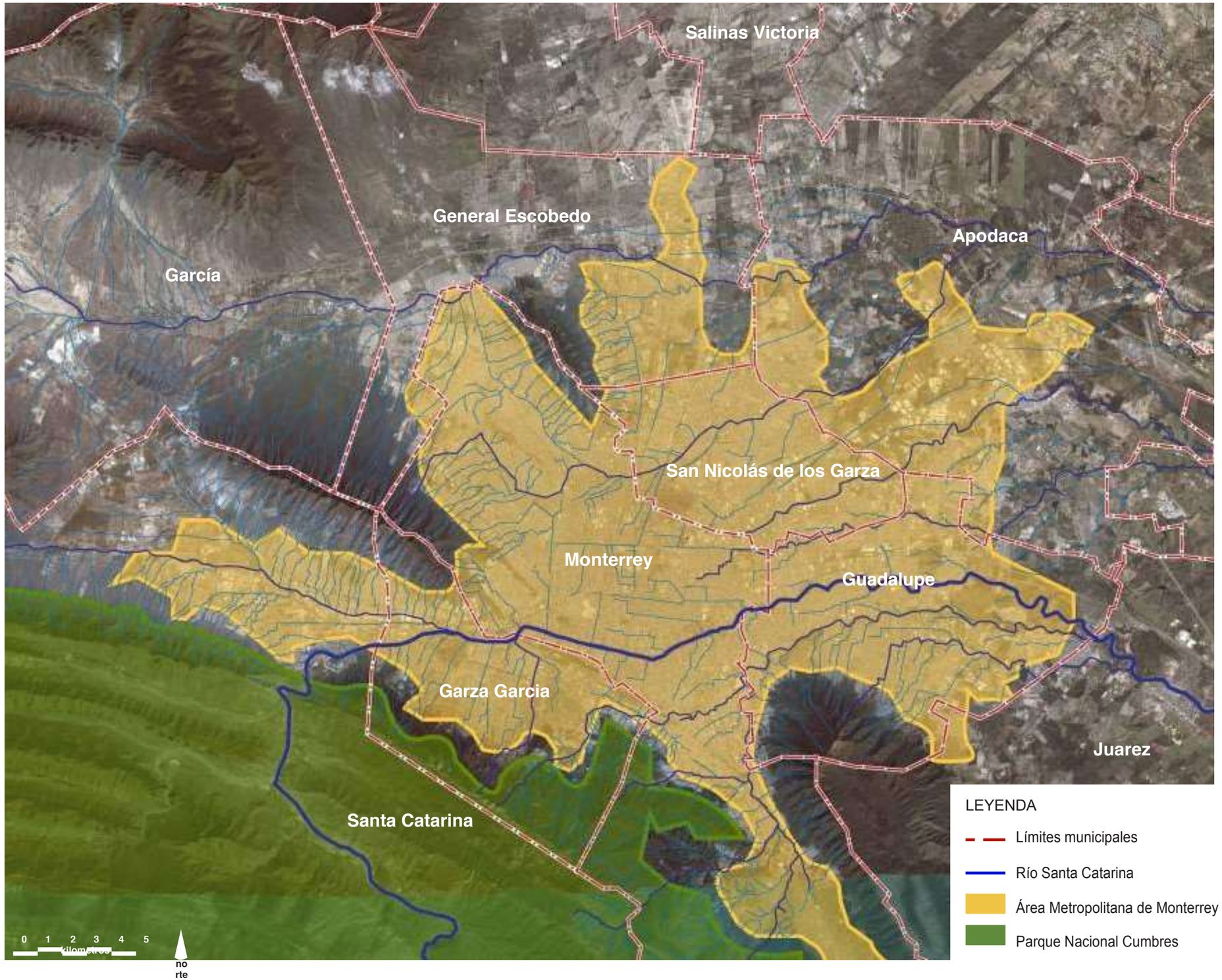


FIGURA 03.2 Diagrama: Área Metropolitana de Municipios de Monterrey y Parque Nacional Cumbres

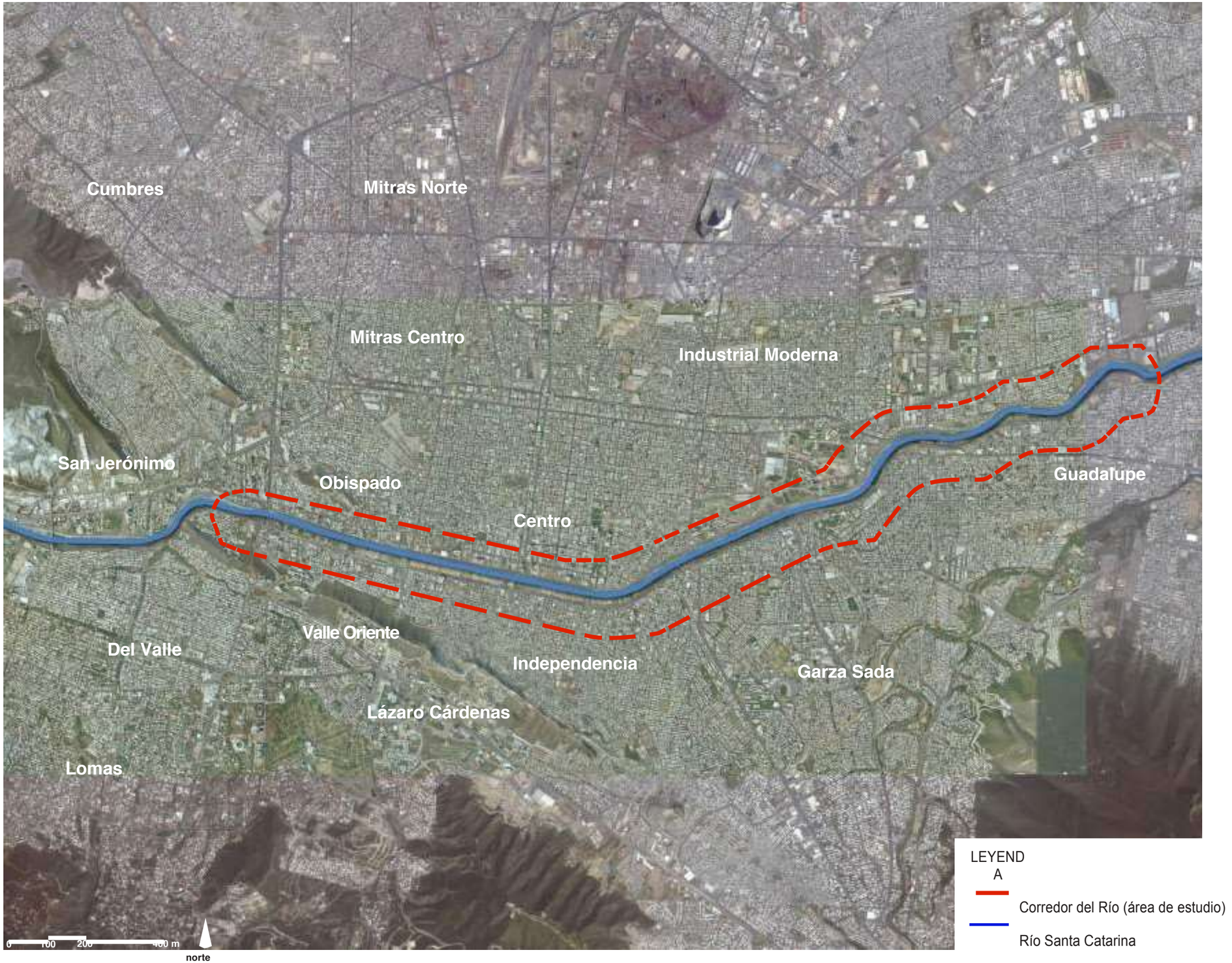


FIGURA 03.3 Diagrama: Área de estudio y Zonas Adyacentes

Zonas Urbanas

El área de estudio se centra en el corredor del río y las zonas urbanas en las proximidades. Las siguientes zonas son de enfoque importante para este estudio (Figura 03.3):

- Obispado
- Monterrey
- Centro
- Independencia
- Industrial Moderna
- Garza Sada
- Guadalupe

Ecosistemas

Un cambio drástico en la altitud se refleja en los ecotonos que rodean la ciudad. Hay una transición evidente de bosques de pino-roble en la parte superior de las montañas de los alrededores a bosques de roble al pie de las colinas y un paisaje de desierto seco a lo largo del valle. Constantemente invadidas por el crecimiento urbano, bandas restringidas de vegetación ribereña de desierto subsisten a lo largo de las orillas del río (Fig. 03.4).

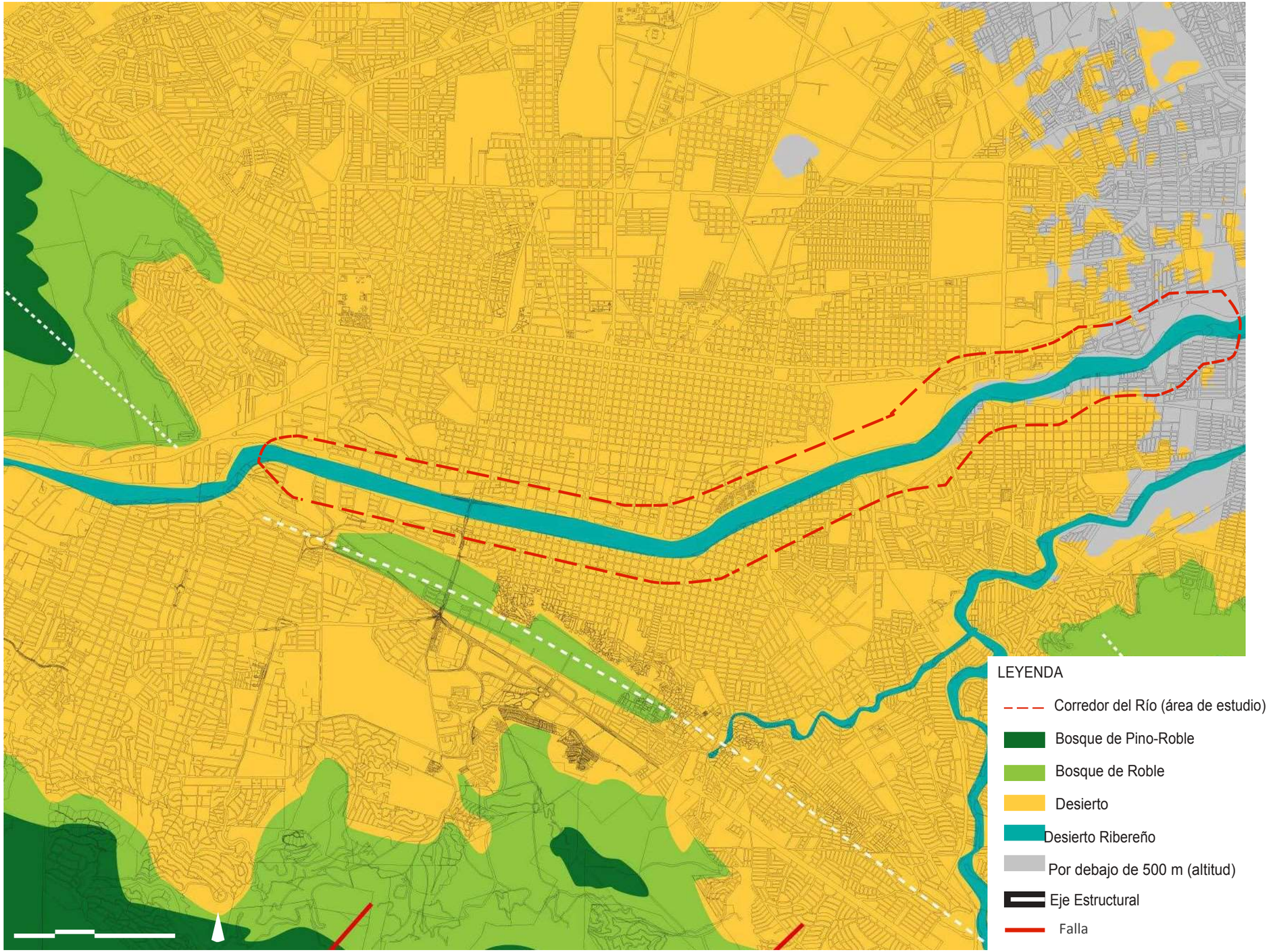


FIGURA 03.4 Diagrama: Ecosistemas y Ecotonos.

Hidrología

Un río de desierto, el curso natural del Santa Catarina es un meandro pronunciado. El crecimiento urbano ha dado lugar a la realineación y la canalización del río y la mayoría de los arroyos que cruzan la ciudad.

La capacidad de infiltración del valle se ha reducido drásticamente en los últimos años debido a la utilización de superficies urbanas impermeables, lo que aumenta la presión sobre los pocos puntos de descarga de escorrentía a lo largo del río.

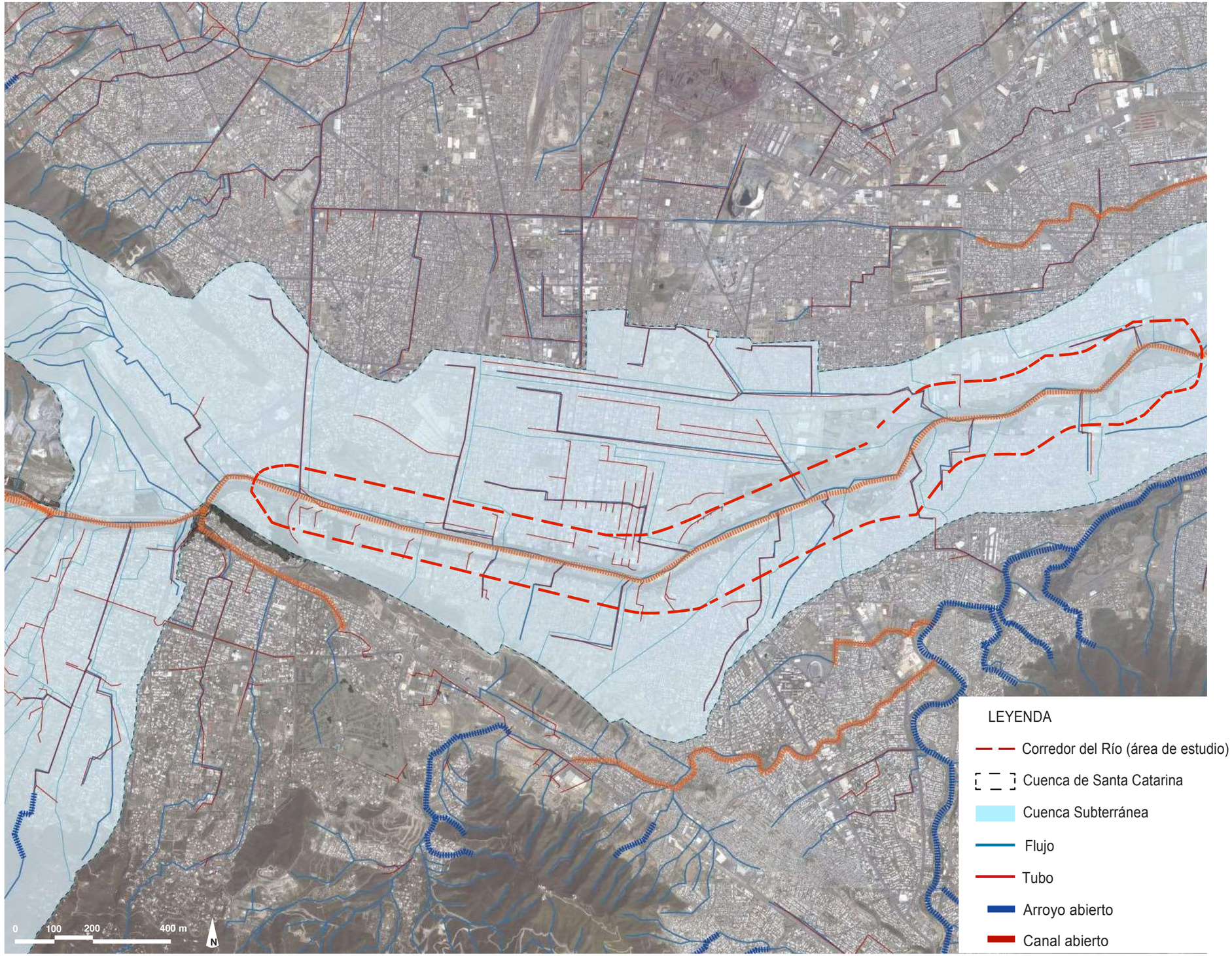


FIGURA 03.5 Diagrama: Hidrología

Espacios Abiertos Existentes

El crecimiento urbano de las zonas Sur y Noroeste de Monterrey se ha visto limitado por la topografía circundante y, por lo tanto, grandes áreas se han conservado como zonas naturales con usos recreativos. Sin embargo, dentro de la ciudad, los parques y arroyos permanecen aislados y abandonados, proporcionando un acceso limitado a la población (Fig. 03.6). La transformación de avenidas estratégicas en corredores Verdes podría ayudar a revertir este proceso.

A pesar de no contribuir positivamente a la recreación o conectividad de los ecosistemas, estacionamientos y terrenos baldíos han sido identificados para analizar las oportunidades de desarrollo y comprender los vacíos urbanos.

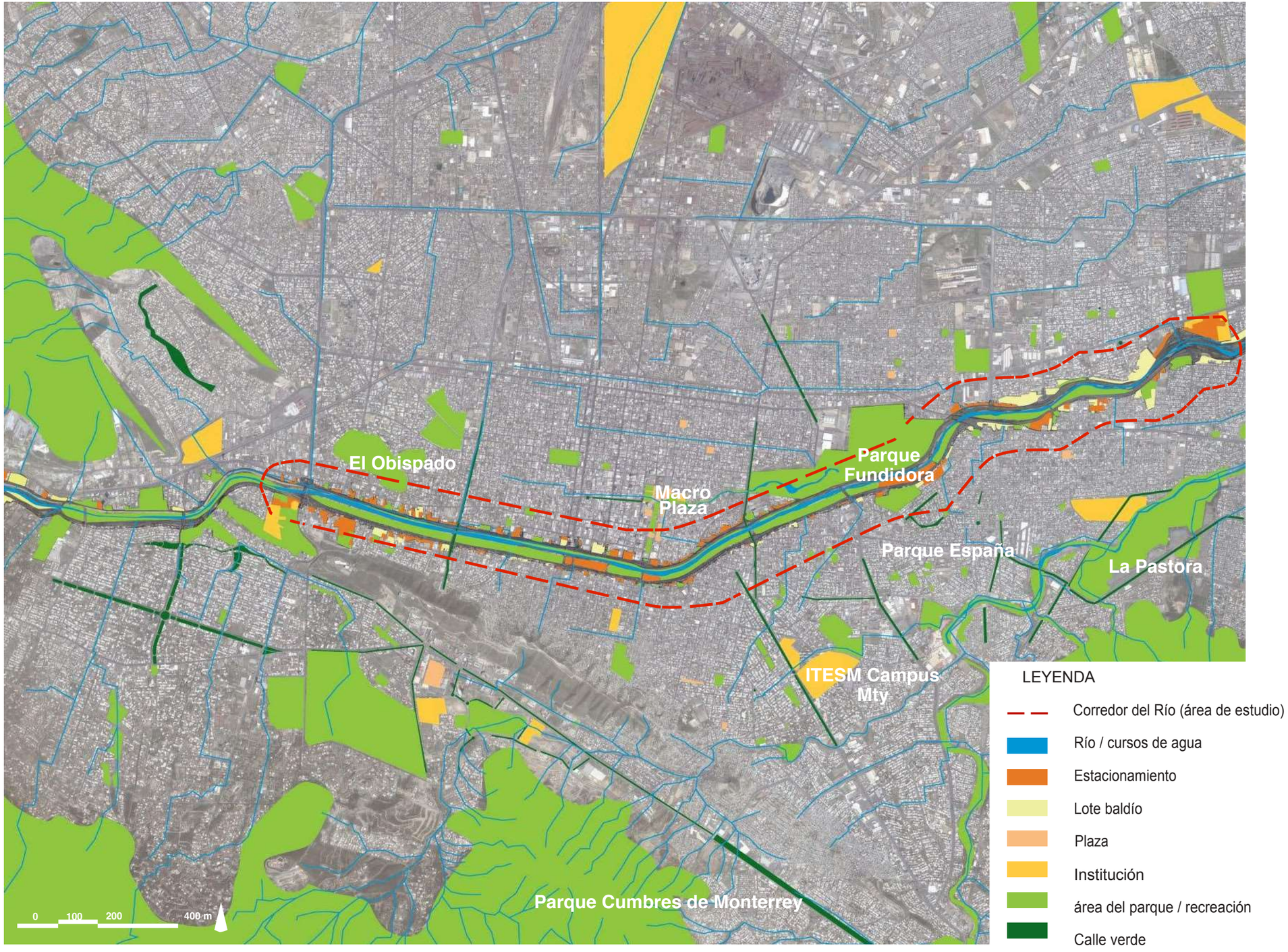


FIGURA 03.6 Diagrama: Sistema de Espacio Abierto

FIGURA 03.7: Diagrama: Uso de la Tierra Existente (con exclusión de uso residencial)

Usos de la Tierra Existentes

Nuestro análisis de los usos urbanos revela 10 usos clave excluyendo uso residencial (Figura 03.7.):

- Lotes baldíos
- Cementerio
- Centros médicos
- Unidades comerciales (existentes y futuras)
- Escuelas y Universidades
- Parques urbanos
- Parques industriales
- Áreas de restauración

Centros Urbanos Existentes

El Centro metropolitano de Monterrey se encuentra en el municipio de Monterrey, Guadalupe y San Pedro Garza García tienen centros municipales independientes.

Contemplando la limitación de la expansión urbana e invasión adicional en las montañas y áreas naturales, el Área Metropolitana de Monterrey ha identificado subcentros de uso mixto para el desarrollo futuro, donde la densificación es deseable y donde se permitirá la planificación de construcción de edificios altos. Estos subcentros incluyen (Fig 03,8.):

- Galerías
- San Agustín
- Lázaro Cárdenas
- Universidad
- Lincoln
- Cumbres
- Topo Chico

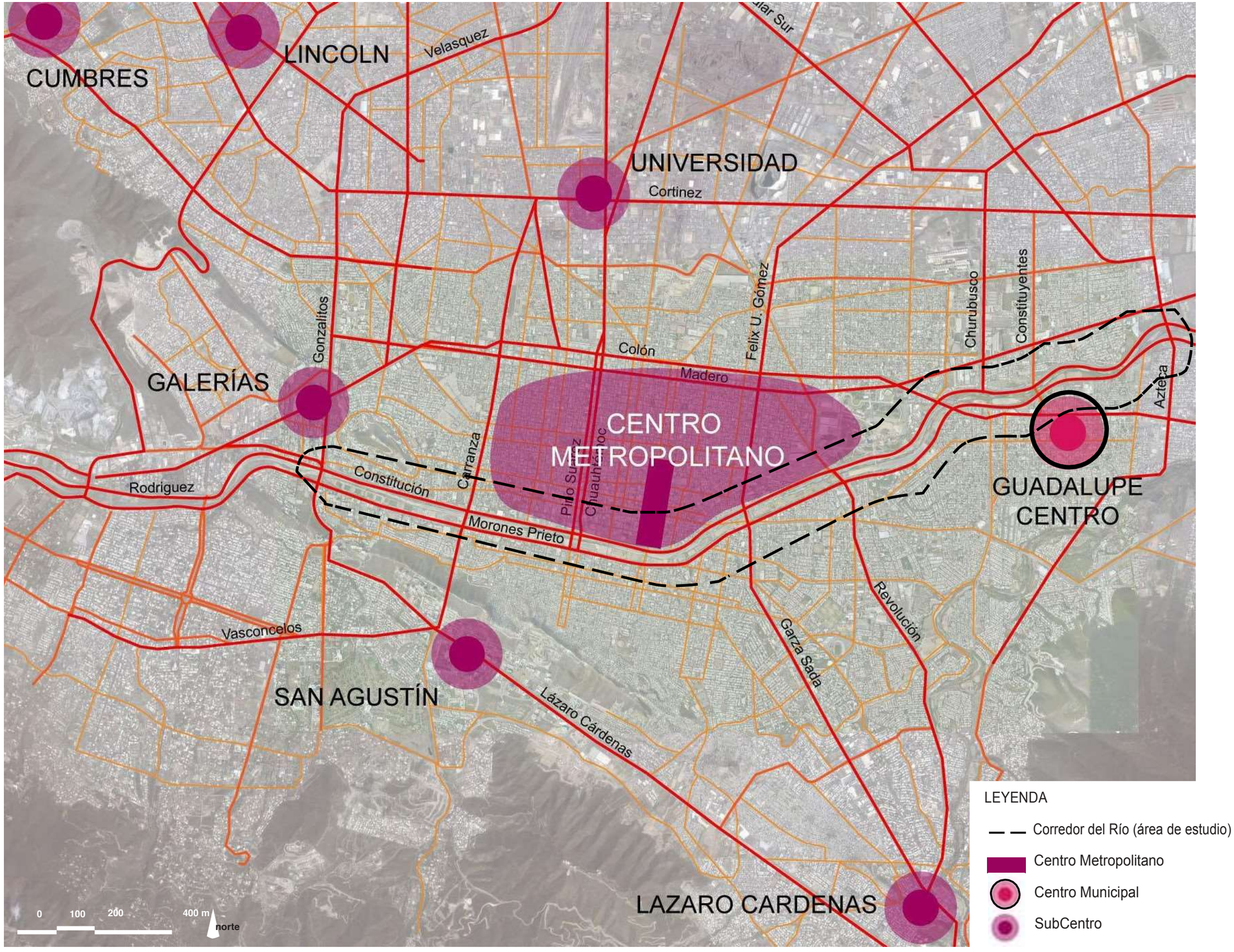


FIGURA 03,8 Diagrama: Subcentros regionales

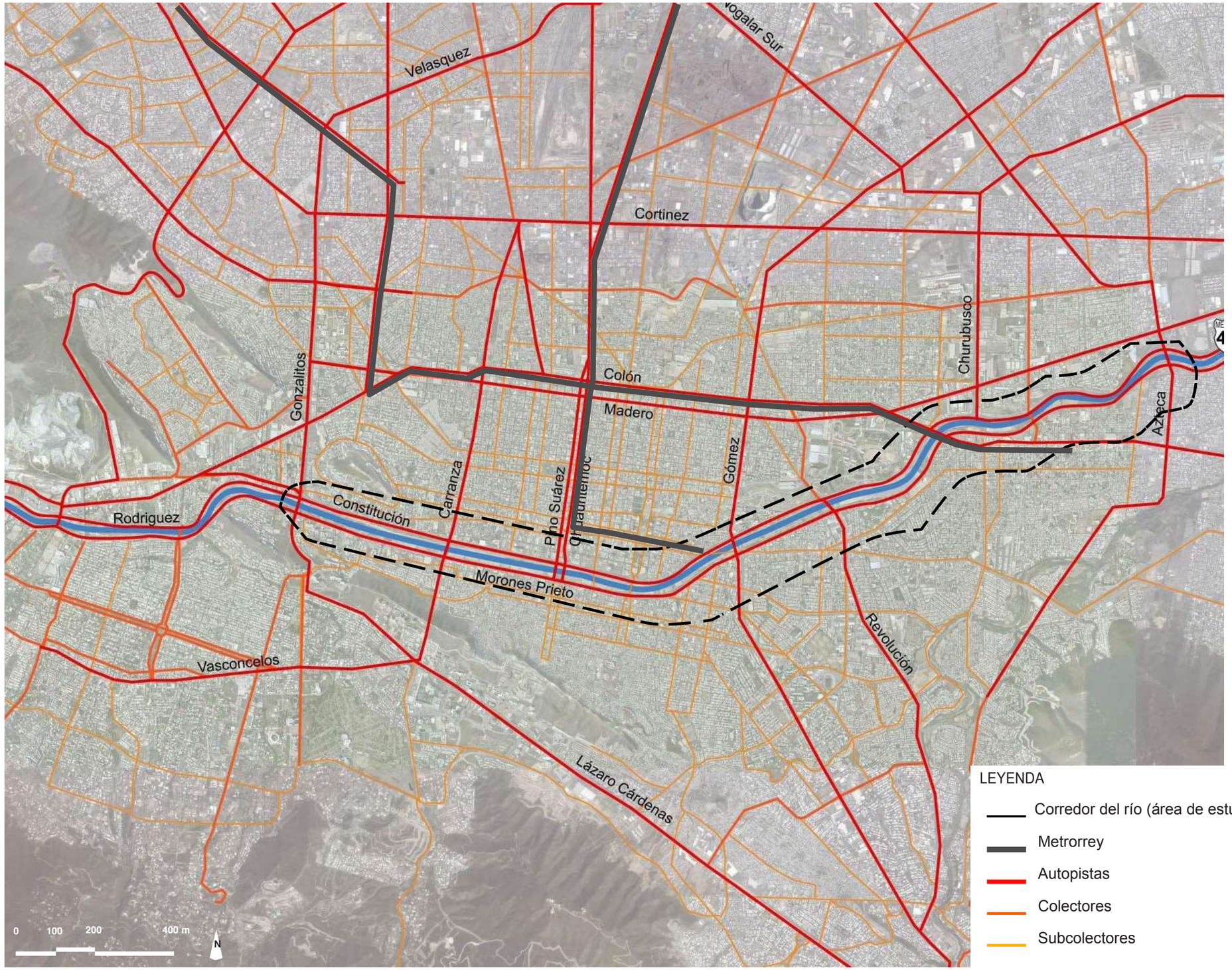


FIGURA 03.9 Diagrama: Transporte y Conectividad

Transporte en toda la ciudad

Monterrey tiene como objetivo ser una ciudad sustentable multimodal donde, en última instancia, el uso de un auto va a ser una opción y no una necesidad como en la actualidad. Hasta hace poco tiempo, un enfoque en el tráfico vehicular se ha traducido en un fuerte crecimiento en el uso de automóviles, grave deterioro de la calidad de los servicios de transporte público y un gran aumento en la congestión del tráfico.

El sistema de transporte público en Monterrey se compone de un sistema operado públicamente que incluye el metro (Metrorrey), Metro Enlaces y la red Transmetro, y un sistema de gestión privada que incluye todas las demás rutas de autobús en la ciudad (Fig. 03,9).

El sistema de autobús muestra altos niveles de ineficiencia y la duplicación y deficiente prestación del servicio. La oportunidad para Monterrey se encuentra en la modernización del sistema de transporte público para proporcionar un sistema integrado que debe incluir los desarrollos de infraestructura siguientes:

- Extensión del sistema Metrorrey;
- Desarrollo de corredores BRT (Ecovía);
- Desarrollo de rutas para ciclistas y peatones;
- Racionalización de la red de rutas de autobuses, e
- Integración física de los modos y estructuras de tarifas.

nodos

Copla Constitución-Morones Prieto

El sistema de autopista Constitución-Morones Prieto había permitido históricamente la doble circulación por ambos lados del Río Santa Catarina (Fig. 03.10). Después de las medidas de emergencia tomadas tras el huracán 'Alex' por el gobierno, este corredor se transformó en un sistema de un solo sentido o Copla. La implementación de la Copla por sí misma proporciona algunas mejoras en la circulación vehicular inmediatamente después de Alex, pero con base en observaciones empíricas e informes de la prensa local, no necesariamente mejoró la conectividad urbana general ni disminuyó significativamente la congestión en las horas pico.

Los objetivos de movilidad de Monterrey se pueden lograr mediante el desarrollo de un sistema multimodal y con base en las siguientes oportunidades:

- Disponibilidad de espacio a lo largo del Corredor para todos los modos de tránsito y otros usos recreativos públicos, y que cumpla con los requisitos para inundaciones con posibilidades de 1% por año.
- El sistema unidireccional permite una mayor capacidad de calle donde se podría implementar un sistema BRT moderno.
- Buena conectividad de red – los trazos urbanos existentes son ideales para la conectividad peatonal.
- El desarrollo del uso del transporte promoverá la revitalización del centro de la ciudad con cada vez mayor concurrencia y creando oportunidades para el redesarrollo.
- Autopista de Peaje Periférica (Circunvalación) - los planes para abrir una autopista de peaje eficiente en la periferia del área metropolitana animarán al tráfico regional a utilizar esta ruta alternativa en lugar de viajar cruzando la ciudad por Constitución o Morones Prieto, lo que reduciría la congestión en la ciudad.

FIGURA 03.10 Diagrama: Circulación del tráfico Constitución-Morones Prieto, antes y después de Alex.

FIGURA 03.11 Diagrama: Constitución Morones Prieto – Inventario de accesos peatonales y vehiculares antes de Alex

FIGURA 03.12 Diagrama: Constitución Morones Prieto – Inventario de puentes peatonales y vehiculares inventario antes de Alex

Inventario de conexiones del Corredor

Un componente clave en la transformación del corredor del Río Santa Catarina en uno de movilidad sustentable, es la integración de rutas para ciclistas y peatones con el sistema BRT propuesto.

Durante el análisis del sitio, con base en fotografías aérea disponibles, el equipo creó un inventario de todas la[illegible]ones que existían a lo largo del pasillo an[illegible] huracán Alex, incluyendo los puntos de acceso pe[illegible]nal y vehicular (Fig. 03.11), y puentes (Fig. 03,12).

Aéreas

Dentro del área de estudio, se identificaron las siguientes conexiones:

- (33) Puntos de acceso de peatones (escaleras y rampas hasta el lecho del río)
- (12) Puntos de acceso vehicular, sobre todo en el lado Morones Prieto del corredor (rampas hacia el lecho del río)
- (9) Puentes peatonales que cruzaban sobre Constitución
- (9) Puentes peatonales que cruzaban sobre Morones Prieto
- (5) Puentes peatonales que cruzaban sobre el canal de flujo bajo dentro del lecho del río
- (9) Puentes vehiculares a lo largo del río

Destinos clave

Existen tres distritos notables dentro del Corredor Constitución- Morones Prieto:

- Macro Plaza y el Barrio Antiguo
- Zona Parque Fundidora
- Subcentro Galerías

Dentro del área de estudio o en las proximidades, se han identificado los siguientes destinos culturales recreativos con el objetivo de definir los posibles corredores de movimiento de peatones (Figura 03.13.):

- Asta bandera Obispado
- Cementerios de Dolores
- Templo La Purísima Concepción
- Alameda Mariano Escobedo
- Arena Coliseo (Lucha)
- Museo del Vidrio
- Casa de la Cultura (NL)
- Palacio de Gobierno
- Museo de Historia Mexicana
- Teatro de la Ciudad
- Casa del Campesino
- Macro Plaza
- Palacio Municipal
- Templo San Luis Goganza
- Casa del Campesino
- Paseo Santa Lucía
- Centro de las Artes, Auditorio Fundidora + Horno 3
- Parque España
- Parque Plaza Sésamo

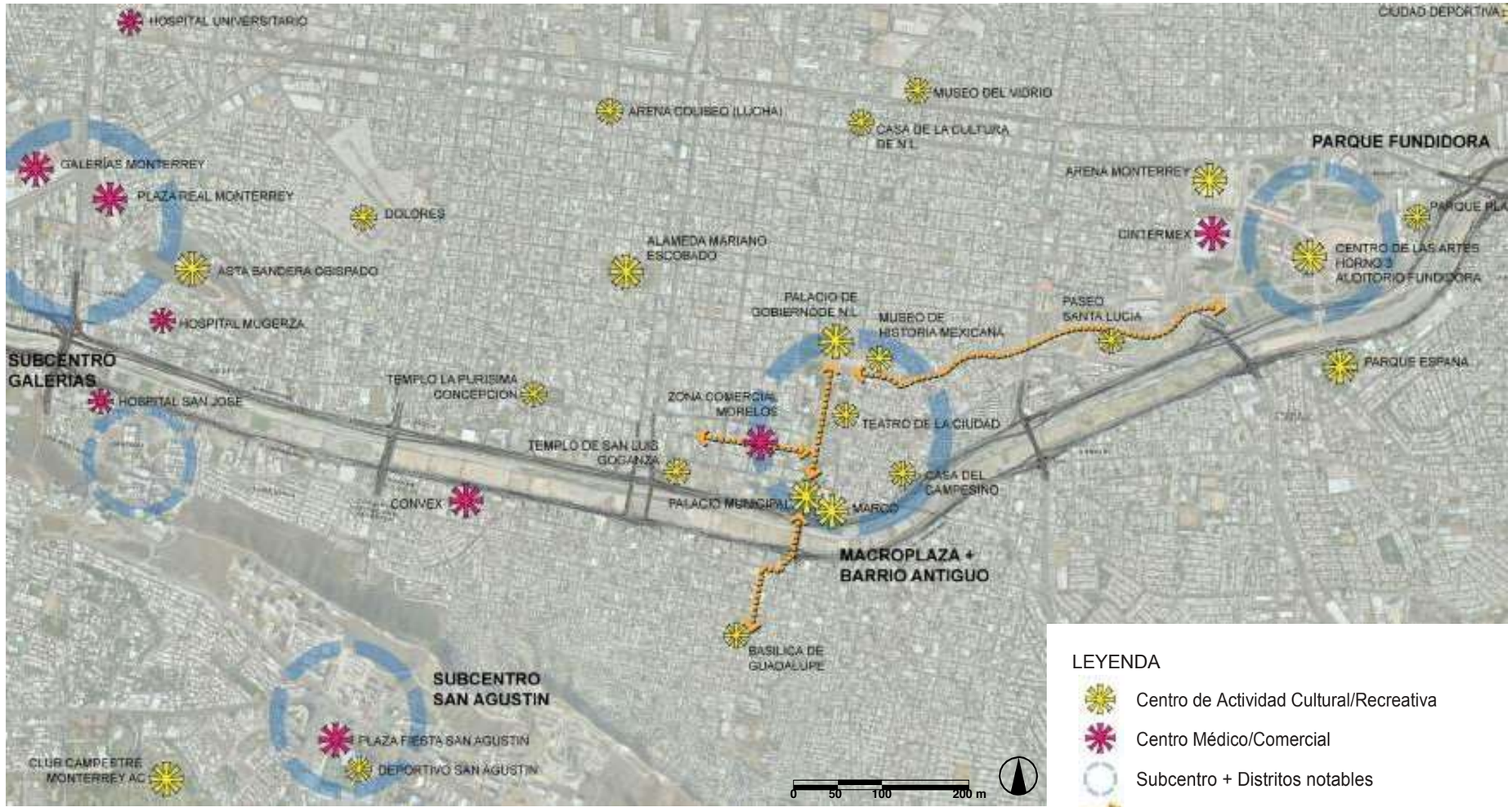


FIGURA 03.13 Diagrama: Destinos a lo largo de Constitución Morones Prieto

Además, existen los siguientes destinos comerciales o importantes a lo largo o en las proximidades del corredor:

- Hospital Universitario
- Galerías Monterrey
- Plaza Real Monterrey
- eHospital Mugerza
- Hos[illegible] San José
- Conve[illegible]
- Zona Comercial Morelos
- Cintermex

FIGURA 03.14 Diagrama: Actuales usos de la tierra a lo largo del borde del corredor del río

Actuales usos de la tierra a lo largo del Corredor

Nuestro análisis adicional de los usos de la tierra, revelan 6 principales usos de la tierra con respecto al corredor Constitución-Morones Prieto (Figura 03.14.): Oficina, Cívico, industrial, Comercial, Espacio Abierto, Residencial.

Aunque la mezcla de usos parece apropiada, no existe congruencia real entre algunos de los usos (como residencial unifamiliar) y el potencial actual y futuro del corredor. Hay también una cierta desconexión entre las parcelas comerciales.

Con este análisis inicial, el proceso de planificación comenzó a centrarse en la definición de una recomendación más adecuada de los usos de la tierra de las orillas del corredor.

FIGURA 03.15 Diagrama: Condición de borde a lo largo del Corredor del Río

Características de las orillas del Río

Las características de las orillas del río están fuertemente influenciadas por los usos de la tierra adyacente (Fig. 03.14). A lo largo del banco sur nos encontramos con una mezcla de usos industriales y residenciales solamente interrumpido por un espacio verde al Este (Parque España) y las unidades comerciales y de oficinas al Oeste. En el banco norte encontramos usos de oficina y comerciales mezclados con usos civiles al Oeste y centro del área de estudio. El banco norte hacia el Este está dominado por grandes zonas residenciales y el Parque Fundidora.

Se identificaron cuatro tipos de condiciones en las orillas a lo largo del corredor del río: pared / cercas, frentes de edificios, partes traseras / lados de edificios y espacios abiertos (Fig. 03.15, 03.16.).

Estas condiciones dan paso a grandes áreas de vacío urbano que son descuidadas, faltas de continuidad y estéticamente desagradables para los peatones. Sin embargo, estos vacíos representan oportunidades para el futuro desarrollo de relleno.

FIGURA 03.16 Diagrama: Vacíos en Bordes Urbanos

La orilla del río carece de continuidad.

FIGURA 03.17 Diagrama: Programa público del corredor del Río antes de Alex. Insertar: Condición post Alex del lecho del río Santa Catarina.

Programa al aire libre dentro del Corredor

Históricamente, las áreas adyacentes al río, que son secas durante la mayor parte del año, se han utilizado con fines de recreación pública, con un enfoque particular en el fútbol (soccer).

Además de las canchas de fútbol de diferentes tamaños, el inventario del sitio de las instalaciones pre Alex incluye un helipuerto, pista de go kart, campo de golf, campo de béisbol, canchas de baloncesto y una gran zona de mercado “swap meet” (Fig. 03.17).

El fútbol y otros eventos deportivos donde participan jóvenes de todos los orígenes sociales de toda la ciudad se llevan a cabo en estas premisas anualmente.

Gran parte de esta infraestructura ha sido dañada por el huracán Alex (véase inserto a la izquierda), y su reincorporación debe ser considerada como parte del proceso de planificación. Esto tendrá que hacerse de acuerdo con los nuevos parámetros establecidos por la CONAGUA después del huracán Alex.

El lecho del río aún podría potencialmente usarse para actividades recreativas, siempre que cumpla con las nuevas regulaciones de la CONAGUA.

Resumen de Resultados de Revisión de Expertos del Agua

Los principales objetivos de la planificación hidrológica del Plan Maestro son:

- Diseñar un sistema integrado de cuenca del río siguiendo los parámetros definidos por la CNA a una capacidad de 5,083 m³/s y basado en el escenario 5 proporcionado por el modelo de HEC-RAS preparado por el ITESM;
- Proporcionar una propuesta a largo plazo para la gestión de riesgos mayores, por encima del escenario 5, a una capacidad aproximada de 7,000 m³/s;
- Definir la configuración óptima del canal del río para obtener el nivel necesario de servicio hidráulico, y en paralelo, para maximizar el uso del lecho del río para usos recreativos.

Se propuso una revisión de expertos como mecanismo para corroborar los datos disponibles y volver a evaluar los riesgos sobre los que se basan las propuestas de diseño. El siguiente es un resumen de las principales conclusiones, se puede encontrar información adicional en el Apéndice 1 Memorando Técnico 01: Agua.

Inundación Histórica

Los registros históricos muestran que desde principios del siglo XX, la ciudad de Monterrey ha sufrido de inundaciones. En particular, las inundaciones de 1909 causaron graves daños a la infraestructura de la ciudad y causaron pérdidas de vidas estimadas entre 3,000 a 5,000 personas. Un artículo de diciembre de 1910, de la Sociedad de Ingenieros Civiles calculó que la inundación alcanzó la cantidad de 6,650 m³/s4.

El efecto de esta inundación fue demoler por completo alrededor de 1200 casas en Monterrey y causó una terrible pérdida de vidas. La Figura 03.18 muestra los datos históricos.

4 (chico)

Análisis comparativo de la Hidrología de ITESM

Como parte del proceso de planificación maestral, AECOM realizó una revisión experta del ITESM, Alex y estimaciones de las inundaciones con probabilidad de 0.1% por año y preparó estimaciones adicionales de dichas inundaciones con probabilidad de 0.1% por año a partir de datos históricos disponibles de inundaciones.

La tabla que se muestra (Figura 3.19 Tabla – Estimaciones de escorrentía) resume el rango de flujos del período de retorno (de 20% a 0.1% de probabilidad por año) estimado por el ITESM y AECOM que muestra el estimado del ITESM de 0.1% de 5083 m³/s y el estimado asociado de AECOM de 0.1% en la columna de la derecha. AECOM realiza cuatro estimados separados de probabilidad 0.1% por año utilizando métodos estándar de frecuencia de inundaciones. Un estimado de descarga de probabilidad 0.1% por año generalizado de 7,000 m³/s se realizó descartando el anormalmente alto estimado de 11,220 m³/s desde la Revisión Escenario 4 y promediando los 3 estimados restantes de 6306, 6215, y 8601 m³/s de Revisión de Escenarios 1, 2 y 3. El estimado de 3,065 m³/s registrado para Alex corresponde a aproximadamente un evento de probabilidad de 5% de la Revisión Escenarios 1 y 2.

Este estimado de frecuencia de 5% de probabilidad por año para Alex puede parecer demasiado frecuente porque fue un evento de inundación demasiado grande; sin embargo, mediante la revisión de los datos en bruto se puede observar que ha habido 6 eventos de 3,000 m³/s o más (1909, 1910, 1923, 1938, 1988, 2010) en aproximadamente un lapso de 115 años, lo que significa que la probabilidad de exceder 3000 m³/s es de 6 eventos en 115 años, o 0.05 (6/115), que es un evento de probabilidad anual de 5% o un evento con 1/20 probabilidad por año. Esto es independiente del efecto de la presa en los eventos de flujo pico en 1988 y 2010 ya que sólo hubieran sido mayores sin la presa.

Resultados de revisión de expertos

El análisis de datos muestra un aumento reciente en la descarga asociado con tormentas tropicales de las cuales Gilberto (4800 m³/s) y Alex (3065 m³/s) han causado mayor daño a la ciudad. El ITESM estima una probabilidad de 0.1% por año para que una tormenta muestre 5083 m³/s, sin embargo, un análisis comparativo realizado por AECOM excede este estimado. La Figura 3.18 muestra que para un período de retorno de un estimado de 0.1% por año es en promedio de 7,000 m³/s. Nuestro análisis muestra que la probabilidad de que una inundación de probabilidad 0.1% por año sea superada dentro un periodo de 50 años es del 5% (Fig. 3.20).

El riesgo y la probabilidad también se evaluaron como parte de esta revisión. Grandes áreas que rodean la ciudad de Monterrey siguen corriendo el riesgo de deslizamiento de tierra debido a las fuertes lluvias, mientras que el corredor del Río Santa Catarina, parcelas adyacentes y otros afluentes dentro de la zona de inundación, permanecen en riesgo de inundación (Fig. 3.21).

Con base en esta revisión de los estimados, el riesgo y la probabilidad, nuestras recomendaciones se dirigirán a (escala de corredor del río) nivel regional y local.

4 Graham, George R. Diciembre de 1910. Sociedad Americana de Ingenieros Civiles. Vol. XXXVI. Edición Nº 10. "The waterworks and sewerage of Monterrey, N.L. Mexico.

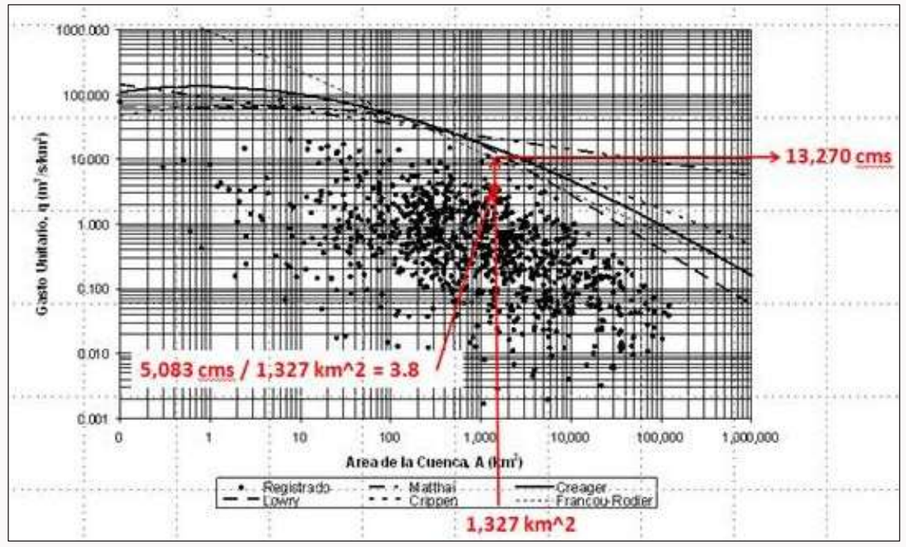


FIGURA 03.18 Tabla: Datos históricos que muestran el diseño CMS superado.

Location	DA (km2)	Emily (2005) Peak (cms)	Emily (2005) Return Period (yrs)	Alex (2010) Peak (cms)	Alex (2010) Return Period (yrs)	Rainfall Runoff Model Peak Flows (cms): 5-yr	10-yr	20-yr	50-yr	100-yr	200-yr	500-yr	1000-yr
ITESM Rainfall Runoff Model Peak Flows (cms)													
Monterrey Gage	1,327	1,035	5 - 10	3,055	50 - 100	687	1,193	1,953	2,700	3,279	3,934	4,549	5,093
ITESM Scenario 5 Frequency Analysis Results													
Monterrey Gage	1,327	1,035	20 - 50	3,055	100 - 200	504	1,327	1,930	2,621	3,125	3,510	4,243	4,718
Review Scenario 3 Frequency Analysis Results													
Monterrey Gage	1,327	1,035	20 - 50	3,065	100 - 200	153	271	3,226	4,240	4,753	5,230	5,950	6,306
Review Scenario 2 Frequency Analysis Results													
Monterrey Gage	1,327	1,035	20 - 50	3,065	100 - 200	154	270	3,962	4,878	5,064	5,421	5,876	6,215
Review Scenario 1 Frequency Analysis Results													
Monterrey Gage	1,327	1,035	20 - 50	3,065	100 - 200	3,922	4,702	5,347	6,136	6,714	7,264	8,034	8,631
Review Bulletin 170 Combined Probability Frequency Analysis Results													
Monterrey Gage	1,327	1,035	20 - 50	3,065	100 - 200	2,500	4,800	6,200	7,090	8,075	9,015	10,200	11,220

FIGURA 03.19 Tabla: Estimaciones de la escorrentía

Periodo de Inundación Periodo (Año)	1	3	5	10	20	25	50	100	200
3	33.3%	70.4%	86.8%	98.3%	100%	100%	100%	100%	100%
5	20.0%	48.8%	67.2%	89.3%	98.8%	99.6%	100%	100%	100%
10	10.0%	27.1%	41.0%	65.1%	87.8%	92.8%	99.5%	100%	100%
20	5.0%	14.3%	22.6%	40.1%	64.2%	72.3%	92.3%	99.4%	100%
25	4.0%	11.5%	18.5%	33.5%	55.8%	64.0%	87.0%	98.3%	100%
50	2.0%	5.9%	9.6%	18.3%	33.2%	39.7%	63.6%	86.7%	98.2%
100	1.0%	3.0%	4.9%	9.6%	18.2%	22.2%	39.5%	63.4%	86.6%
200	0.5%	1.5%	2.5%	4.9%	9.5%	11.8%	22.2%	39.4%	63.3%
1,000	0.1%	0.3%	0.5%	1.0%	2.0%	2.5%	4.9%	9.5%	18.1%
10,000	0.010%	0.03%	0.05%	0.10%	0.20%	0.25%	0.5%	1.0%	2.0%
100,000	0.001%	0.003%	0.005%	0.010%	0.020%	0.025%	0.05%	0.1%	0.2%
1,000,000	0.0001%	0.0003%	0.0005%	0.0010%	0.0020%	0.0025%	0.005%	0.01%	0.02%

Where, PC = 1-((1-(1/RP))^PP), and PC = Percent Chance, RP = Return Period (Year), PP = Planning Period (Years)

FIGURA 03.20 Tabla: Probabilidad de que se supere una inundación de diseño

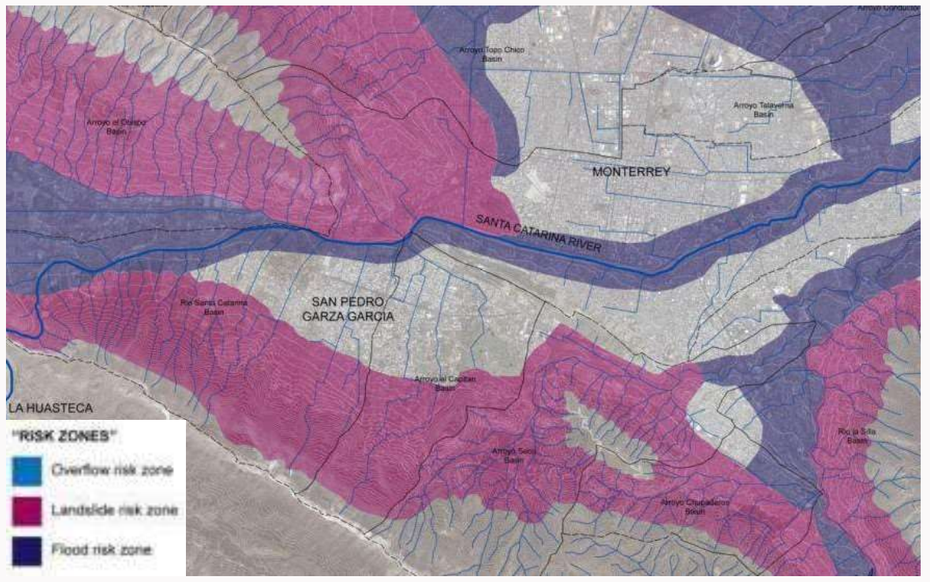


FIGURA 03.21 Diagrama: Áreas en riesgo

Escala regional y recomendaciones estratégicas

Actualmente, la presa Rompepicos controla el 65% de descarga de la cuenca superior. En general, la presa redujo la inundación pico de Alex aproximadamente 800 cms en la ciudad.

Aunque hay muchas acciones que se deben tomar a (nivel local del corredor del río + ciudad), hemos identificado las siguientes acciones estratégicas a escala regional:

1. Programa de reforestación de montes y conservación de las zonas verdes existentes;
2. Construir nueva presa adicional para trabajar en paralelo a Rompepicos;
3. Desviar el flujo hacia las presas alternativas existentes.

Las presas alternativas revisadas incluyen El Huasteco (1,198 km²), Los García (1,050 km²), Corral De Palmas (731 Km²).

Vista de la Presa Rompepicos

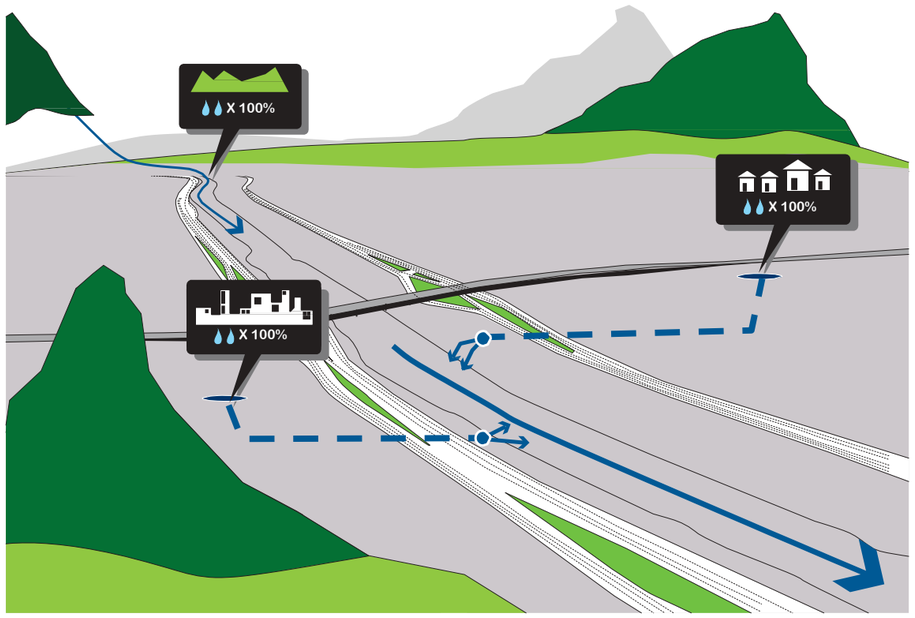
Modelo hidráulico y recomendaciones para el canal

El modelo hidráulico preparado por el ITESM proporciona una herramienta para evaluar las condiciones de inundación antes y después de Alex. Este modelo también se puede utilizar para evaluar las oportunidades y limitaciones y para poner a prueba escenarios de diseño.

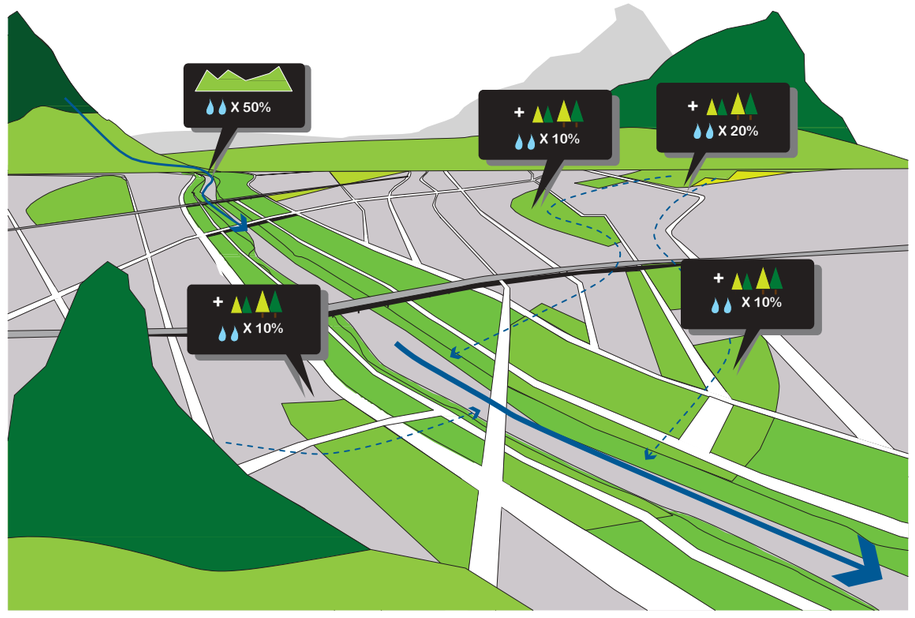
Las propuestas locales actuales requieren una reducción de la anchura/área de la sección del canal del río y paredes verticales costosas ($ 54- $ 84 millones de dólares / km).

Nuestra revisión por expertos ha identificado una serie de oportunidades estratégicas de alto nivel para reducir el riesgo de inundaciones en la ciudad de Monterrey:

- Oportunidad de reutilizar los sedimentos de inundación dentro del mismo proyecto o en otros proyectos en la ciudad para reducir el costo del transporte de sedimentos.
- Mantener e incrementar la cobertura vegetal en la ciudad y sus alrededores, con especial enfoque en el terreno inclinado para reducir el riesgo de derrumbes y control de la erosión del suelo. Esta medida también aumentará el área de infiltración natural, reduciendo la presión de descarga en el Corredor del Río.
- Incrementar la profundidad de la sección del canal para responder a una mayor probabilidad de inundación.
- Naturalmente reforzar los bancos de los ríos mediante la incorporación de vegetación nativa y estructuras 'blandas' que reducirán la velocidad (y fuerza) de la corriente del río y hará una aportación positiva al medio ambiente urbano y al espacio público.



Ciudad + Escala del río: Condiciones existentes para el ciclo del agua



Ciudad + Escala del río: Condiciones propuestas para el ciclo del agua

04

Planificación Preliminar

PLANIFICACIÓN PRELIMINAR

04

El proceso de planificación preliminar como se describe en esta sección del informe resumido, involucró la revisión de la información de referencia y la consulta con expertos y autoridades locales.

El objetivo principal fue establecer un marco de las condiciones y limitaciones existentes que ayudan a definir las áreas de oportunidad.

Oportunidades + Limitaciones

Factores Naturales

Una superposición de las condiciones naturales existentes que proporcionan este marco se ilustra en la Figura 04.1. Este diagrama muestra la existencia de tres hábitats principales dentro de o en las proximidades del área de estudio:

- Ribereño- a lo largo de corredores del río y arroyos;
- Bosque de roble en las zonas exteriores; y
- Desierto, que cubre la mayor parte del paisaje de la ciudad.

El sistema del río Santa Catarina, ya que atraviesa el área metropolitana de Monterrey, cuenta con los siguientes componentes clave:

- Canal principal del Río Santa Catarina;
- Cuenca de subsuelo;
- Corrientes secundarias; y
- Sistema de drenaje urbano (tuberías).

La Figura 04.01 ilustra los escenarios extremos de tormentas (velocidad + tensiónte[illegible]ngencial), que este Plan Maestro pretende incorporar como u[illegible] base.

Factores Urbanos

Nuestro análisis reveló que la orilla del río tiene un borde urbano 'abollado', que carece de cohesión urbana. Nuestro análisis también muestra que ciertos usos del suelo de alta densidad se han incorporado con éxito a la estructura urbana, sin embargo, el sistema de movilidad actual es disfuncional y hay necesidad de una nueva visión.

Uno de los principales objetivos del proceso de planificación preliminar es establecer qué sistemas / redes necesitan una estructuración y cómo se pueden integrar estos sistemas a un modelo sustentable para garantizar la eficiencia global y el uso eficaz de los recursos. Hemos identificado que los sistemas con mayores oportunidades para el desarrollo y la integración son:

- Red de movilidad/transporte
- Estructura urbana; y
- Red de espacios abiertos.

FIGURA 04.01 Diagrama: Oportunidades + Restricciones, factores naturales

Oportunidades - Movilidad

Una de las oportunidades más significativas es la reorganización del Corredor Constitución-Morones Prieto para integrar BRT, automóviles, bicicletas y movimiento de peatones y para permitir las conexiones previstas a la red existente de autobuses y Metrorrey.

Dado que la mayoría de las conexiones peatonales hacia / desde el Río Santa Catarina fueron dañadas o destruidas durante Alex, una oportunidad importante identificada para el Plan Maestro es el reubicación y/o creación de una red de peatones y ciclistas altamente funcional. Las nuevas conexiones peatonales deben ser construidas para conectar la ciudad en una dirección Norte-Sur, para aumentar la permeabilidad y promover el caminar como una opción de movilidad realista.

Por último, hay una oportunidad para reducir el tráfico innecesario que cruza la ciudad desviando el tráfico regional a través de la carretera periférica de la ciudad. Para el tráfico local, hay una oportunidad para reducir aún más el tráfico de vehículos en la copla Constitución-Morones Prieto, mediante la distribución de las rutas y el aprovechamiento de la estructura de red existente en la ciudad (Fig. 04,02).

Oportunidades - Diseño Urbano

A nivel de estructura urbana, el análisis del sitio ayudó a identificar 5 nodos urbanos emergentes que podrían ser enfatizados, reenergizados y/o tener una identidad más clara. Estos 5 posibles nodos urbanos son:

- Campus Medico;
- Distrito central comercial;
- Distrito cívico/cultural;
- Distrito de parques; y
- Distrito industrial verde.

La oportunidad en estos nodos urbanos es aumentar la densidad y rellenar lotes vacíos mediante la revisión de los principios actuales de zonificación para dar cabida a edificios más altos y usos mixtos. Muchas ciudades de todo el mundo están promoviendo la inversión en los centros de tales ciudades mediante el cambio de estos principios de zonificación y en paralelo, permitiendo que más gente viva y trabaje en un centro de ciudad más denso. Esta no sólo activa las áreas urbanas, sino que también resulta en que el número total de desplazamientos vehiculares sea reducido debido a que las personas están viviendo, trabajando y participando en nodos de uso mixto de actividad urbana (Fig. 04.03).

Oportunidades - Espacio Abierto

Los espacios abiertos existentes deben estar conectados a través de avenidas verdes que integran corredores para peatones y se deben planear nuevos espacios abiertos para la futura integración a esta red. Las condiciones de comodidad para los peatones deben estar en el centro de las nuevas directrices urbanas para la ciudad.

La oferta recreativa a lo largo del río debe ser reinstaurada y conectada a la red de espacios abiertos en toda la ciudad.

Abrir la creación, mejora y gestión de espacios contribuirá con el objetivo del plan maestro para evitar futuras inundaciones destructivas en el área metropolitana de Monterrey. Promover la creación de nuevas áreas urbanas de reforestación ayuda a prevenir derrumbes de tierra, crear hábitats y aumenta las oportunidades para la infiltración de agua natural.

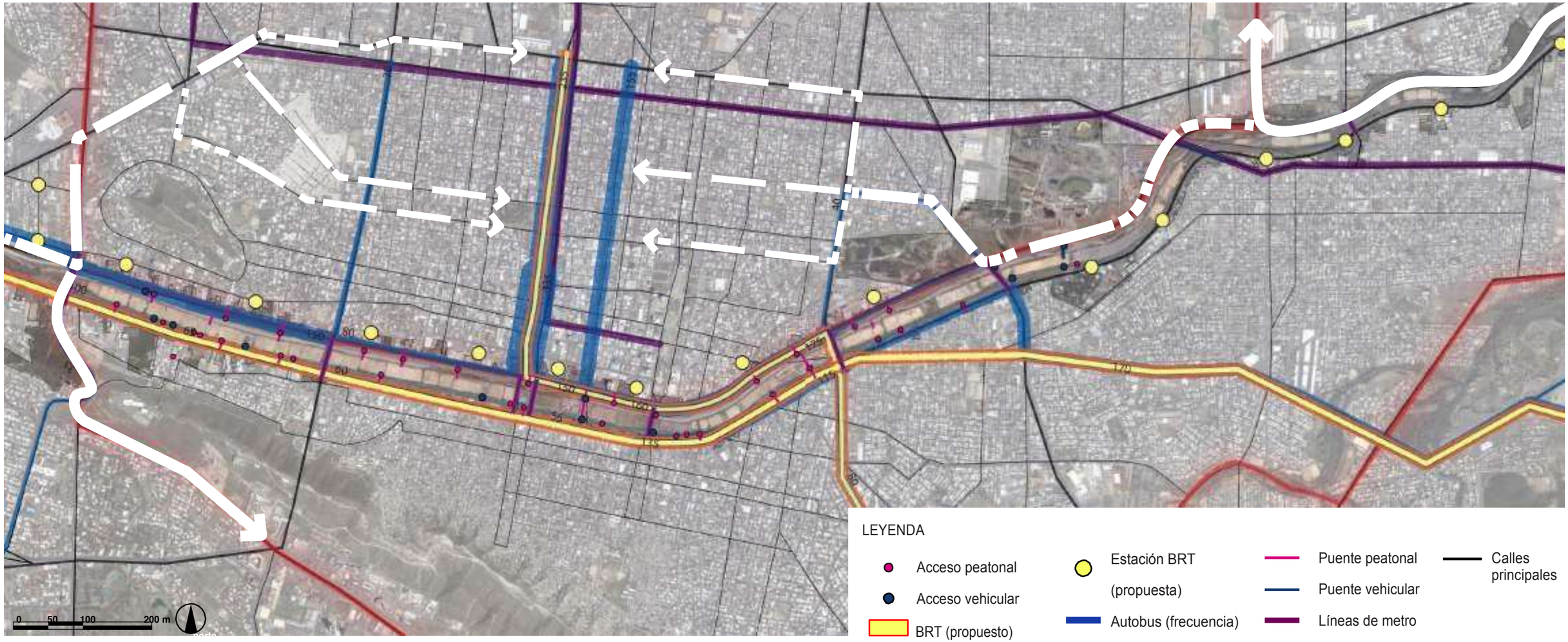


FIGURA 04.02 Diagrama: Conectividad + Movilidad

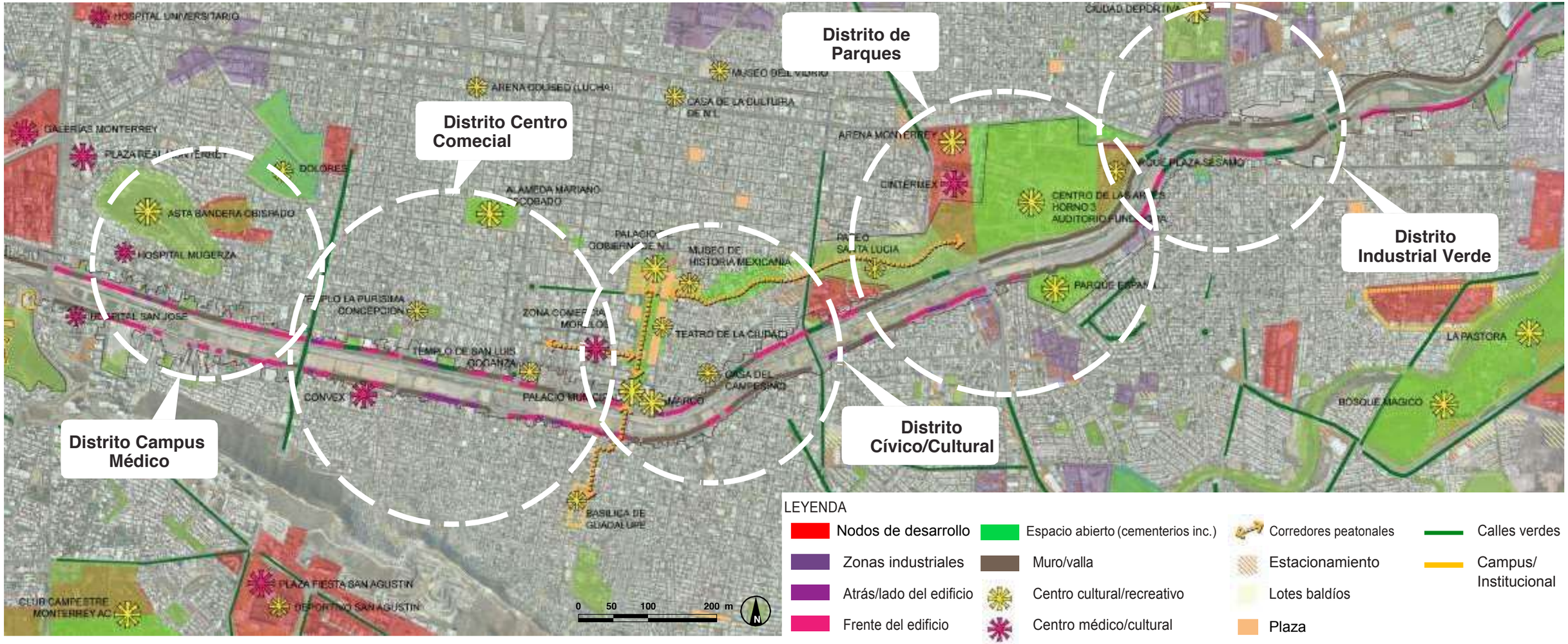


FIGURE 04.03 Diagrama: Características+ Identidad, 5 Distritos

Plan Maestro Preliminar

Al superponer áreas de oportunidad y retos, surgió un plan maestro preliminar. Este plan maestro nos permitió desarrollar y probar las 28 estrategias descritas en la siguiente sección de este documento y fue una herramienta importante para comunicar cómo ampliar el marco de la ciudad en general.

LEYENDA

- Usos mixtos
- Zonas industriales
- Comercial
- Residencial
- Red azul y verde

FIGURE 04.04 Vista aérea: Plan Maestro Preliminar

05

PLAN MAESTRO

PLAN MAESTRO

05

El Plan Maestro Preliminar y los conceptos emergentes mostrados en la sección 4 fueron considerados como la línea base para el desarrollo del Plan Maestro final descrito en esta sección del informe resumido.

Durante el proceso de planificación, las oportunidades y restricciones del sitio se desarrollan y se traducen en estrategias espaciales que pretenden ser específicas sin perder una visión global holística de los sistemas en juego. La siguiente sección esboza nuestro enfoque y metodología con mayor detalle.

Este capítulo describe cada estrategia con diagramas de apoyo e imágenes de características para ayudar a ilustrar los principios y precedentes.

Metodología

El primer paso al entrar en esta etapa de planificación fue volver a evaluar los objetivos del proyecto y establecer principios de alto nivel que proporcionarían un marco para estrategias o acciones específicas.

Con base en el número de sistemas complejos en juego y en la medida en que estos sistemas influyen en la ciudad y su contexto, hemos identificado tres escalas de influencia:

- Macro;
- Ciudad; y
- Corredor del Río.

Los sistemas y redes que este Plan Maestro pretende mejorar y que responden a las tres escalas son:

- Sistema de agua
- Tránsito
- Tráfico vehicular
- Uso de la tierra y subcentros
- Redes de peatones y ciclistas
- Red de espacios abiertos
- Lecho de río y canal de flujo
- Sistema de áreas recreativas

Las 28 estrategias que se derivan de estas categorías están en el centro de este Plan Maestro. Describen principios y acciones que deben seguir siendo el enfoque de todos los futuros proyectos.

Los planos, diagramas e imágenes que forman parte de este documento son sólo para fines ilustrativos y representan un posible enfoque sobre estas estrategias sin presentar un diseño fijo o final. A medida que los proyectos toman forma hacia la implementación del Plan Maestro, si surge una contradicción, el principio enunciado en la estrategia siempre debe anular la representación gráfica de dicha estrategia.

Estas estrategias han sido formuladas con el propósito de explicar el camino a seguir para una tarea compleja, sin embargo, las estrategias (o proyectos futuros) nunca deben abordarse de manera aislada y se requiere una comprensión más amplia de las relaciones entre múltiples categorías y la escala tridimensional de este proyecto.

Resumen de Estrategias

Escala	Categoría		Estrategia
Macro	Sistema de agua	S01	Reforestación en Cuenca superior
		S02	Segunda presa de detención
		S03	Túnel de desviación
		S04	Presas de detención más pequeñas y distribuidas
		S05	Mejor resistencia a las inundaciones en corrientes
		S06	Plan de adquisición de tierra
		S07	Plan de Acción de Emergencia (PAE)
		S08	Código de Desarrollo de Tierras de Cero Impacto
Ciudad	Tránsito	S09	Puentes peatonales multiusos Norte-Sur
	Tráfico vehicular	S10	Coplas vehiculares Este-Oeste
	Uso de la tierra + Subcentros	S11	Proy. de uso mixto de más alta densidad por el corredor
	Redes depeatones + ciclistas	S12	Dos coplas de bicicletas
		S13	Carril de bicicletas continuo en lecho del río
		S14	Acceso directo a carril de bicicletas continuo
		S15	Un carril de tráfico para banqueta peatonal
		S16	Circ. Peaton. en vecindario p/minimizar banqueta del río
	Red de espacios abietos	S17	Zonas deo río
		S18	Columna verde central
		S19	“Sistemas verdes + azules”
		S20	Parches verdes
		S21	Humedales / áreas de detención bajo puentes existentes
		S22	Muros en bancos de río + pendientes con Caráct. nativas
Corredor del Río	Lecho de río + Canal de flujo bajo	S23	Diseño de canal de flujo bajo
	Áreas recreativas	S24	Programas Permanentes Al Aire Libre Consolidados
		S25	Nodos de Activ. Primaria (encima de Puentes de Ecovía)
		S26	Nodos de Activ. Secundaria (encima de Puentes de Ecovía)
		S27	Cump. con Directrices de Lecho de Río de CONAGUA
		S28	Gestión de Escultura Urbana Monumental Existente

espacio del

Parque Fundidora, Monterrey

Objetivos del Proyecto

Hidrología

La Cuenca del Río Santa Catarina debe ser manejada holísticamente y cuidadosamente considerando las implicaciones en las cuencas superior e inferior.

Este plan maestro ilustrará las maneras en que la ciudad puede manejar de mejor manera la cuenca para acomodar las inundaciones mientras que proporciona oportunidades para la recreación a lo largo del río y gestiona los requisitos de movilidad.

Objetivos clave:

- ToPreservar e incrementar la cobertura de vegetación en la ciudad y sus alrededores, con especial énfasis en terrenos inclinados para reducir el riesgo de derrumbes y controlar la erosión del suelo. Esta medida también aumentará el área de infiltración natural, reduciendo la presión de descarga en el Corredor del Río.
- Aumentar la profundidad de la sección del canal para responder a una mayor probabilidad de inundación. Integrar los cambios de nivel sin comprometer la accesibilidad al programa de la cuenca.
- Reforzar naturalmente los bancos de los ríos incorporando vegetación nativa donde sea posible y utilizando estructuras "blandas" que reduzcan la velocidad (y fuerza) de la corriente del río y contribuyan positivamente al entorno urbano y al ámbito público.

Manejo holístico de la cuenca del río: considerando las implicaciones en las cuencas superior e inferior.

movilidad

Mobilidad

El corredor Constitución-Morones Prieto sufrió fuertes daños luego del huracán Alex. Su rehabilitación para hacerlo un corredor de movilidad sustentable que se adapte al Río Santa Catarina es de las mayores oportunidades de Monterrey. Los objetivos de movilidad de este proyecto son:

- Integrar BRT, automóviles, bicicletas y movimiento peatonal a lo largo del corredor Constitución-Morones Prieto;
- Permitir conexiones planificadas del nuevo corredor a la red existente de autobuses y metro;
- Crear conexiones y paseos cómodos para los peatones;
- Aumentar el número de cruces peatonales y vehiculares a lo largo del corredor, haciendo el río más permeable al movimiento;
- Desviar el tráfico regional usando la circunvalación de la ciudad y como resultado reducción del tráfico.

Un corredor de movilidad sustentable integrará múltiples modos de transporte.

Diseño Urbano

Los objetivos de diseño urbano de este proyecto se centrarán en la consolidación de los siguientes nodos urbanos:

- Campus médico
- Distrito central comercial
- Distrito cívico/cultural
- Distrito de parques
- Distrito industrial verde

Con el fin de apoyar la creación de estos nodos, los mecanismos de planificación deben promover una mayor densidad mediante:

- Revisión de los actuales principios de zonificación para permitir el uso mixto;
- Permitir edificios más altos; y
- Pomover desarrollos urbanos de relleno/en terrenos baldíos.

Consolidar las características existentes, crear una fachada urbana cohesiva y promover una mayor densidad en áreas clave.

Espacio Abierto

El espacio abierto debe planificarse como una red interconectada para cumplir los siguientes objetivos:

- Permitir la infiltración de agua de lluvia y reducir las descargas directas en el corredor del río;
- Restablecer y mejorar la oferta recreativa a lo largo del río y conectarse a la red de espacios abiertos de toda la ciudad;
- Promover la creación de nuevas áreas urbanas de reforestación para prevenir derrumbes de tierra, crear hábitats e incrementar las oportunidades de infiltración natural de agua;
- Hacer que la movilidad peatonal sea una opción real para las personas.

Los espacios abiertos existentes deben conectarse a través de avenidas verdes que integras los corredores peatonales y se deben planificar nuevos espacios abiertos para su futura integración a esta red. Las conexiones cómodas, seguras y sombreadas para los peatones deben estar en el corazón de las nuevas directrices urbanas para la ciudad.

integren

Creación y apertura de redes espaciales que conecten áreas protegidas, parques, corredores verdes y espacios públicos.

28 ESTRATEGIAS

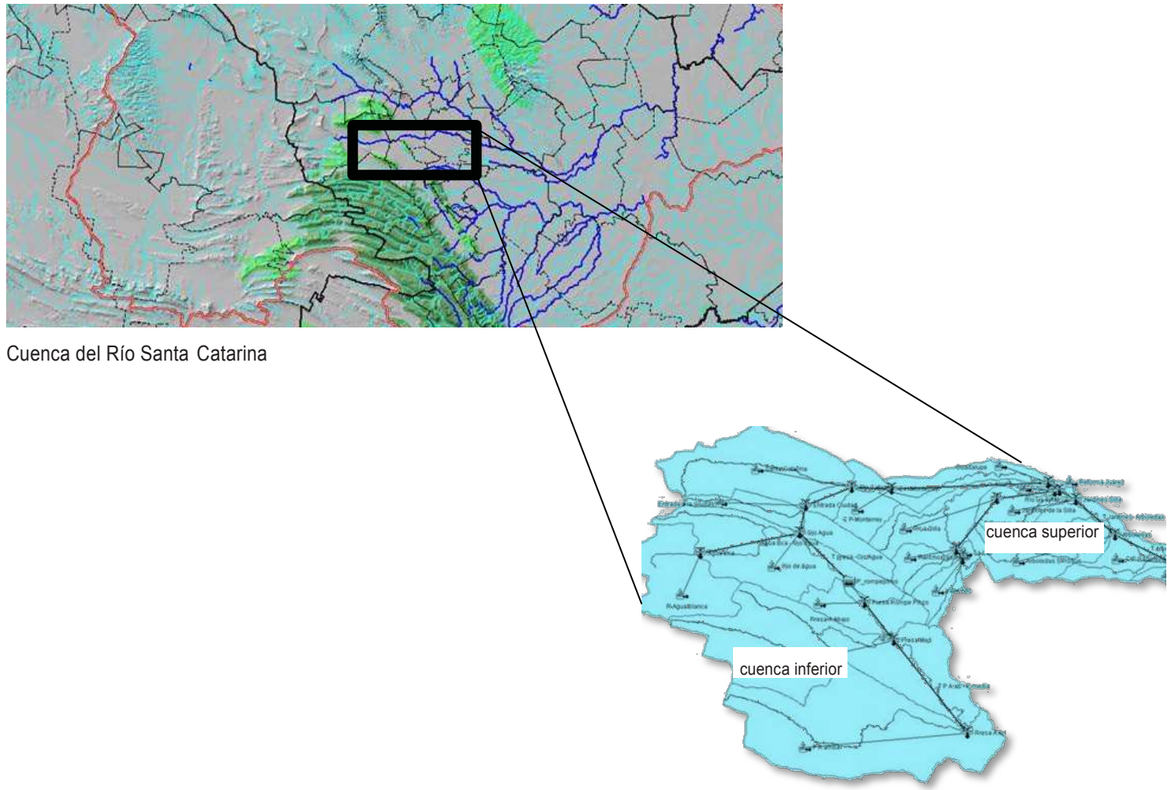
Escala Macro - Categoría 1: Agua

Durante el siglo XX el patrón natural meandrante histórico del río fue alterado en varias localizaciones a una alineación recta para acomodar el desarrollo y el crecimiento de Monterrey.

El río es efímero (seco) la mayor parte del año y las inundaciones son intermitentes; esto ha llevado al uso de porciones de elevación más altas del lecho del canal del río para diversas actividades dentro de la ciudad. El esfuerzo del plan maestro reconoce el deseo continuo de estas instalaciones; sin embargo, se están realizando esfuerzos para diseñar características en el canal que reduzcan el potencial de daños causados por las inundaciones y proporcionar información sobre la frecuencia en que estas características pueden ser inundadas y dañadas, para facilitar la planificación para este riesgo y las subsiguientes necesidades de financiamiento y mantenimiento.

Mientras que las inundaciones más frecuentes (más bajas) pueden ser transportadas a través de la ciudad en el canal del río con daños mínimos, las inundaciones severas, como el evento de la Tormenta Tropical Alex en 2010, pueden causar daños significativos a las calles y propiedades adyacentes al canal del río.

Las inundaciones extremas en el Río Santa Catarina transportan una cantidad significativa de sedimento, caracterizadas por aguas profundas de color café durante las inundaciones de la tormenta tropical Alex en 2010. Se debe entender de mejor manera la erosión, el transporte y la deposición de sedimentos en el sistema fluvial para diseñar en última instancia un corredor del canal del río que sea resistente a los acontecimientos de inundación repetitivos y severos.



Cuenca del Río Santa Catarina

FIGURA 05.01 Diagrama: Cuenca superior e inferior del Río Santa Catarina. Fuente: ITESM.

S01

Reforestación en Cuenca Superior

Escala: Macro
Categoría: Sistema de Agua

Estrategia 1
Reforestación en Cuenca Superior

Propósito / Objectivo / Sub Estrategia

- Realizar la reforestación para interceptar y detener la precipitación y disminuir la velocidad del movimiento de la escorrentía superficial hacia los canales del río.
- Dar prioridad a los esfuerzos de reforestación en áreas de drenaje debajo de la presa Rompepicos y en lugares con mayor precipitación y con menos vegetación existente.

Estrategia a Corto Plazo

El objetivo de esta estrategia es reforestar partes seleccionadas de la cuenca superior del Río Santa Catarina de tal manera que los procesos naturales de interceptación de precipitación y atenuación de escorrentía puedan ser restablecidos para contribuir a la reducción de los flujos máximos de inundación en la Ciudad de Monterrey.

Esta estrategia es una de las primeras estrategias a considerar porque, en parte, la reforestación y el consiguiente crecimiento de los árboles y otra vegetación tardará tiempo en madurar y ser efectivo para su papel previsto en la gestión del riesgo de inundación, en contraste con la construcción de estructuras tales como una segunda presa que puede ser efectiva poco después de su construcción.

La figura 5.01 muestra la cuenca superior dividida en subcuencas utilizadas en el modelo hidrológico del ITESM. Se han realizado evaluaciones preliminares de los efectos de la reforestación utilizando estas subcuencas. La Figura 5.02 muestra una serie de escenarios de reforestación en la cuenca superior a lo largo del tiempo, que van desde una situación actual, a un escenario conservador, al mejor escenario posible. Estos datos han sido preparados por The Nature Conservancy a través de los esfuerzos del Fondo del Agua de Monterrey. Estos escenarios de reforestación también deben evaluarse en cuanto a sus contribuciones para la reducción de máxima inundación.

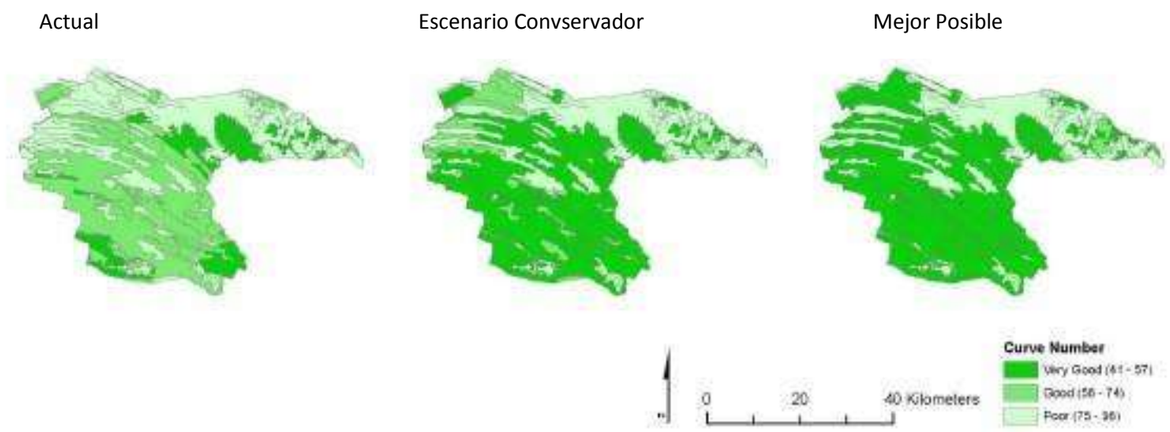
Estrategia a Mediano Plazo

La estrategia de reforestación se implementará de mejor manera realizando inicialmente un estudio piloto en una ubicación discreta en la cuenca superior. Esto proporcionará información práctica sobre los éxitos y desafíos de la implementación real y ayudará a orientar los esfuerzos subsiguientes de reforestación a mayor escala y más costosos.

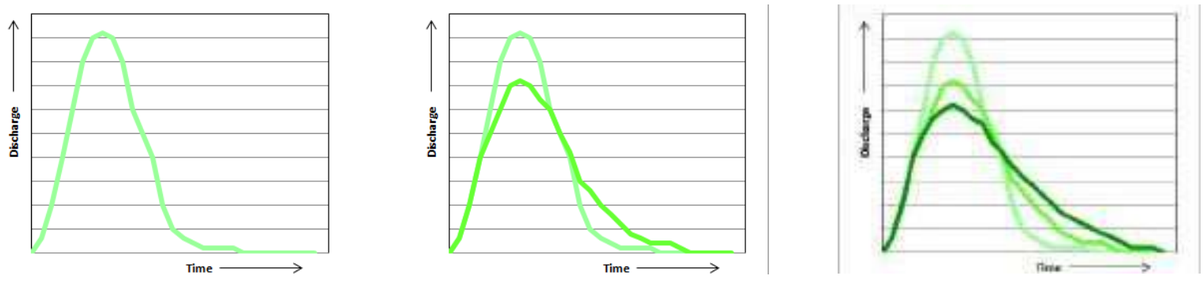
Escenarios de reforestación de TNC

The Nature Conservancy (TNC) desarrolló conjuntos de datos de SIG que representan la cubierta de vegetación en la cuenca superior del Río Santa Catarina. Los datos de SIG correlacionaron la cubierta de vegetación con los Números de Curva SCS (CN). Los valores CN representan el potencial de escorrentía de una cuenca y se utilizan en el modelado hidrológico para tener en cuenta las pérdidas de precipitación asociadas con la interceptación de copas, el almacenamiento del suelo y la infiltración. Cuanto menor sea el valor CN, menores serán los picos y volúmenes de escorrentía que corresponden a la cuenca representada.

T Los tres escenarios de reforestación: actuales, conservadores y lo mejores escenarios posibles se basan en la evaluación de la TNC sobre el potencial de revegetación dentro de la cuenca. Los escenarios suponen que la vegetación futura se basará en lo que tiene el mejor potencial para el establecimiento. Se tiene en cuenta que las áreas de matorrales/arbusto existentes en malas condiciones pudieran



Cartografía de escenarios de reforestación



La reforestación ayudará a reducir la descarga durante las inundaciones

FIGURA 05.02 Escenarios de reforestación. Fuente: The Nature Conservancy.

sólo tener el potencial de permanecer como matorrales/arbustos, sólo en mejores condiciones con mayor cobertura vegetal. Lo mismo ocurre con las áreas boscosas y las tierras agrícolas.

El análisis hidrológico de tres escenarios proporciona una evaluación cualitativa de la escorrentía superficial. Como lo ilustran las gráficas, la tasa de escorrentía máxima se redujo cuando se consideraron los escenarios de revegetación, acompañados de una reducción de recesión hidrográfica más gradual. Estos resultados preliminares sugieren que la revegetación en la cuenca tiene el potencial de reducir los flujos máximos y reducir los riesgos de inundación dentro de la Ciudad de Monterrey.

HEC-HMS Modelo Hidrológico de la Cuenca Superior

El modelo hidrológico HEC-HMS desarrollado por el ITESM y proporcionado al equipo del proyecto se utilizó para evaluar el impacto potencial de la estrategia de revegetación en los flujos máximos en el medidor de flujo de Monterrey. Los números utilizados para designar las áreas de la cuenca están relacionados con los resultados de la modelo.

El área 1 es la combinación de tres subcuencas; PA Arriba, P Media y Presa A Abajo. Estas subcuencas son afluentes de la Presa Rompepicos. Las restantes áreas numeradas son subcuencas individuales delineadas en el modelo HEC-HMS. En el esfuerzo de modelado de la revegetación (reforestación) se investigó la posible reducción del caudal máximo, si la revegetación se produjo sólo aguas arriba de la presa (Región 1) o sólo aguas abajo de la presa en las (Regiones 2-5).

El esfuerzo de modelado se basó en las reducciones de flujo para el evento de inundación con probabilidad de 0.1% por año, resultando en aproximadamente 7,000 cms en el medidor Monterrey EH. Los 7,000 cms se supusieron como el flujo máximo antes de la construcción de la Presa Rompepicos, por lo que el análisis evaluó la reducción de flujo por la presa en sí, así como la reducción adicional resultante de la revegetación.

Hydrologic Model Test Results

El modelo HEC-HMS original no fue establecido para producir un flujo máximo de 7,000 cms en el medidor Monterrey EH. Para lograr el caudal deseado de 7,000 cms, los valores de precipitación para el evento de probabilidad de 0.1% por año de Monterrey de la Universidad, se ajustaron iterativamente con un factor de escala hasta que el modelo produjera un valor de flujo de aproximadamente 7,000 cms. El valor de flujo máximo de 7,000 cms del medidor de caudal Monterrey EH se logró en un modelo HEC-HMS que no incluyó la presa.

Usando los mismos totales de precipitación que generaron el valor de 7,000 cms, la presa fue entonces agregada al modelo de cuenca. Los resultados de este esfuerzo de modelado se muestran en la columna designada como 2. Dado que los valores de reducción porcentual en la columna 2 indican que la construcción de la presa no tiene un impacto en la escorrentía máxima de las propias subcuencas individuales. El propósito de la presa es atenuar los flujos que ingresan a la instalación, lo que se ilustra por las reducciones de flujo en la corriente (River Reach). Como lo muestra la tabla, la Presa Rompepicos reduce el flujo de 7,000 cms en un 10-15% en los segmentos de corriente inmediatamente aguas abajo de la presa.

La reducción adicional del flujo del 15-20% es causada por la atenuación por parte de la presa del hidrograma. Los flujos máximos liberados de la presa se producen en un momento posterior, de modo que cuando las liberaciones de flujo de la presa se combinan con los flujos de la subcuenca aguas abajo de la presa, el impacto global es una reducción adicional de los picos de flujo.

El escenario de revegetación modelado en este ejercicio se basó en la sustitución de CN en el modelo HEC-HMS de probabilidad 0.1% por año con CN de 55. Los CN originales en las subcuencas oscilaron entre 79-84. Como indican los resultados tabulares en la columna 3, los valores de CN reducidos en las subcuencas afluentes de la presa tienen el potencial de reducir los picos de flujo de probabilidad de 0.1% por año fuera de la presa de un 15-20% adicional. Se estima que el impacto en la reducción de flujo en el medidor de caudal Monterrey EH debido a la revegetación sobre la presa oscile entre el 20-25%.

La columna 4 contiene las reducciones potenciales del flujo máximo si los esfuerzos de revegetación se centran en las subcuencas debajo de la presa pero aguas arriba del medidor de caudal Monterrey EH. Estas subcuencas tienen valores CN existentes que van desde 78-83. Como lo indican los valores de reducción en la tabla, los esfuerzos de revegetación reducirán los caudales máximos de la subcuenca que van del 15 al 40%. Pero el impacto general en el medidor de caudal de Monterrey EH es sólo del 1-10%. La baja reducción total se debe a un hidrograma de inundación pico doble donde el flujo máximo de las cuencas aguas abajo de la presa se produce antes del flujo máximo de la presa. El flujo de salida máximo de la represa es el mayor de dos, por lo que si el esfuerzo de revegetación sólo afecta al pico del hidrograma anterior, la liberación de la presa no se verá afectada significativamente.

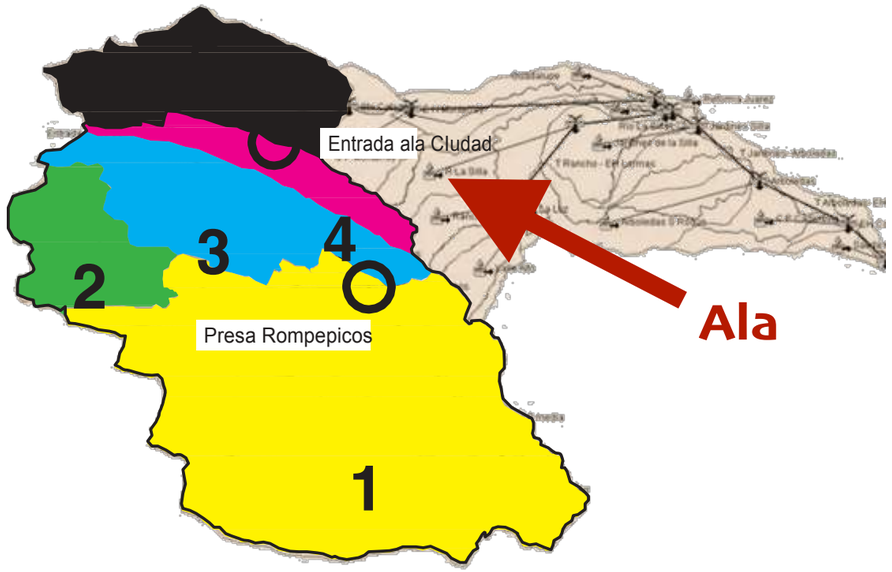


FIGURA 05.03 Diagrama: Subcuenca 1-5, HEC-HMS Modelado Hidrológico. Fuente: ITESM.

Subbasin Map ID	HEC-HMS Model Element Name	HEC-HMS Model Element Type	Contributing Drainage Area (km^2)	Reduction of 7,000 m^3/sec 1,000-Year Discharge by Presa Rompepicos	Additional Reduction from "Reforestation" of Subbasins Only Above the Dam	Additional Reduction from "Reforestation" of Subbasins Only Below the Dam
				% Reduction in peak flow	% Reduction in peak flow	% Reduction in peak flow
1	P A arriba	Subbasin	325.3	0.0%	20-25%	0.0%
	P media	Subbasin	325.0	0.0%	15-20%	0.0%
	Presa A Abajo	Subbasin	67.4	0.0%	15-20%	0.0%
	T presa -Ojo Agua	River Reach	717.7	10-15%	15-20%	0.0%
2	R Agua blanca	Subbasin	115.0	0.0%	0.0%	15-20%
	TAgua Bca - Ojo Agua	River Reach	115.0	0.0%	0.0%	15-20%
3	Ojo de Agua	Subbasin	186.7	0.0%	0.0%	20-25%
	T Ojo Agua-Entrada ciudad	River Reach	1019.4	15-20%	20-25%	1-10%
4	Entrada a la Ciudad	Subbasin	78.7	0.0%	0.0%	25-30%
	T E ciudad- Catarina	River Reach	1098.1	15-20%	20-25%	1-10%
5	Santa Catarina	Subbasin	180.8	0.0%	0.0%	25-40%
	T Catarina - EH Monterrey	River Reach	1278.9	15-20%	20-25%	1-10%
--	E H Monterrey	Junction	1328.3	15-20%	20-25%	1-10%
			1	2	3	4

- La tabla muestra el área de drenaje contributivo para los modelos de subcuenca. El área de drenaje incrementa hacia las cuencas inferiores, ya que más cuencas contribuyen a la descarga total.
- Reducción de 7,000 m3/probabilidad 0.1% por año por presa Rompepicos (15-20%).
- Se puede lograr una reducción adicional del 20-25% de la reforestación de subcuencas Presa arriba.
- Se puede lograr una reducción adicional de 01-10% de la reforestación de subcuencas Presa abajo.

FIGUREA 05.03 Tabla: Subcuentas 1-5, HEC-HMS Modelado Hidrológico. Fuente: ITESM.

Figura

S02

Segunda Presa de Detención

Escala: Macro
Categoría: Sistema de Agua

Estrategia 2
Segunda Presa de Detención

Propósito / Objetivo / Sub Estrategia

- Localizar una segunda presa para optimizar la detención y atenuación de los flujos de inundación y los sedimentos de la cuenca superior; y
- Realizar estudios para evaluar producción de sedimentos en una presa de retención y los efectos aguas abajo de la detención de sedimentos.

La segunda estrategia es encontrar una ubicación para una segunda presa para optimizar aún más la mitigación de las inundaciones y la detención de sedimentos en la cuenca superior. La presa existente impacta el hidrograma de la inundación creando un pico doble que entra en la ciudad. El primer pico es generado por la escorrentía de las cuencas aguas abajo de la presa. El segundo pico es creado por las descargas de la presa. Será necesario realizar estudios adicionales que evalúen el sedimento en una presa de detención y los efectos aguas abajo de la detención de sedimentos.

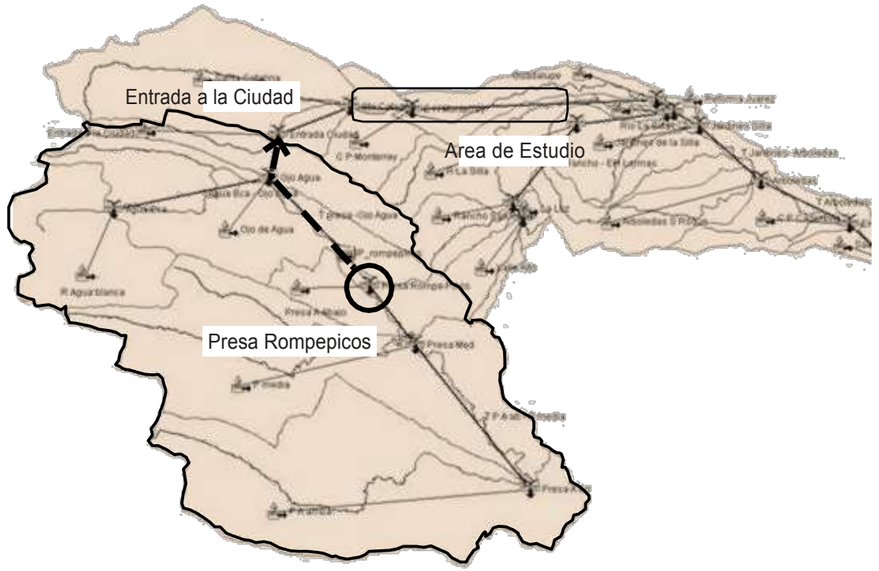
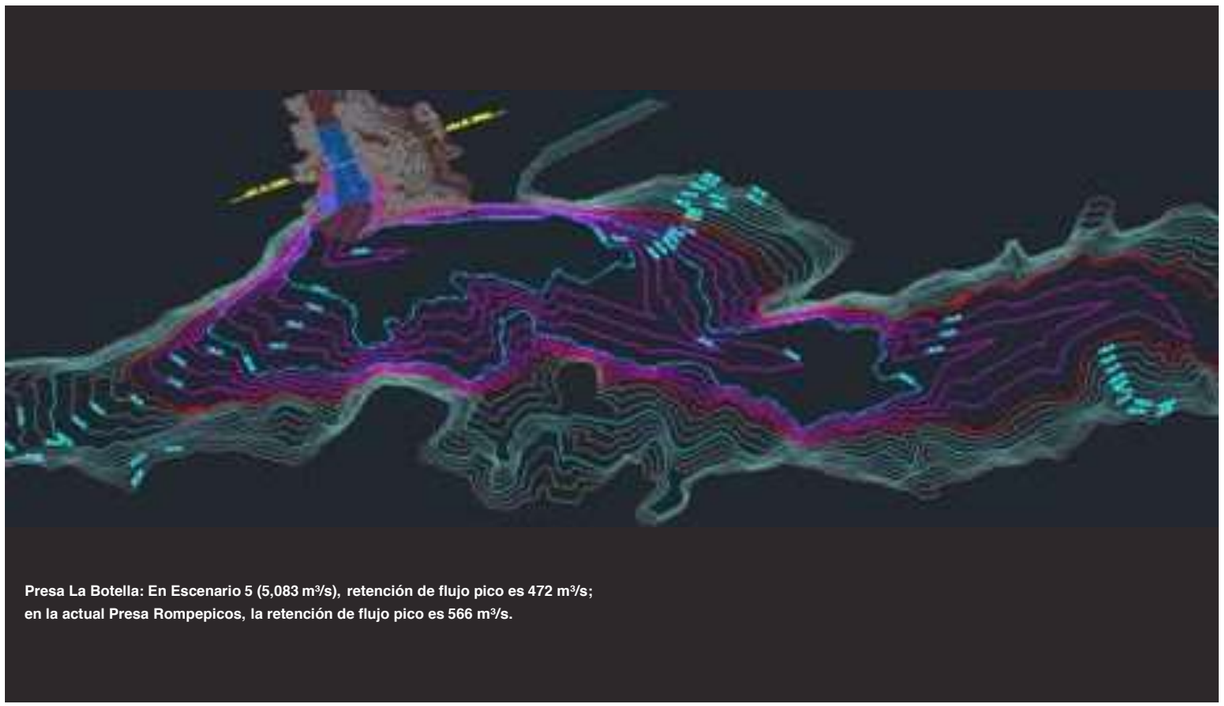


FIGURA 05.04 *Diagraa: Desviación de Flujo. HEC-HMS Modelado Hidrológico. Fuente: ITESM.*

Vista de la Presa Rompepicos



Presa La Botella: En Escenario 5 (5,083 m³/s), retención de flujo pico es 472 m³/s; en la actual Presa Rompepicos, la retención de flujo pico es 566 m³/s.

FIGURA 05.05 Diagrama: Presa La Botella. HEC-HMS Modelado Hidrológico. Fuente: ITESM.

S03

Túnel de Desviación en Cuenca Superior

Escala: Macro
Categoría: Sistema de Agua

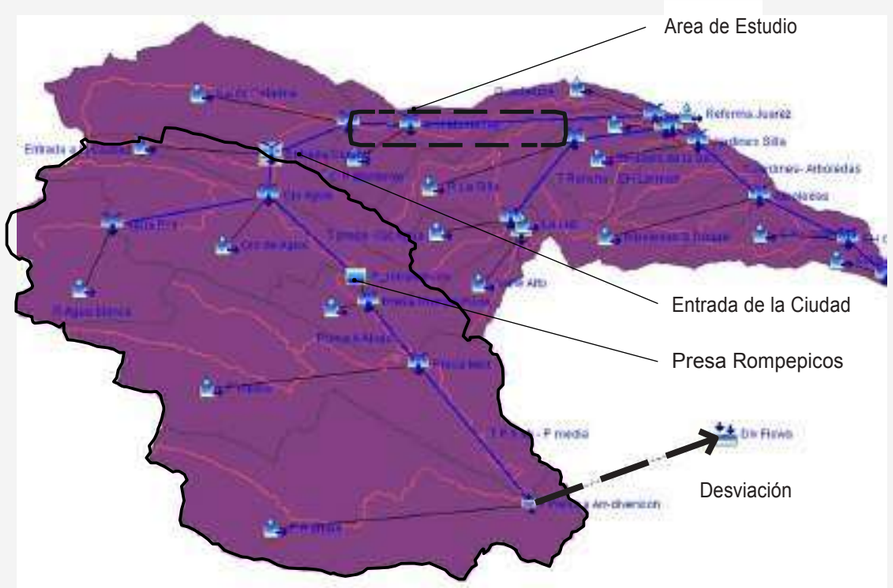


FIGURA 05.06 *Diagrama: Desviación Aguas Arriba. HEC-HMS Modelado Hidrológico. Fuente: ITESM.*

Estrategia 3
Construir un túnel de desviación en la cuenca superior

Propósito / Objetivo / Sub Estrategia

- Identificar una ubicación de desvío que optimice un caudal de desviación sustentable para el suministro de agua potable con costos razonables para la construcción y operación de una represa y túnel asociados con el desvío
- Establecer un caudal de desvío (probable 1-2 m³/seg) que se puede recibir en una cuenca adyacente sin erosionar los bancos naturales del canal del río, lo que daña los puentes, etc.

Desviar flujos pico

Desviar los flujos de la cuenca superior se evaluó como un enfoque potencial para reducir los flujos pico que ingresan a la ciudad de Monterrey durante un evento de gran inundación. Con base en las restricciones del sitio, se supuso que la desviación mostrada era la ubicación más lógica. Utilizando el modelo HEC-HMS con precipitaciones totales del huracán Alex, se colocó una estructura de desvío en el modelo.

Para este esfuerzo, se supone que una tubería de 2 metros de diámetro podría ser insertada a través de la pared del valle, permitiendo que el flujo sea descargado lejos de la ciudad de Monterrey. Es importante señalar que el tamaño y la capacidad de transporte se basan en estimaciones preliminares y están destinados a proporcionar un punto inicial de investigación relacionado con el desvío de flujos.

Los hidrogramas basados en el huracán Alex muestran que el flujo máximo en la desviación se reduciría aproximadamente 600 cms (1100 a 500 cms). Aunque no se presentan numéricamente, las estructuras de desviación no sólo reducen los flujos máximos, sino que también reducen el volumen de agua remanente en la cuenca

El impacto del flujo reducido causado por la estructura de desviación de la cuenca superior es silenciado a medida que se mueve aguas abajo. Dado que el flujo reducido se combina con la escorrentía adicional de la subcuenca presa arriba, la reducción de 600 cm es de sólo 500 cm (1440 cm a 940 cm). Una vez que el flujo se atenúa a medida que pasa a través de la presa, los flujos máximos se reducen sólo 120 cms (655 cms a 533 cms). En el momento en que el flujo entra en la ciudad, el impacto de la desviación es de sólo 38 cms (2342 cms a 2304 cms).

Desviación Aguas Arriba

La razón detrás del efecto amortiguado del desvío a medida que el análisis se mueve aguas abajo se relaciona con dos factores: el área de la cuenca y los hidrogramas de flujo. La desviación afecta sólo a la subcuenca PA Arriba, que representa el 45% del área total aguas arriba de la presa. A la entrada de la ciudad, la subcuenca es sólo el 30% del área de drenaje total. Como se explicó anteriormente, la presa tiene un impacto en el hidrograma de inundación al crear un doble pico que entra en la ciudad. El primer pico es generado por la escorrentía de las cuencas aguas abajo de la presa. El segundo pico es creado por las descargas de la presa. Para el escenario modelado, los dos picos son similares en magnitud, pero el primer pico es un poco más alto (10-20 cms), por lo que una reducción del pico de la presa no afecta significativamente al primer pico.

HEC-HMS Hydrologic Element	Alex Original	Alex w/Diversion
TPA ab – P media –river reach	1101 cms	511 cms
Presa Rompe Picos – inflow to dam	1440 cms	939 cms
P_rompepicos – dam outflow	655 cms	533 cms
Entrada Cuidad – Flow entering City	2342 cms	2304 cms

FIGURA 05.07 *Tabla: Flujo que entra a la ciudad con desvío. HEC-HMS Modelado Hidrológico. Fuente: ITESM.*

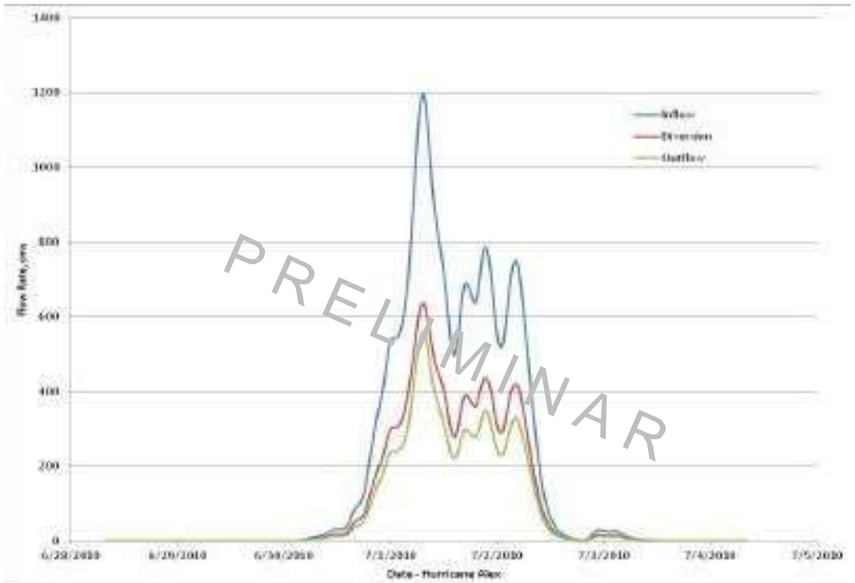


FIGURA 05.08 Diagrama: Desvío de flujo. HEC-HMS Modelado Hidrológico.

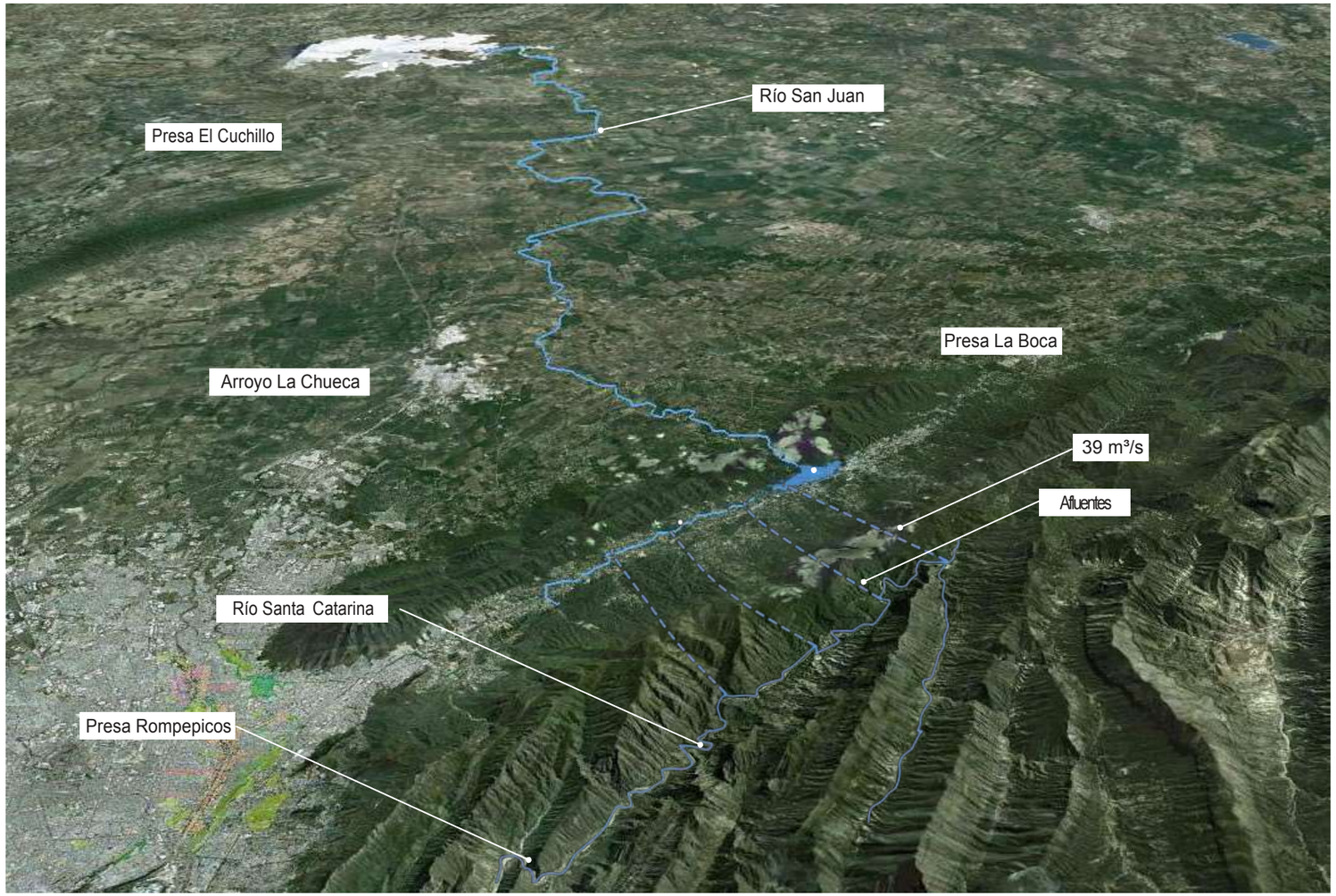


FIGURA 05.09 Diagrama: Desvío de flujo. El flujo máximo de 1,200 m3/s podría reducirse a la mitad si los flujos superiores a 600 m3/s se desvían de la cuenca superior.

Fuente: ITESM.

S04

Presas de Retención Más Pequeñas y Distribuidas

Escala: Macro
Categoría: Sistema de Agua

Estrategia 4
Presas de Retención Más Pequeñas y Distribuidas

Propósito / Objetivo / Sub Estrategia

- Construir pequeñas represas de retención en los afluentes de cabeceras de arroyos para atenuar los flujos de inundación y retener los sedimentos;
- Identificar las ubicaciones de las presas de retención aprovechando las características existentes como los cruces de caminos (vados); y
- Realizar estudios para evaluar la producción de sedimentos en las presas de retención y los efectos aguas abajo de la retención de sedimentos.

Estrategia a Mediano Plazo

Mientras que las estructuras grandes, como la presa Rompepicos, pueden reducir significativamente las descargas máximas de inundaciones en Monterrey, el beneficio de reducción de inundaciones de estas estructuras puede ser mejorado construyendo presas más pequeñas y dispersas dentro de las cuencas que transportan agua y sedimento hasta la presa. Es necesario realizar estudios adicionales que evalúen la sedimentación en una presa de retención y los efectos aguas abajo de la retención.

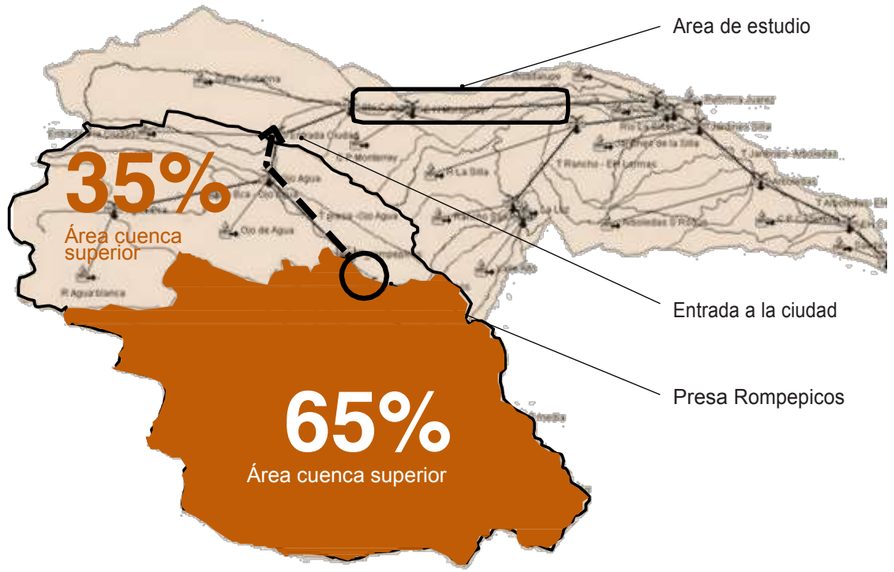


FIGURA 05.10 Diagrama: Presa Rompepicos controla 65% de la cuenca superior. HEC-HMS Modelado Hidrológico. Fuente: ITESM.

Capacidad de Recuperación tras Inundaciones en Arroyos Afluentes

Escala: Macro
Categoría: Sistema de Agua

Estrategia 5
Mejorar la capacidad de recuperación tras inundaciones en las corrientes afluentes del Río Santa Catarina

Propósito / Objetivo / Sub Estrategia

- Revisar la condición y gestión de las tierras en las áreas de la cuenca superior afluente y realizar mejoras, si es necesario, para interceptar y retardar el movimiento de la precipitación a los canales de arroyos, estimar el flujo y el volumen máximos de las inundaciones de afluentes y el transporte de sedimentos;
- Evaluar la capacidad hidráulica de los canales de arroyos existentes y los cruces de corrientes e incorporar modificaciones de diseño en elementos de diseño del plan maestro "Sistemas Verdes + Azules" para mejorar el transporte y la retención de aguas pluviales; y
- Estimar la contribución de las inundaciones de afluentes y el transporte/deposición de sedimentos al Río Santa Catarina y ajustar los esfuerzos del plan maestro del corredor fluvial en consecuencia.

Aplicar los mecanismos de capacidad de recuperación e inmovilización para corrientes y afluentes.

S06

Plan de Adquisición de Tierras

Escala: Macro
Categoría: Sistema de Agua

Estrategia 6
Plan de Adquisición de Tierra

Propósito / Objetivo / Sub Estrategia

- Identificar las áreas de las tierras de la ciudad susceptibles al desbordamiento por las inundaciones del Río Santa Catarina y/o por la inundación de las corrientes afluentes al río; y
- Establecer un plan para adquirir áreas de tierra propensas a inundaciones con el tiempo y convertirlas en tierras para usos públicos como parques/senderos.

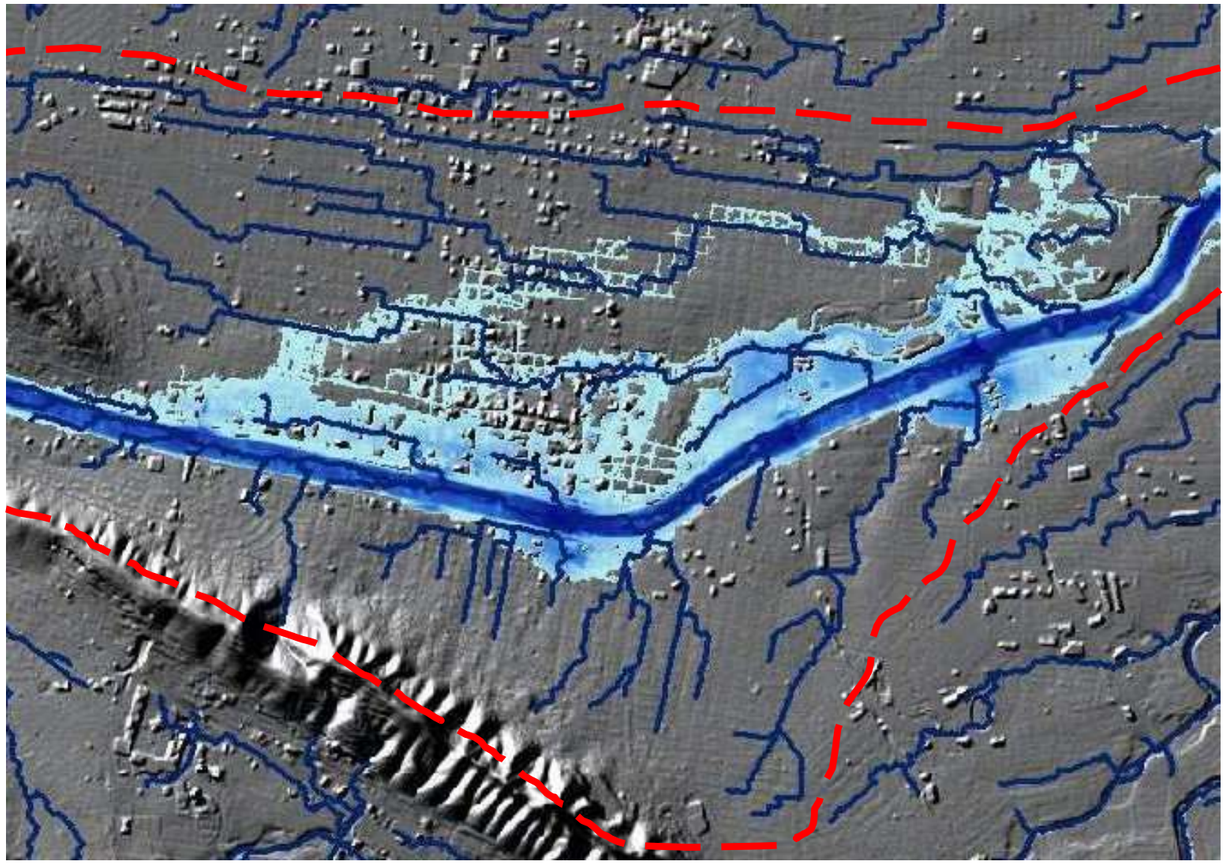


FIGURA 05.11 Diagrama: Rutas de desbordamientos en tierra mostrados con 7,000 cms de inundación. Fuente: 10 m DEM muestra de LiDAR.

S07

Plan de Acción de Emergencia (PAE)

Escala: Macro
Categoría: Sistema de Agua

Estrategia 7
Plan de Acción de Emergencia (PAE)

Propósito / Objetivo / Sub Estrategia

- Diseñar para inundaciones de probabilidad 0.1% por año de 5,083 m³/seg según la CNA, pero preparar planes para una inundación más severa y/o evento de falla de presa.
- Contribuir a los esfuerzos de planificación de acción a emergencias existente de la Ciudad
- Proporcionar información sobre un hipotético evento de inundación de 7,000 m³/s para la visualización de las inundaciones sobre los bancos (tiempo, extensión de la inundación) y estrategias de evacuación/rescate asociadas

Estrategia a Corto Plazo

La actual Presa Rompepicos y otras estrategias propuestas, como una segunda presa, reforestación y mejoras en los canales del río, ayudarán a reducir las inundaciones severas en Monterrey en el futuro. Sin embargo, la magnitud de futuras inundaciones es desconocida y altamente incierta. Por lo tanto, en la práctica contemporánea de gestión de inundaciones es prudente evaluar y planificar un evento de inundación conservador (muy extremo).

En consecuencia, durante el proceso de planificación maestral se estimó estadísticamente un caudal máximo de inundación de 7,000 m³/seg para una inundación de probabilidad de 0.1% por año a partir de diversas combinaciones de datos históricos registrados de caudal máximo. Los efectos de este evento extremo sobre las inundaciones dentro de la ciudad de Monterrey fueron simulados usando un modelo TUFLOW numérico bidimensional.

La figura de la derecha muestra los resultados del modelo de inundación en una porción de la ciudad y la codificación de color indica el riesgo relativo para los peatones y el tráfico vehicular a diversas profundidades de flujo en la inundación sobre los bancos.

Con este conocimiento espacial de los impactos de las inundaciones más severas y/o en el caso de una falla de la Presa Rompepicos, un Plan de Acción de Emergencia (PAE) puede ser preparado para guiar la respuesta de los funcionarios públicos y del público para la evacuación y rescate. La información sobre los niveles potenciales de inundación y las correspondientes estrategias de escape y rescate deben publicarse y estar disponibles para los planificadores de emergencias y funcionarios públicos.

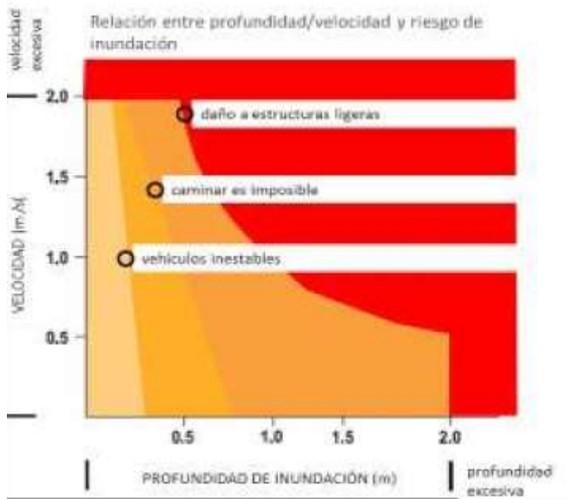


FIGURA 05.12a Gráfica: Profundidad/velocidad vs riesgo de inundación.

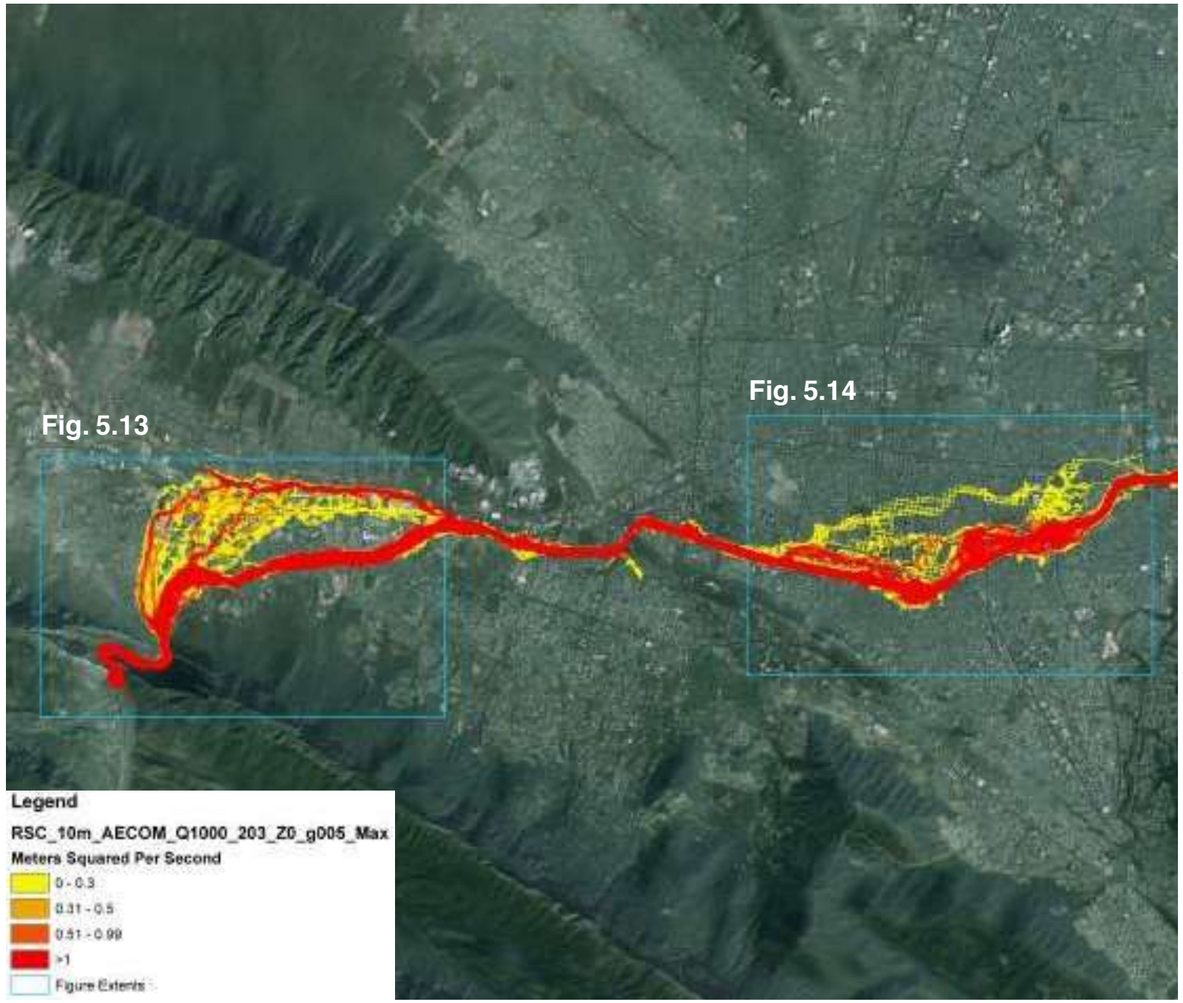


FIGURA 05.12b Mapa de Riesgo de Inundación de la Cuenca del Río Santa Catarina con 7,000 cms de inundación V*d (m²/s)

S07

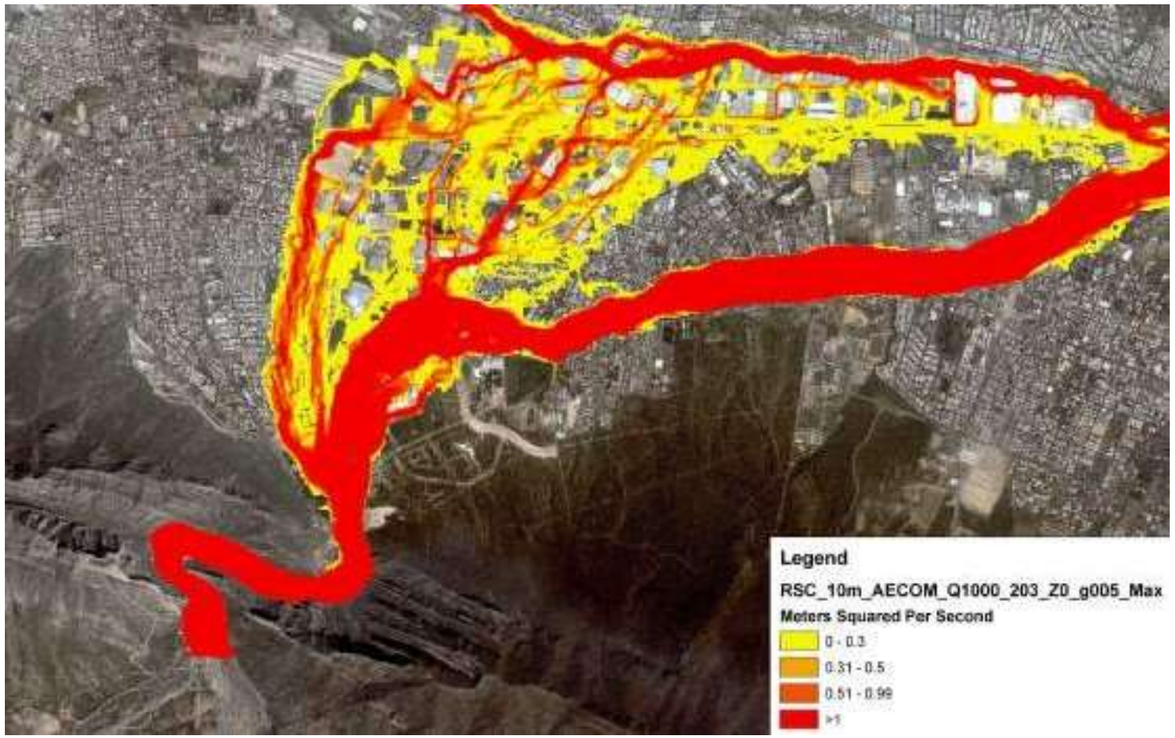


FIGURA 05.13 Mapa de Riesgo de Inundación de la Cuenca del Río Santa Catarina mostrado con 7,000 cms de inundación (Cuenca Superior)

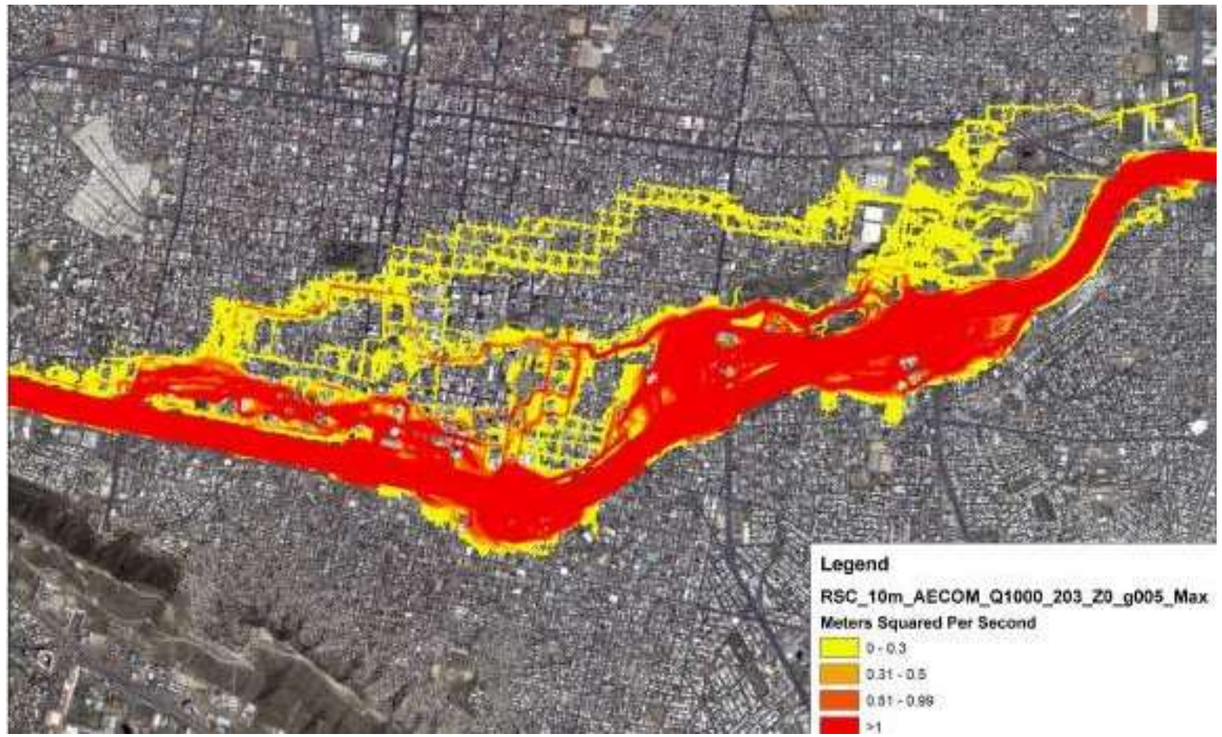


FIGURA 05.13 Mapa de Riesgo de Inundación de la Cuenca del Río Santa Catarina mostrado con 7,000 cms de inundación (Cuenca Inferior)

S08

FIGURA 05.12a *Gráfica: Profundidad/velocidad vs riesgo de inundación.*

Código de Desarrollo de Tierras con Impacto Cero

Escala: Macro
Categoría: Sistema de Agua

Estrategia 8
Código de Desarrollo de Tierras con Impacto Cero

Propósito / Objetivo / Sub Estrategia

- Asegurar que el caudal y el volumen de drenaje/escorrentía de los proyectos post desarrollo no aumenten con respecto a los niveles pre desarrollo; y
- Fomentar la implementación del desarrollo "verde" innovador de bajo impacto en sitio y estrategias de retención de aguas pluviales.

Durante el huracán Alex, una cantidad significativa de daños se generó por la escorrentía que aumentaba de velocidad debido a canales naturales restringidos o bloqueados. El Plan Maestro reconoce que para poder gestionar la capacidad del Río Santa Catarina, toda la superficie de la ciudad debe contribuir a detener y disminuir la velocidad la escorrentía desde el sitio desarrollado.

El área metropolitana de Monterrey ha tratado durante décadas implementar pautas para minimizar los impactos del desarrollo sobre la escorrentía de aguas pluviales. En los últimos años se implementó un Código de Impacto Cero. El Plan Maestro apoya esta iniciativa/código y recomienda métodos de aplicación más estrictos, para asegurar que la escorrentía de las aguas pluviales se maneje lo más cercano posible a su fuente.

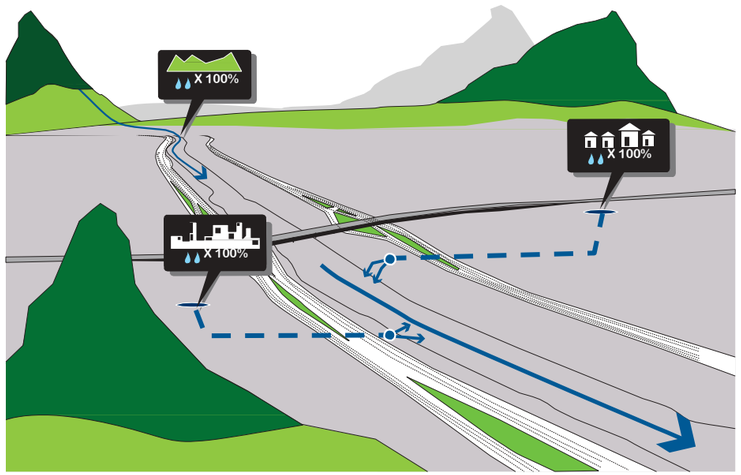


FIGURA 05.15 Diagrama: Ciudad + escala de río: Condiciones existentes para el ciclo del agua

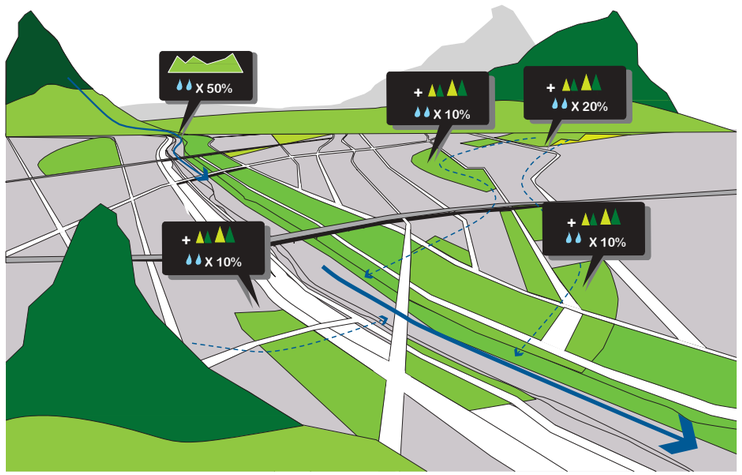


FIGURA 05.16 Diagrama: Ciudad + escala de río: Condiciones propuestas para el ciclo del agua

S09

Puentes peatonales de Norte-Sur de usos múltiples

Escala: Ciudad
Categoría: Tránsito

Estrategia 9
Puentes peatonales de Norte-Sur de usos múltiples

Propósito / Objetivo / Sub Estrategia

Esta estrategia propone nuevos puentes peatonales Norte-Sur de usos múltiples para conectar a los usuarios de la Ecovía 2 entre Constitución y Morones Prieto. La estrategia destaca la necesidad de dos tipos de puentes:

- Tipo 1: Acceso peatonal adyacente a puentes vehiculares existentes (véase Estrategia 14);
- Tipo 2: Nuevos puentes peatonales exclusivamente destinados a la Ecovía 2.

La Figura 05.17 a la derecha ilustra los puentes peatonales existentes y propuestos. La idea detrás de los puentes Tipo 1 es maximizar el uso de la infraestructura existente (o en construcción). Para ello, existen nueve (9) puentes vehiculares con capacidad y ubicación estratégica cerca de una estación Ecovía 2 para conectar a los peatones al BRT propuesto y más allá, si se mejoran para proporcionar zonas peatonales seguras (véanse los puentes con líneas moradas y amarillas lado a lado).

Además, para ofrecer la conectividad peatonal necesaria, el Plan Maestro también propone seis (6) puentes peatonales exclusivos de la Ecovía 2 (en amarillo sin púrpura a su lado) y tres (3) puentes peatonales no conectados a la Ecovía 2 (en verde).

Precedente: Puentes peatonales - Transmilenio BRT, Bogotá, Colombia.

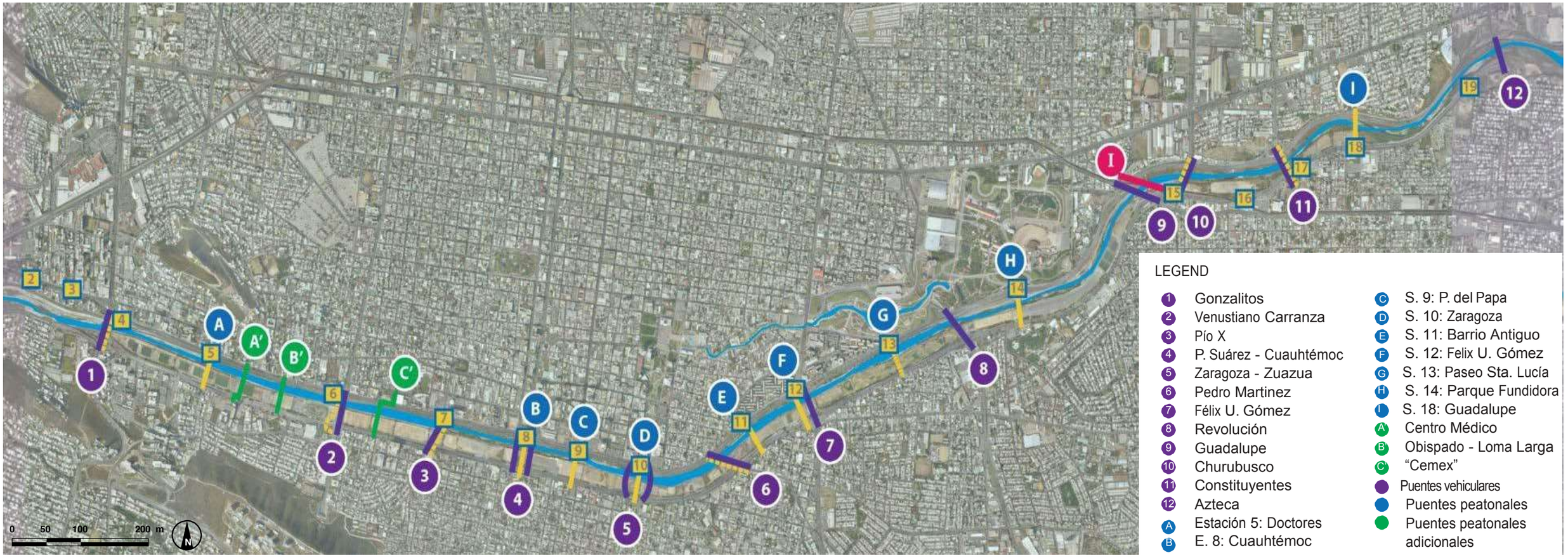
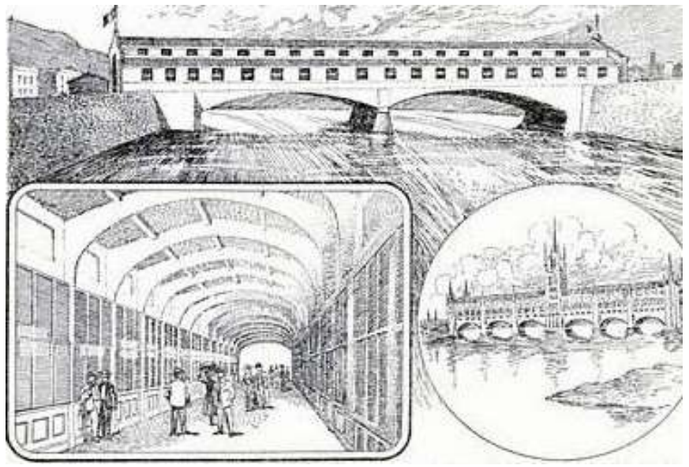
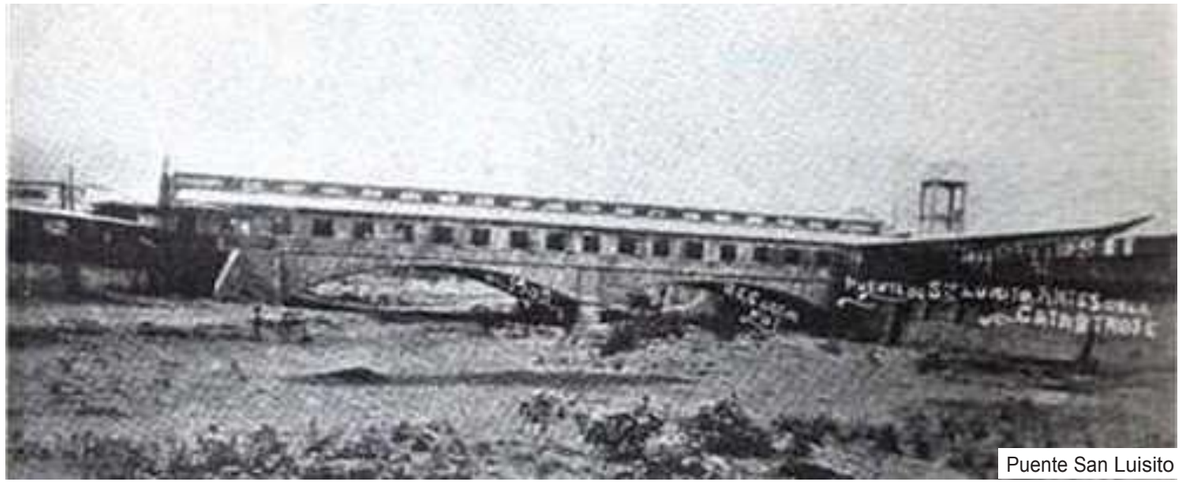


FIGURA 05.17 Diagrama: Puentes peatonales Norte-Sur propuestos (en amarillo y verde).

S09



Puente Atirantado



Puente San Luisito

Puentes icónicos en Monterrey

Singapur

Borneo, Amsterdam

Shanghai, Expo.

Chicago

Providence, Rhode Island

Vistas de precedentes icónicos de puentes peatonales en todo el mundo.

S10

Presas de Retención Más Pequeñas y Distribuidas

Escala: Ciudad
Categoría: Tránsito Vehicular

Estrategia 10
Coplas Veniculares Este-Oeste

Propósito/ Objetivo

El propósito de esta estrategia es implementar y/o mejorar las coplas vehiculares Este-Oeste en la parte más amplia de la ciudad para aliviar el volumen de tráfico en Constitución y Morones Prieto, permitiendo la conversión potencial de carriles de tráfico a carriles BRT y rutas para peatones y ciclistas

Vista del actual Corredor Constitución-Morones Prieto, Monterrey.

FIGURA 05.16 *Diagrama: Coplas vehiculares propuestas Este-Oeste..*

S11

Proyectos de uso mixto de mayor densidad

Escala: Ciudad
Categoría: Uso de la Tierra + Sub Centros

Estrategia 11
Proyectos de uso mixto de mayor densidad

Propósito / Objetivo / Sub Estrategia

Esta sección describe la estrategia y los programas que definen el marco de uso de la tierra para Monterrey, con un enfoque en el corredor del Río Santa Catarina. Este marco general es necesario para identificar los elementos de acción inmediata para iniciar el proceso de reconstrucción, sin perder de vista la visión más amplia del Corredor del Río.

Esta estrategia promueve la implementación de proyectos de uso mixto de mayor densidad a lo largo del corredor del río. Los objetivos principales son:

- Cambiar el uso de la tierra y la densidad actual a proyectos de uso mixto de mayor densidad a lo largo del corredor del río, con énfasis en las estaciones de Metro y Ecovía;
- Enfocarse en las parcelas de oportunidad que son principalmente zonas subutilizadas y/o en ruinas dentro del Área del Plan;
- Proteger las parcelas que incluyan estructuras históricas y desarrollos relativamente nuevos que estén en buenas condiciones;
- Distritos de estudio que exhiben detalles de lotes históricos intercalados con parcelas de bajo valor;
- Proponer una intervención a nivel de bloque más detallada para los diversos subcentros de la ciudad: Basílica de Guadalupe y Campus Médico; y
- Implementar los cambios en el uso de la tierra para promover el uso mixto de alta densidad alrededor de las estaciones de transporte público

Distritos, nodos y enlaces

El plan introduce nuevos usos de la tierra mientras mantiene los usos existentes viables e históricos, y promueve una intensidad de desarrollo que se puede capitalizar en la existente y nueva infraestructura de transporte.

El objetivo es caracterizar el corredor del Río Santa Catarina en distritos, reflejando la diversidad de usos y características existentes. Para promover la visión general, se han creado cinco distritos (zonas de características) a lo largo del corredor del río que se basan en los usos, el patrimonio y las características existentes (Fig. 05.17). Estos distritos son:

- Distrito campus médico;
- Distrito núcleo comercial;
- Distrito cívico/cultural
- Distrito de Parques; y
- Distrito verde industrial/de tecnología.

Los nuevos nodos existentes y potenciales que se deben desarrollar para crear subcentros incluyen los siguientes:

- Centro de gobierno/cívico
- Centro religioso (Basílica de Guadalupe);
- Campus médico;
- Distrito núcleo comercial;
- Campus de educación superior;
- Centros de entretenimiento
- Principales plazas y parques
- Parque industrial/de tecnología; y
- Nuevos nodos de Desarrollo Orientado al Tránsito (TOD) en las estaciones clave de Metro y Ecovía.

Nuestras propuestas promueven el fortalecimiento de los corredores existentes y la creación de enlaces para conectar los subcentros y formar una red en toda la ciudad. Estos enlaces incluyen:

- Sistema de senderos en el lecho del Río Santa Catarina y áreas de espacio abierto;
- Propuesta de muro de calle urbano activo a lo largo de Constitución y Morones Prieto;
- Corredores de negocios minoristas reforzados en Av. José Ma. Pino Suárez, Venustiano Carranza Sur, Garza Sada y Calle Benito Juárez;
- Bulevares principales con características de paisaje; y
- Parques lineales y espacios abiertos

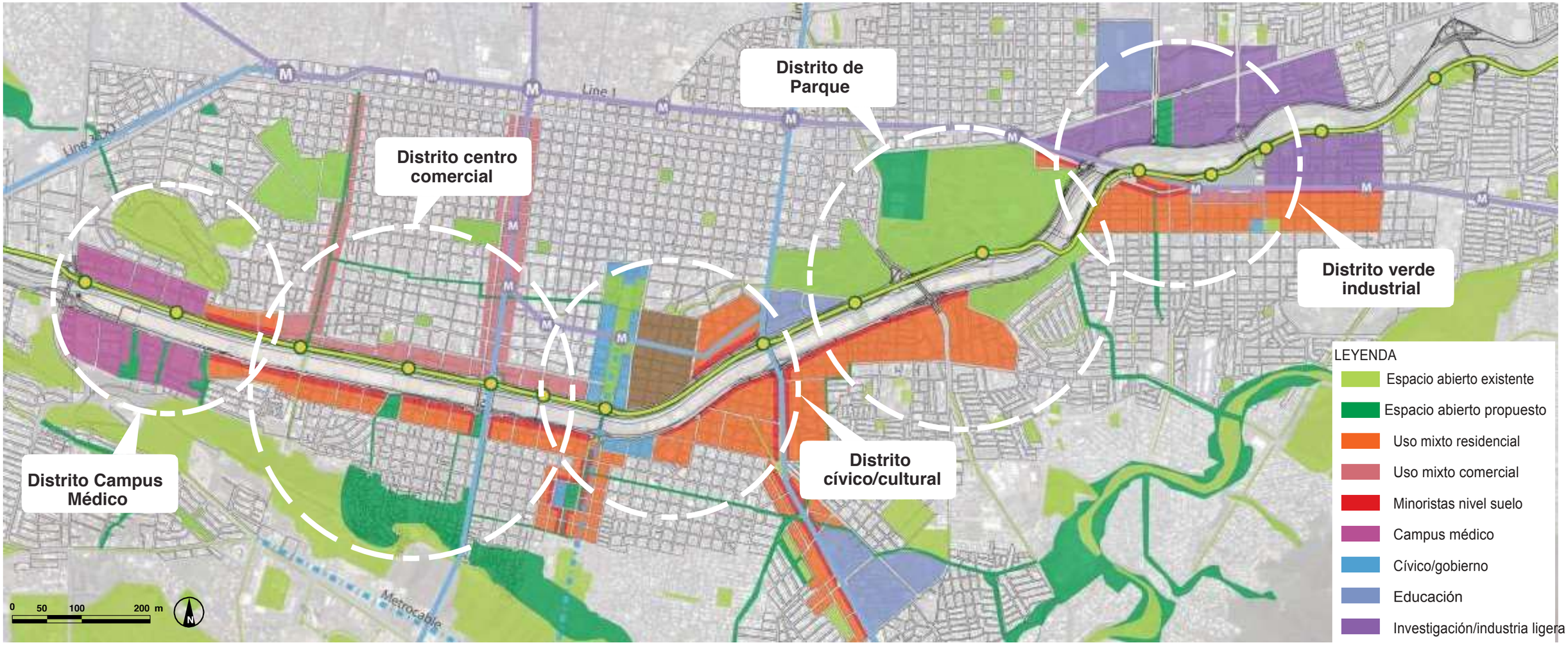


FIGURA 05.17 Diagrama: Nodos urbanos, Uso de la tierra y nodos de transporte.

Designaciones de uso de la tierra y distritos de zonificación

El nuevo marco de uso de la tierra apoya el concepto antes mencionado de crear una red conectada de nodos y enlaces. Se proponen distritos de zonificación para realizar el uso designado y las características de desarrollo.

La revisión de los usos del suelo y la zonificación deben asegurar la compatibilidad con las características de la zona a lo largo del corredor del Río Santa Catarina. El proceso debe:

- Identificar parcelas de oportunidad, que son principalmente subutilizadas y/o sitios en ruinas.
- Promover el uso mixto de alta densidad en las estaciones de transporte público, poniendo especial énfasis en las principales estaciones de Metro y Ecovía.
- Permitir la consolidación de bloques más pequeños si es necesario, para aumentar la flexibilidad y permitir desarrollos a mayor escala.
- Preservar edificios históricos. Las áreas existentes que exhiben detalles de lotes históricos intercalados con parcelas de valor bajo necesitan ser estudiadas cuidadosamente.
- Mantener desarrollos relativamente nuevos que estén en buenas condiciones.

La implementación de los distritos de zonificación debe promover el uso designado y las características del desarrollo. La Tabla 05.18 ofrece una breve descripción de los distritos de zonificación propuestos y su intención, la cual debe leerse conjuntamente con la Figura 05.19.

Estos distritos de zonificación pueden ser aplicados como un Distrito de Superposición, para permitir la modificación de las regulaciones actuales de desarrollo y uso. Mediante la aplicación de esta superposición, los Tipos de Uso, las Normas de Desarrollo y las Directrices permitidas se pueden adaptar para reflejar los usos deseados, la intensidad de desarrollo y la calidad del diseño.

Uso de la tierra	Zona propuesta	Objetivo
Campus médico	MED-1	Consolidar el uso de la tierra para crear un grupo de edificios médicos en un ambiente de campus.
	MED-2	Desarrollo de pequeñas clínicas médicas dentro de la estructura urbana existente.
Uso mixto residencial	UMR-1	Desarrollos residenciales de alta densidad. Promover usos comerciales a nivel del suelo, permitir edificios altos y la consolidación de parcelas.
	UMR-2	Desarrollos residenciales de media densidad. Permitir usos comerciales a nivel del suelo. Las restricciones de altura deben aplicarse a las áreas adyacentes a los vecindarios existentes.
Uso mixto comercial	UMC-1	FAR (relación suelo-área) para edificios altos comerciales y de oficinas a lo largo del río. Permitir uso comercial a nivel del suelo.
	UMC-2	FAR (relación suelo-área) para edificios de medianos a altos comerciales y de oficinas a lo largo del corredor del Metro. Permitir alta densidad en áreas cercanas a las estaciones de Metro.
	UMC-3	FAR (relación suelo-área) para desarrollos comerciales bajos y lineales.
Preservación histórica	PRE	Preservación histórica y nuevos desarrollos estratégicos con pautas especiales que respondan a las características históricas y la estructura urbana existentes.
Cívico/gobierno	C/G	Corredor cívico, gobierno y desarrollo cultural alrededor de la Macro Plaza.
Educación	EDU	Sitios estratégicos para grandes campus educativos.
Industria ligera	IND	Permitir la consolidación del uso de la tierra para crear grandes parques tecnológicos y de investigación.
Transporte	TRA	Uso de nodos de transporte como centros multimodales.
Parques y recreación	P/R	Parques, nodos y red de espacios abiertos.

FIGURA 05.18 Tabla: Usos de la tierra propuestos.

Áreas de enfoque del diseño urbano

Se seleccionaron cuatro áreas de enfoque para proporcionar un estudio detallado a nivel de distrito para los diversos subcentros de la ciudad e ilustrar un enfoque potencial para el desarrollo.

Las áreas de enfoque (Fig. 05.19) representan la diversidad de usos a lo largo del corredor del Río Santa Catarina e incluyen:

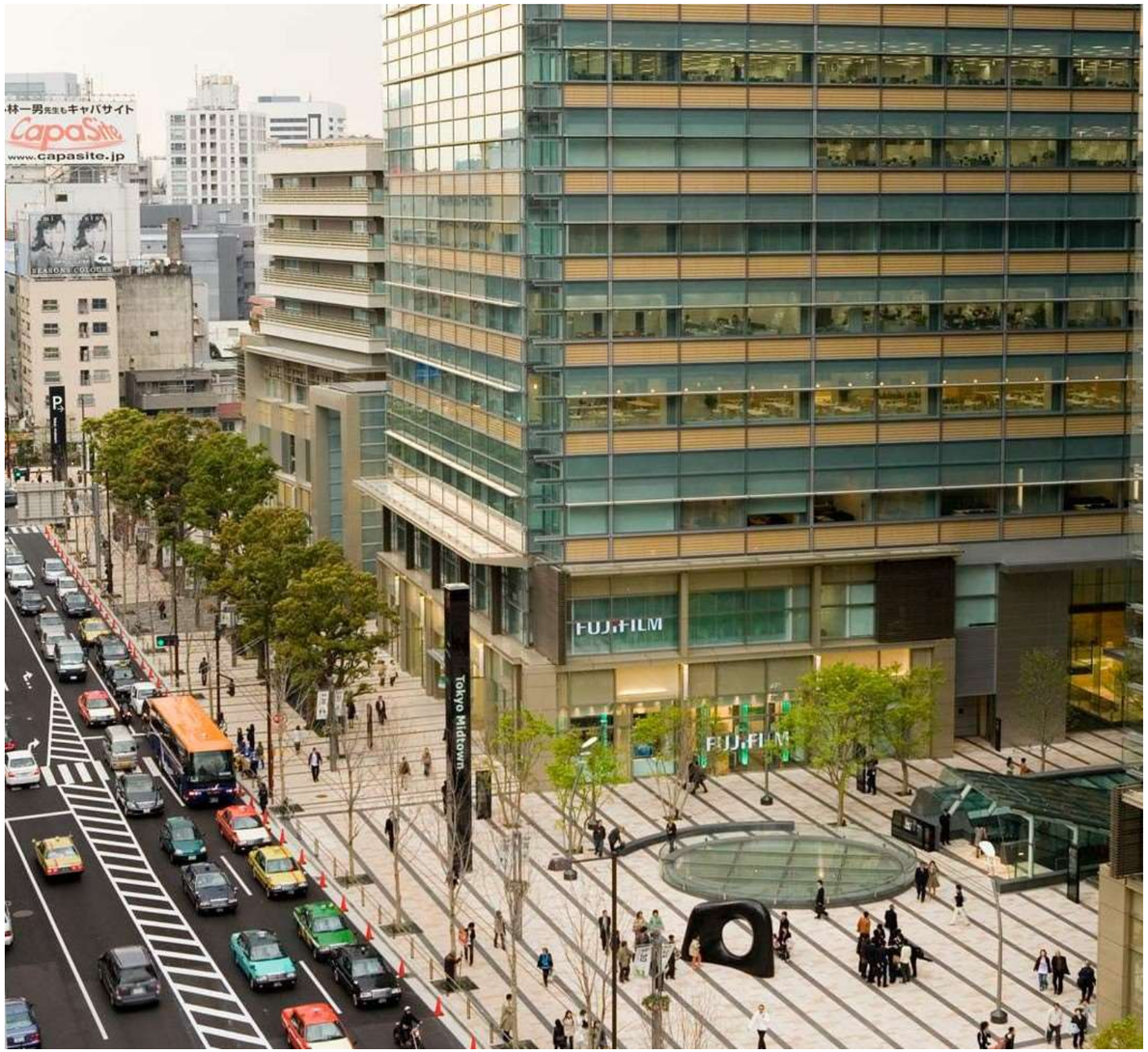
- Campus médico
- Distrito núcleo comercial
- Distrito de uso mixto residencial frente al río;
- Basílica de Guadalupe
- Distrito Industrial/de Tecnología; y
- Desarrollo Orientado al Tránsito frente al Río (TOD)

Para las áreas de enfoque individual, se consideraron los siguientes objetivos de alto nivel de diseño:

- Mantener la red de calles para la conectividad y la integración en la estructura urbana existente;
- Creación de un muro de calle urbano y proporcionar un generoso lindero desde Constitución y Morones Prieto para carriles de ciclistas, amplias aceras y tratamiento paisajístico para crear un borde atractivo; y
- Identificar las ubicaciones estratégicas para que los elementos de los edificios más altos actúen como hitos, con aumento de beneficios generado de las vistas.

Estos principios y directrices urbanos promueven un enfoque de desarrollo que es coherente con la visión, las características y la intención del plan y tienen por objeto establecer reglas generales para el nuevo desarrollo. Estos principios y directrices deben ser refinados y personalizados en el futuro antes de ser adoptados por la Ciudad como un conjunto de normas reguladoras. Los elementos formativos que se abordan como un conjunto preliminar de directrices incluyen:

- Bordes - sugieren dónde debe estar la fachada activa y el muro de la calle para definir las calles y/o espacios abiertos clave. Las líneas "A Medida" se pueden adoptar para implementar estos bordes.
- Lindero - utilizado junto con las directrices de Bordes para indicar hasta qué punto se coloca un edificio desde el límite de la propiedad
- Altura: indica ubicaciones potenciales para colocar elementos de edificios más altos
- Acceso - se refiere al acceso peatonal a los edificios, así como al acceso vehicular al estacionamiento



Vista de un nodo de transporte de alta densidad en Tokio, Japón. Los usos comerciales a nivel del suelo se complementan con un espacio público de alta calidad.

S11

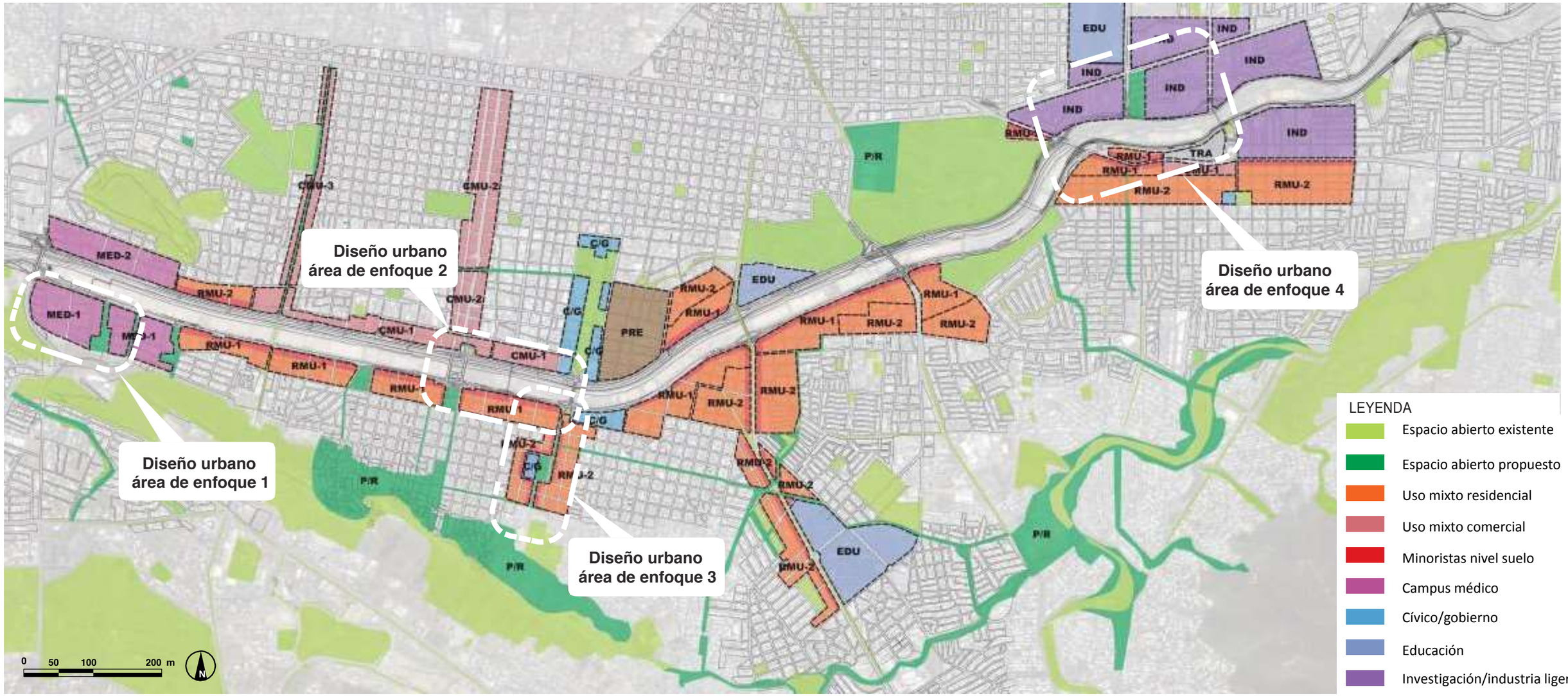


FIGURA 05.19 Diagrama: Propuesta de uso de la tierra por categorías y áreas de enfoque del diseño urbano.

FIGURA 05.19 Vista aérea: Vistas de agrupamiento en 3D de la zona MED-1 propuesta (Vista 1)

FIGURA 05.20 Vista aérea: Vistas de agrupamiento en 3D de la zona MED-1 propuesta (Vista 2)

FIGURA 05.21 Vista aérea: Vista en 3D de la zona comercial de uso mixto propuesta UMC-1

FIGURA 05.22 Vista aérea: Vista en 3D de la zona residencial de uso mixto propuesta UMR-1

S11

FIGURA 05.23 Vista aérea: Vista en 3D de la zona propuesta de uso mixto residencial/comercial UMR-1 (Vista 1)

FIGURA 05.24 Vista aérea: Vista en 3D de la zona propuesta de uso mixto residencial/comercial UMR-1 (Vista 2)

FIGURA 05.25 Vista aérea: Vista en 3D de la zona propuesta de uso mixto residencial/comercial UMR-1, UMC-1 (Vista 1).

FIGURA 05.26 Vista aérea: Vista en 3D de la zona propuesta de uso mixto residencial/comercial UMR-1, UMC-1 (Vista 2).

FIGURA 05.27 *Vista aérea: Vista en 3D de la zona propuesta de uso mixto residencial/comercial UMR-1, UMC-1 (Vista 3)*

FIGURA 05.29 Vista aérea: Vista en 3D del distrito de industria ligera IND (Vista 2).

FIGURA 05.28 Vista aérea: Vista en 3D del distrito de industria ligera IND (Vista 1).

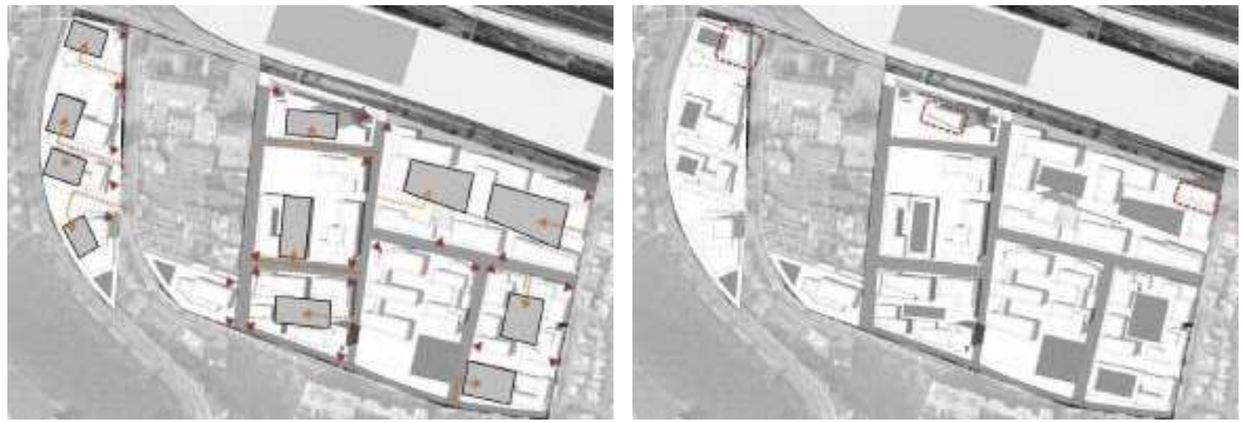
FIGURA 05.30 Vista aérea: Vista en 3D del distrito de industria ligera IND (Vista 3).

S11

Área de enfoque urbano (MED 1)

Área de enfoque urbano 2 (CMU-1)

Área de enfoque urbano 2 (RMU-1)



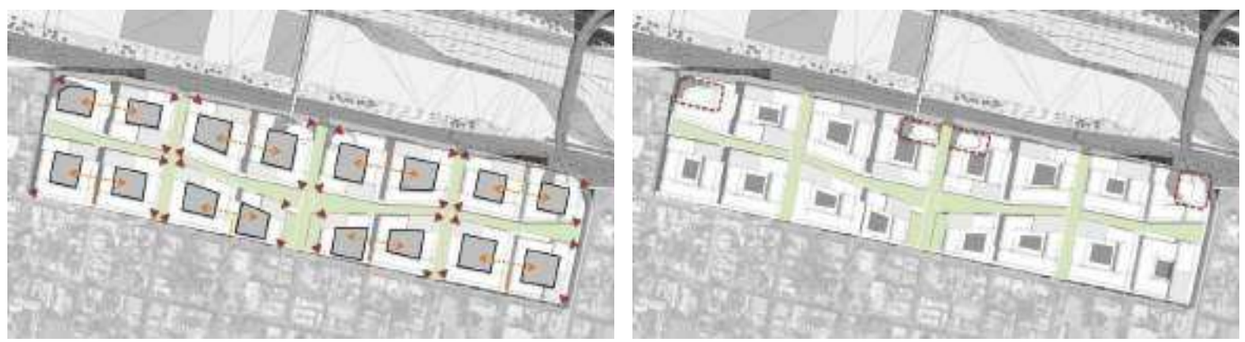


FIGURA 05.31 Diagramas: Principios de diseño urbano aplicados a las áreas de enfoque 1 y 2

Área de enfoque urbano 3 (RMU-1 + C/G)

Área de enfoque urbano 4 (IND)

Área de enfoque urbano 4 (RMU-1)

LEYENDA

- Franja de paisaje (min 10 m)
- Lindero a Medida 10 m
- Fachada active de edificio
- Acceso a edificio para peatones
- Acceso a estacionamiento para vehículos
- Estacionamiento
- Ubicación general para edificios más altos

0 50 100 200 m

FIGURA 05.31 Diagramas: Principios de diseño urbano aplicados a las áreas de enfoque 3 y 4

S12

Dos Coplas para Bicicleta

Escala: Ciudad
Categoría: Peatones + Redes de bicicleta

Estrategia 12
Dos Coplas de Bicicleta

Propósito / Objetivo / Sub Estrategia

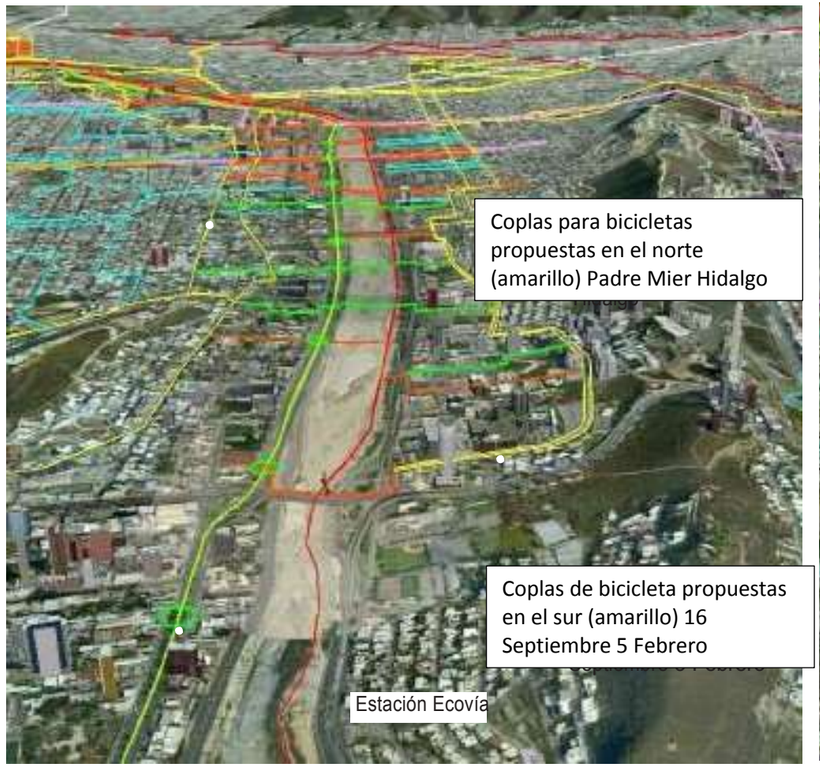
Esta estrategia propone el desarrollo de dos coplas de bicicleta (este-oeste) para formar el borde de la "zona de influencia" del corredor en dos ubicaciones clave:

- Avenidas Padre Mier e Hidalgo al norte del corredor; y
- Calles 16 de Septiembre y 5 de Febrero al sur del corredor.

Precedente: Redes de bicicletas integradas al contexto urbano.

FIGURA 05.32 Diagrama: Red para bicicletas propuesta.

S12



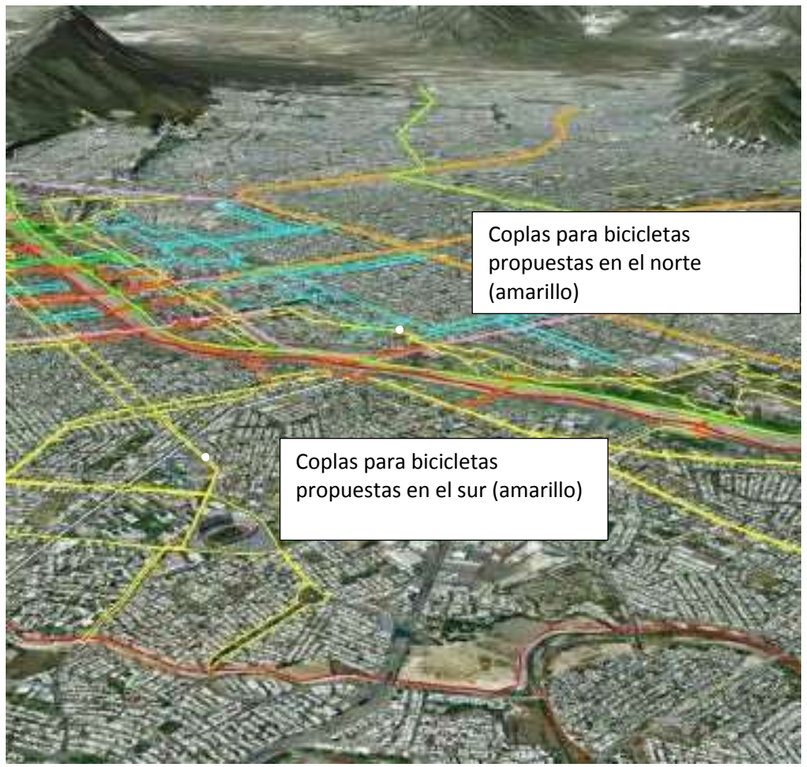
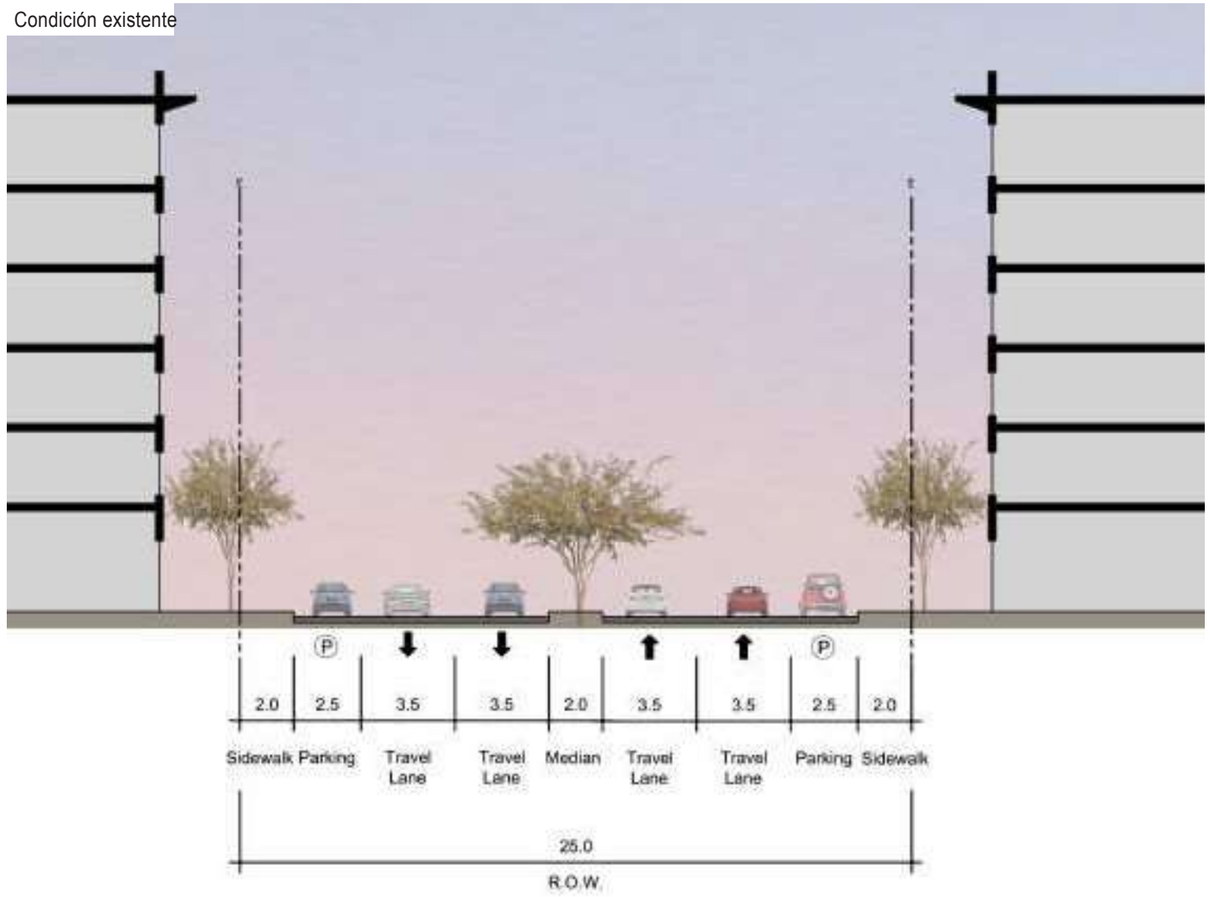


FIGURA 05.33 Vista Aérea: Red para bicicletas propuesta.

Condición existente



Condición propuesta

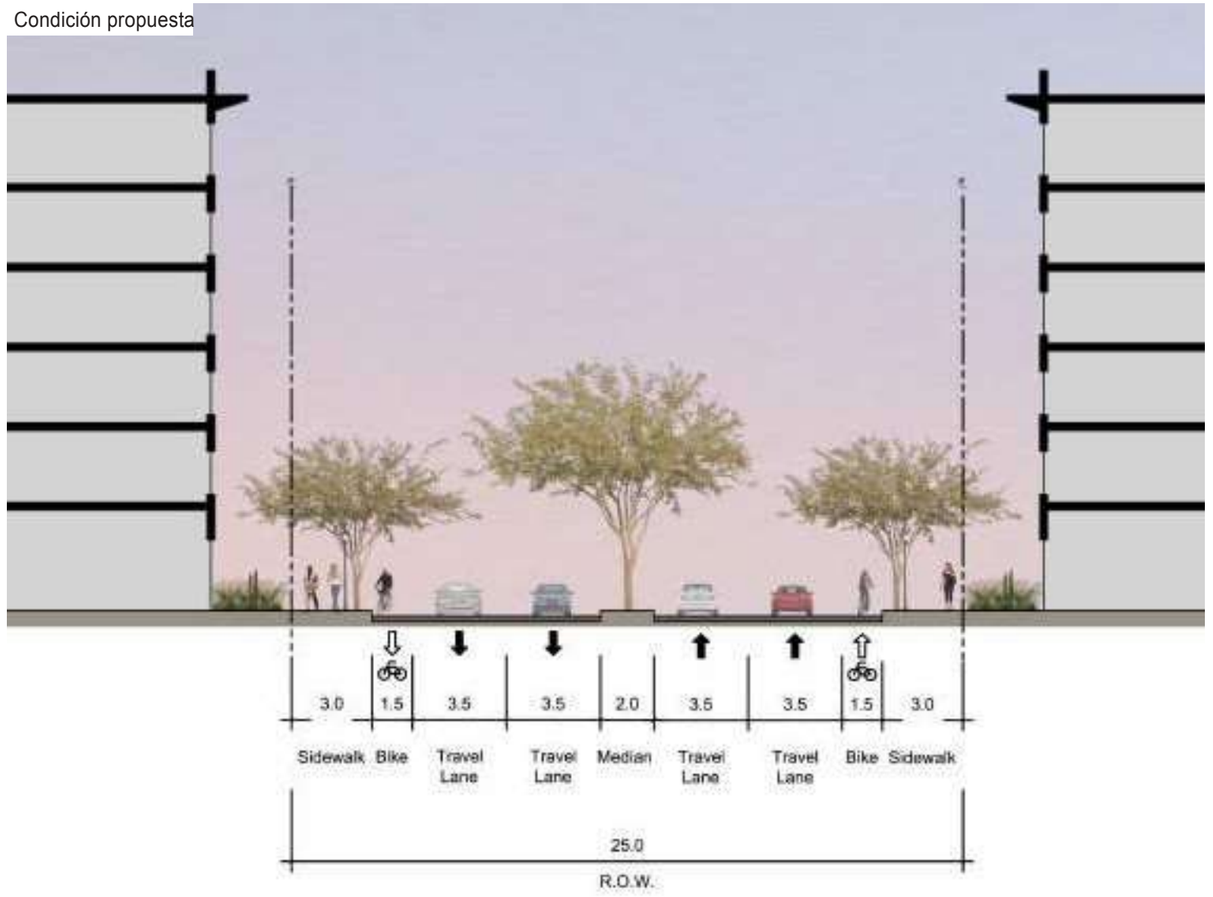
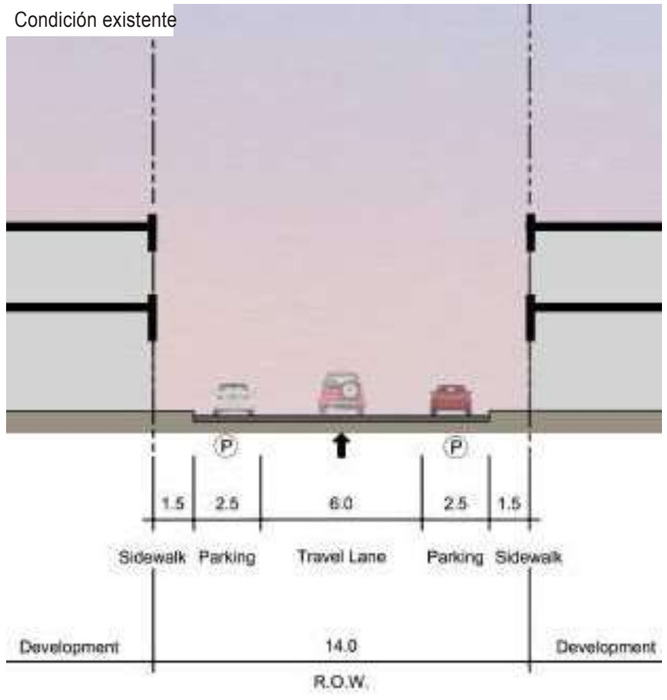


FIGURA 05.34 Secciones: 25 m de ancho de las condiciones existentes de la calle y propuesta de integración de rutas de bicicleta.

S12

Condición existente



Condición propuesta

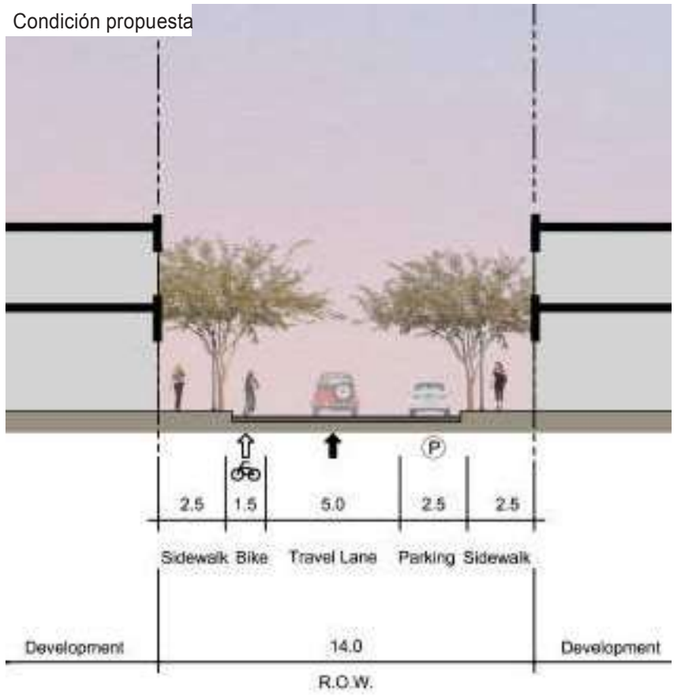


FIGURA 05.35 Secciones: 14 m de ancho condiciones existentes de la calle y propuesta de integración de rutas de bicicleta.

Alternativa 15.5 m ancho de calle

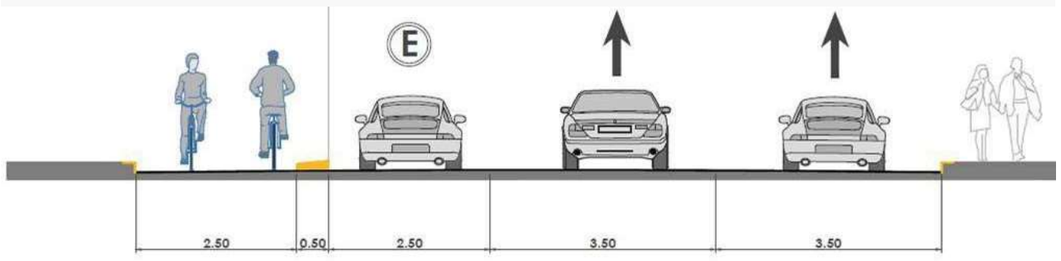


FIGURA 05.36 Sección: Propuesta alternativa para calles 15.5 m de ancho (min).

S13

Carril para Bicicletas Continuo sobre Lecho del Río

Escala: Ciudad
Categoría: Red para Bicicletas + Peatones

Estrategia 13
Carril para Bicicletas Continuo sobre Lecho del Río

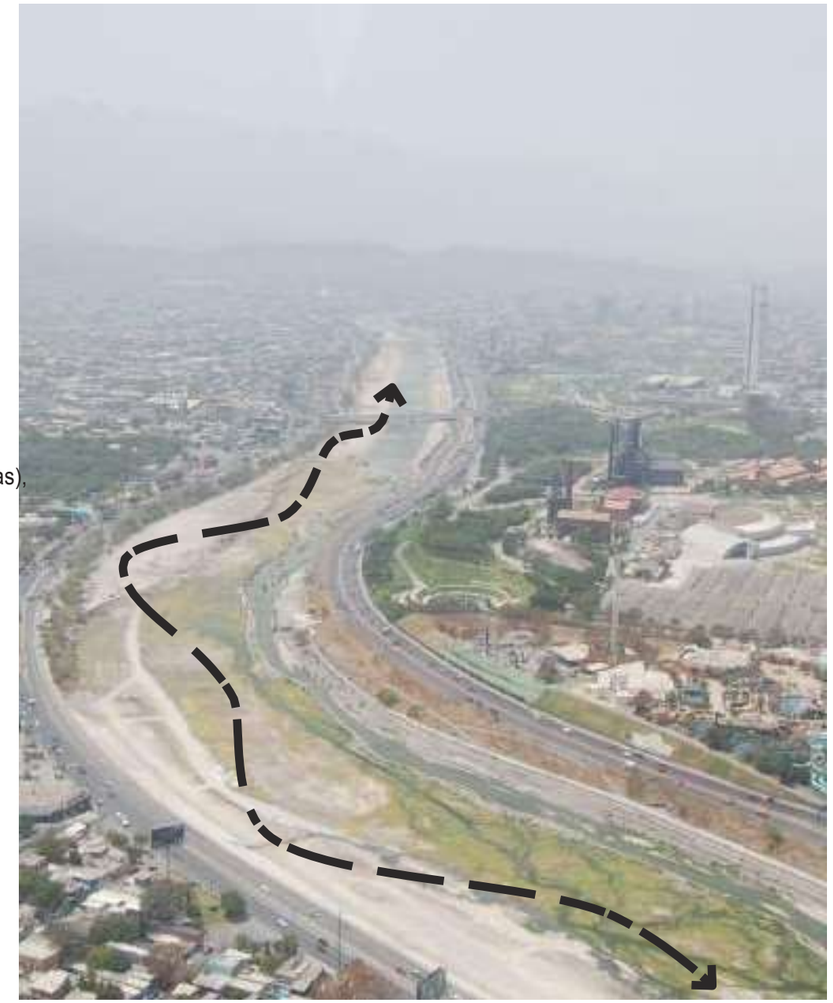
Propósito / Objetivo / Sub Estrategia

Esta estrategia propone el desarrollo de un carril continuo para bicicletas sobre el lecho del río, desde Santa Catarina (desde la presa Rompepicos o al menos desde la entrada a la Huasteca) hasta Juárez.

Esta ruta será utilizada por atletas de alto rendimiento, transportistas y ciclistas por recreación de largo alcance.

Características:

- Uso intermitente (no disponible durante la temporada de lluvias),
- Reconstruible después de un evento de tormenta grande
- Supuesto ciclo de vida de 5 a 20 años



Una ruta continua para largas distancias

S13

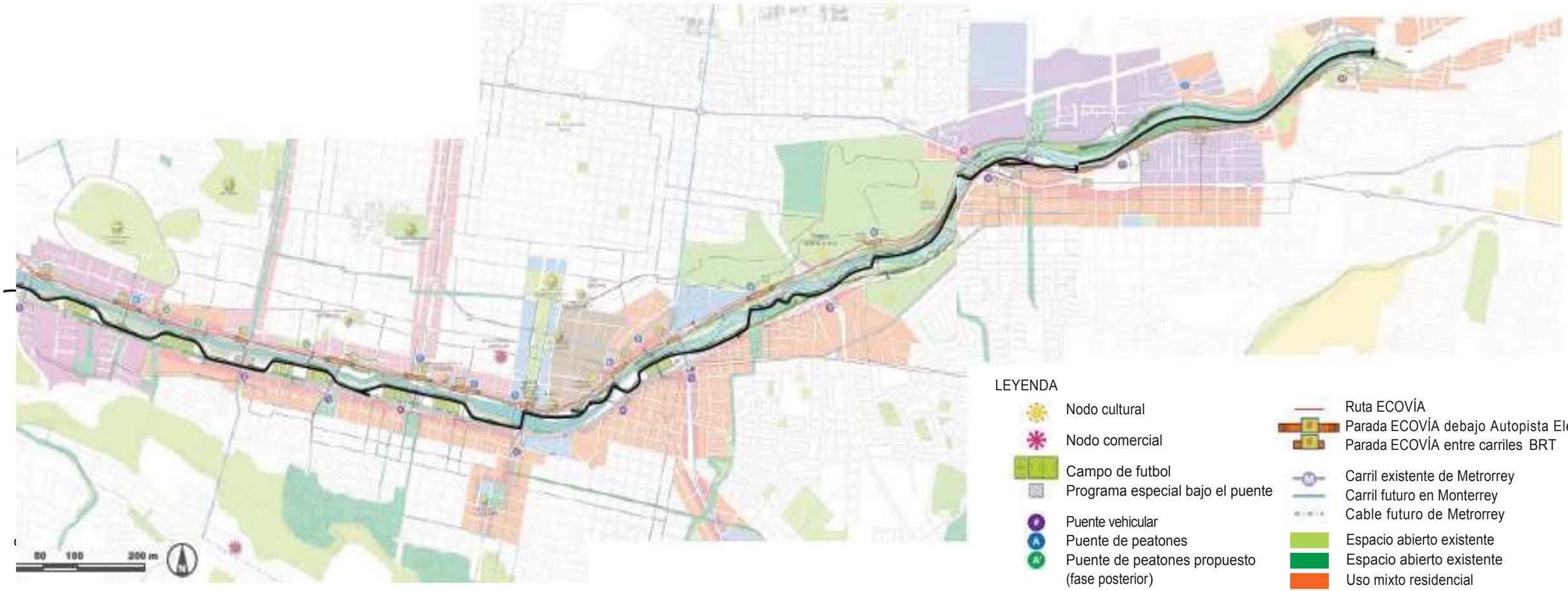


FIGURA 05.37 Plan Maestro: Un carril continuo para bicicletas a lo largo de la orilla del río.

FIGURA 05.38 Vista de perspectiva: Un camino continuo a lo largo de las orillas del río.

S14

Acceso directo al carril continuo para bicicletas

Escala: Ciudad
Categoría: Redes para bicicletas + Peatones

Estrategia 14
Acceso directo al carril continuo para bicicletas

Propósito / Objetivo / Sub Estrategia

Esta estrategia tiene como objetivo proporcionar múltiples puntos de acceso directo al carril continuo para bicicletas (Estrategia 13). Como mínimo se debe proporcionar un punto de acceso:

- Cada 3 Km en las zonas naturales del río;
- Cada 1 Km en las zonas cívicas y de parques de los ríos.

El número de obstáculos dentro del río y sus bancos debe ser minimizado mediante el uso de puentes vehiculares existentes que ya cuentan con carriles para peatones y bicicletas, tales como:

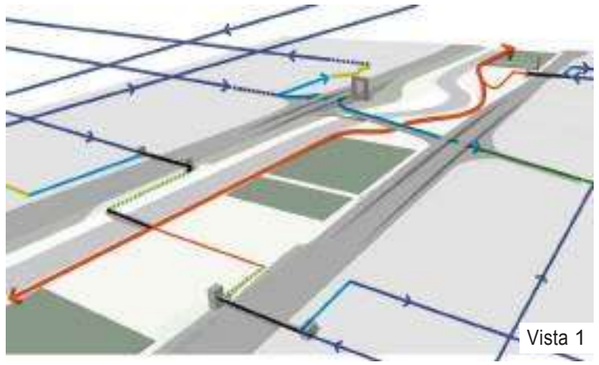
- Puente Pio X;
- Nuevo puente peatonal Zaragoza;
- Puente Pedro Martínez;
- Puente Churubusco; y
- Puente Constituyentes.

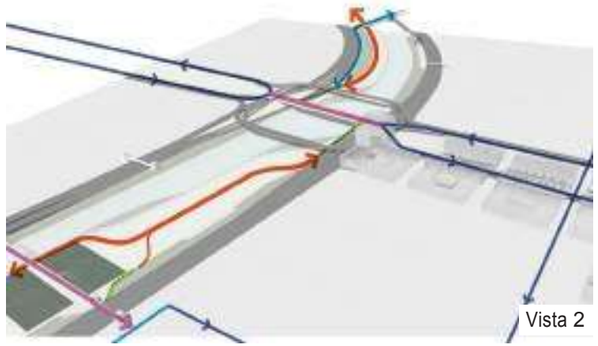
Los nuevos puntos de acceso deben ser diseñados como parte de los nuevos puentes peatonales Ecovía 2, sin embargo, se debe prestar enfoque en mejorar los puentes vehiculares existentes para agregar áreas dedicadas a peatones y vehículos. Como último recurso, se deben proponer nuevos puntos de acceso en otras ubicaciones.

Precedentes: Puntos de acceso y puentes para bicicletas.

FIGURA 05.39 Diagrama: Los nuevos puentes existentes, planificados y propuestos deben proporcionar acceso al carril continuo para bicicletas.

S14


Vista 1


Vista 2

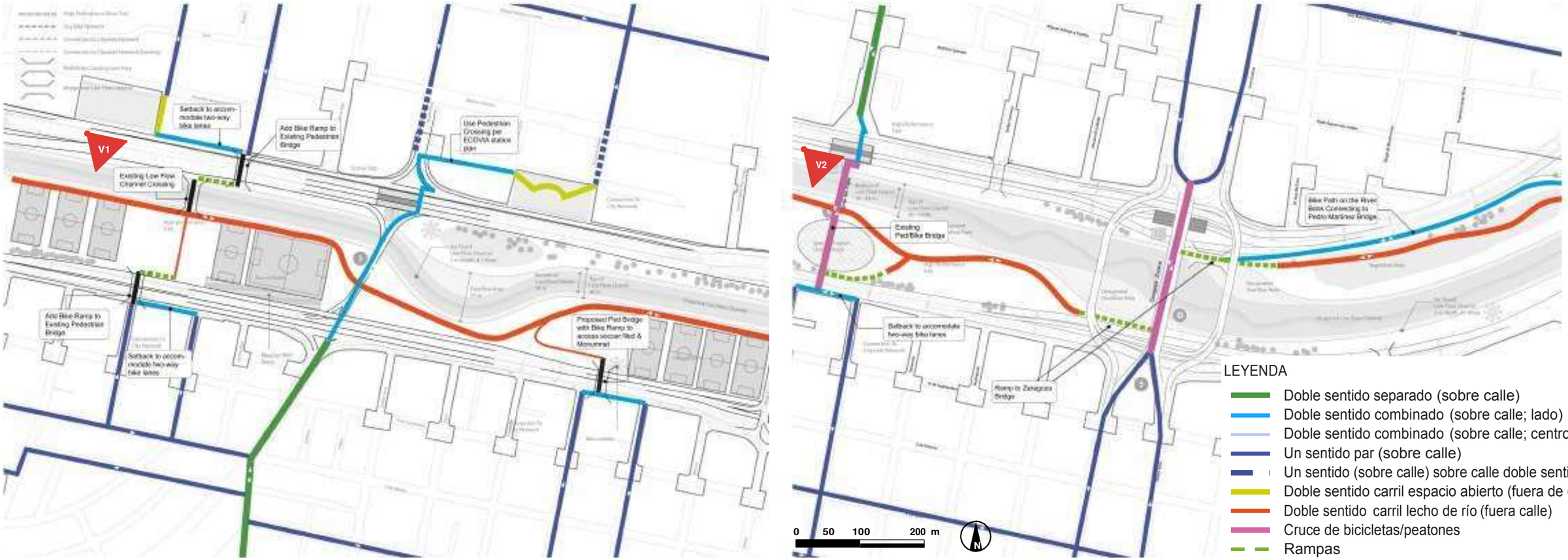
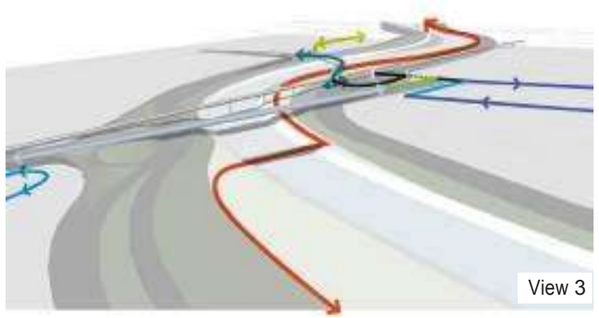
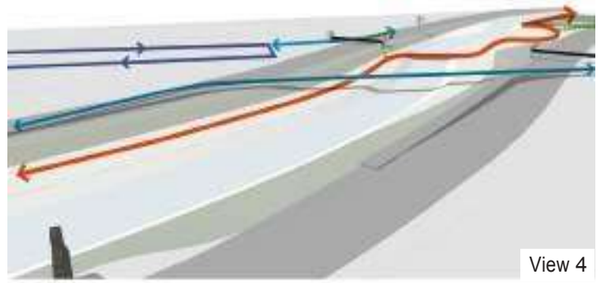


FIGURA 05.40 Diagrama: Pío X acceso a carril continuo para bicicletas.

FIGURA 05.41 Diagrama: Zaragoza acceso a carril continuo para bicicletas.





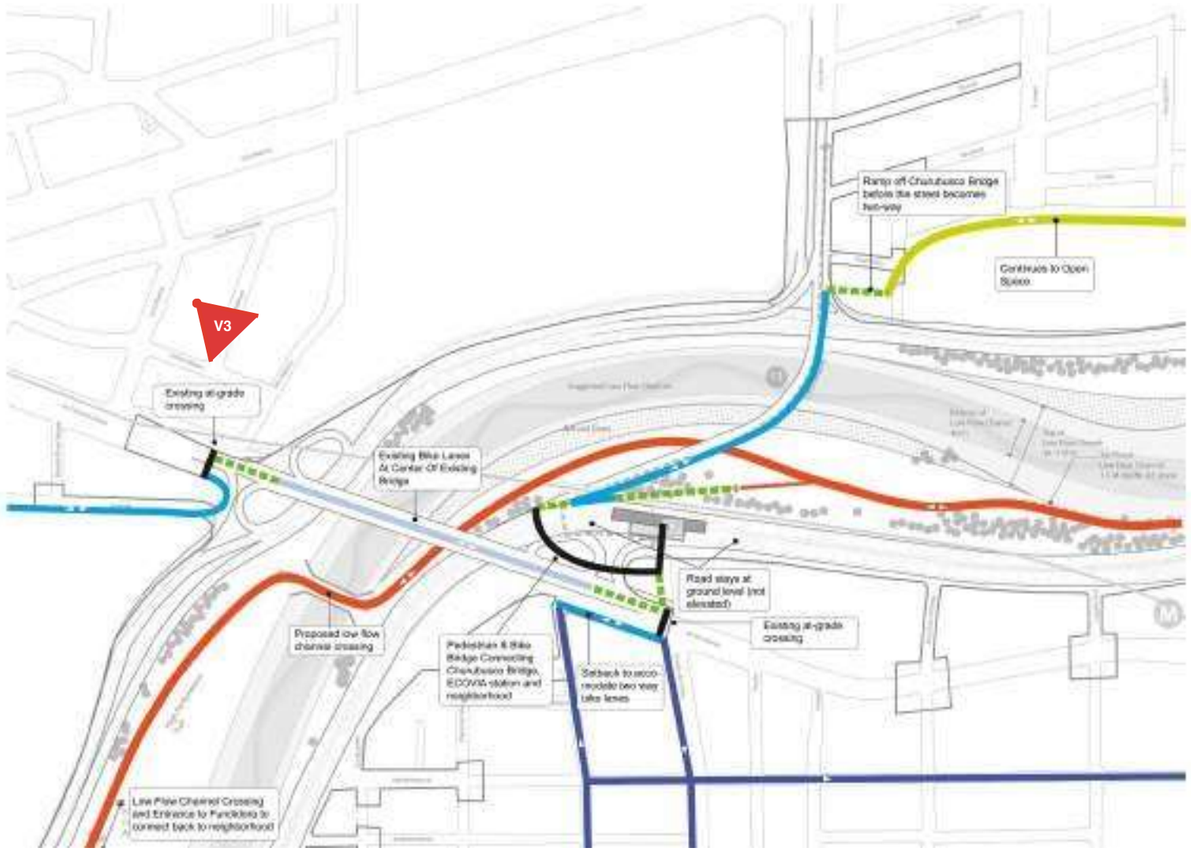


FIGURA 05.42 Diagrama: Churubusco acceso a carril continuo para bicicletas

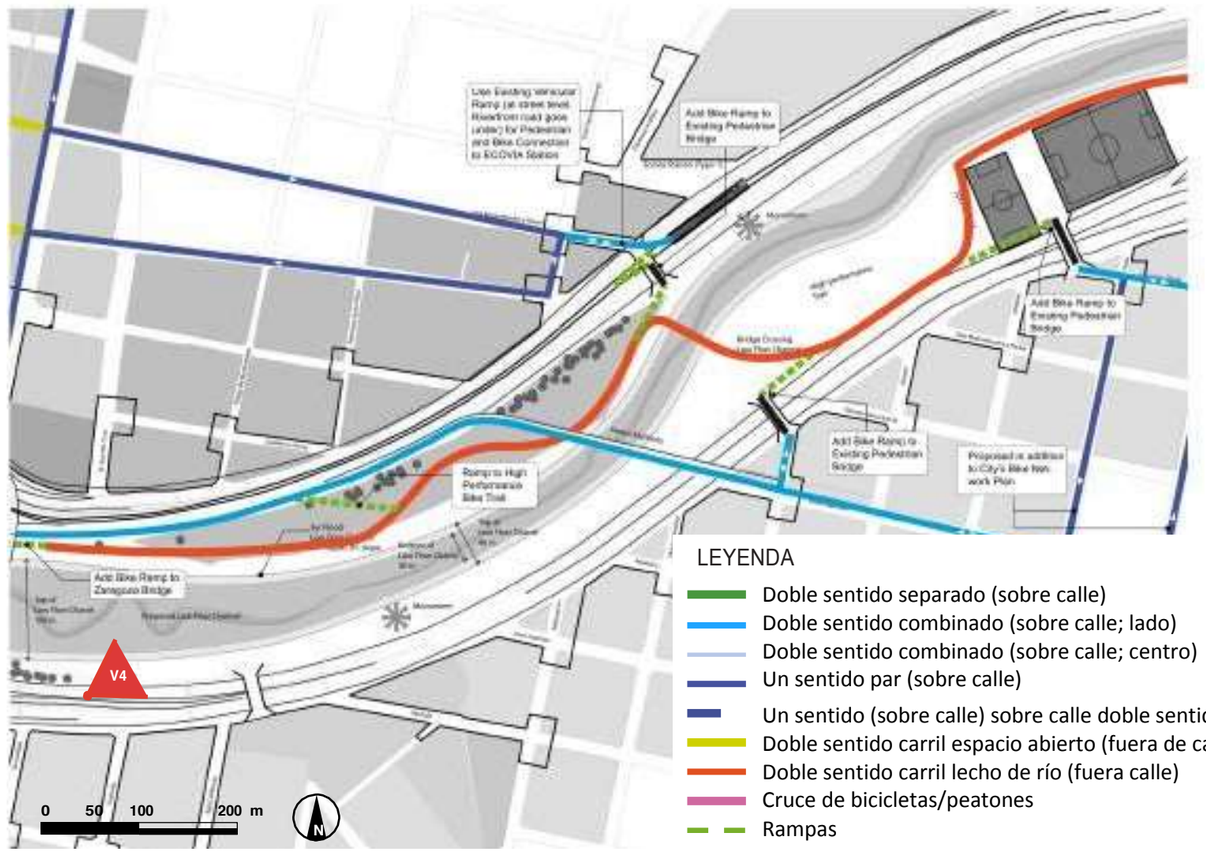


FIGURA 05.43 Diagrama: Pedro Martinez acceso a carril continuo para bicicletas

S14

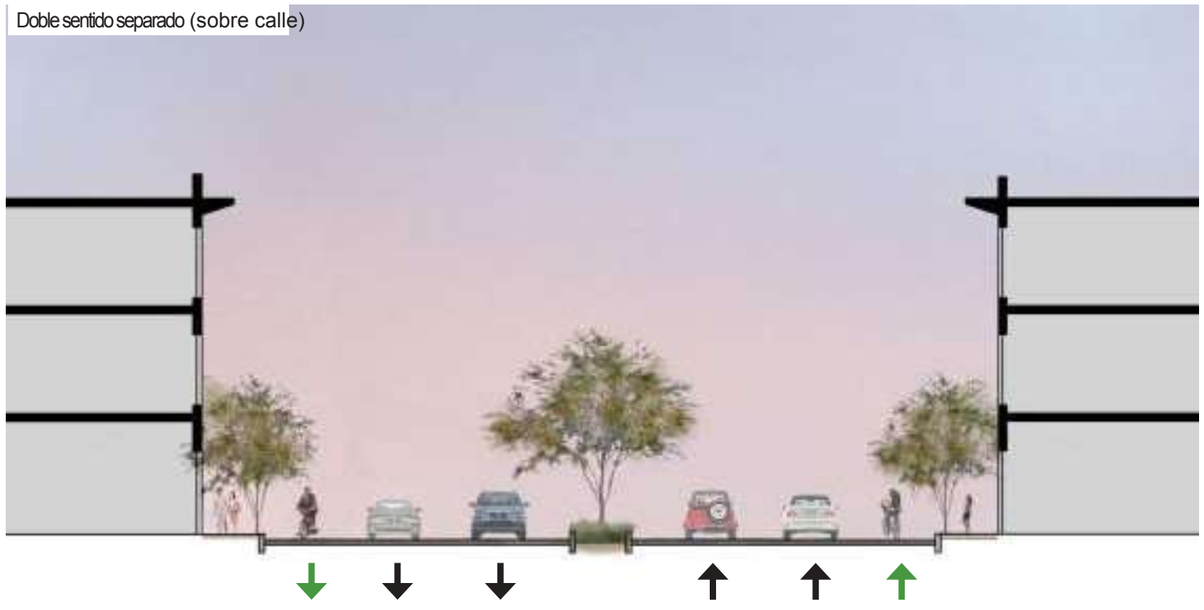
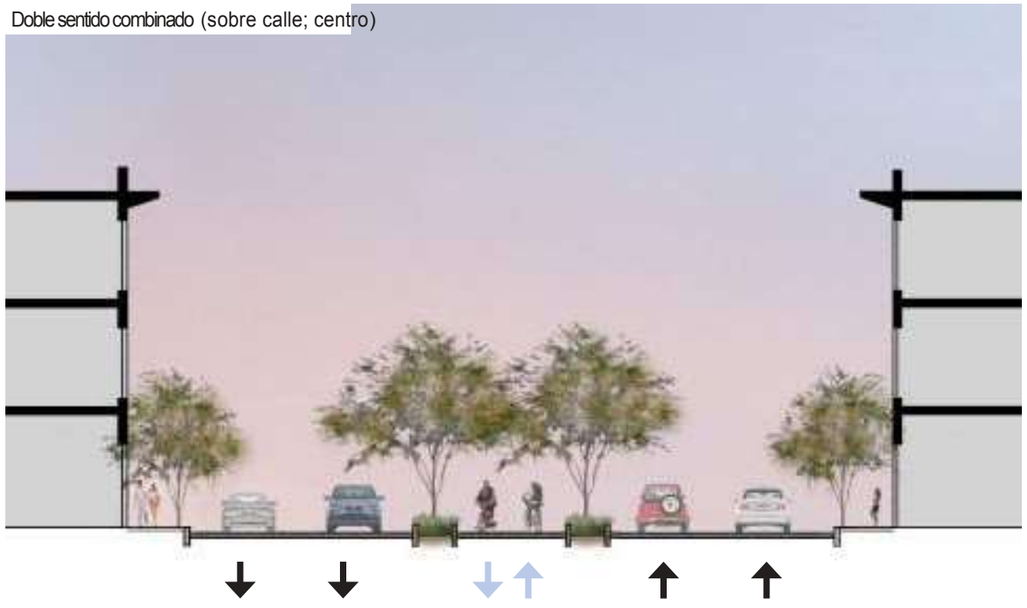
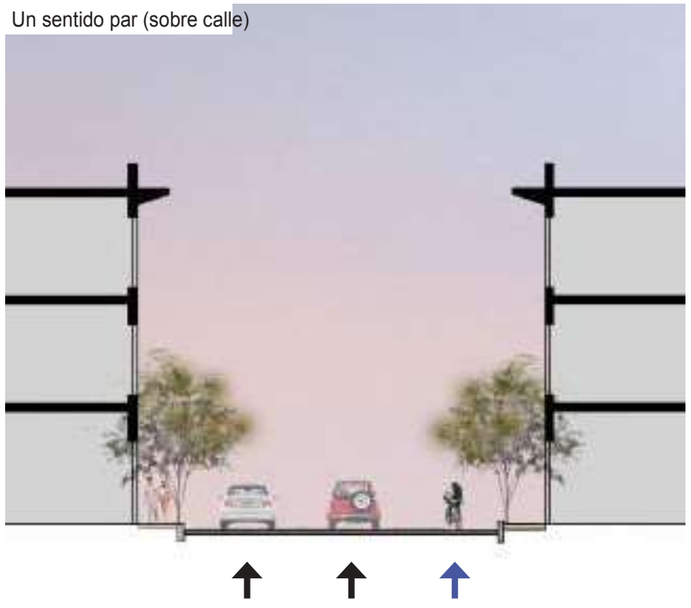


FIGURA 05.43 Secciones: Integración de coplas para bicicletas.

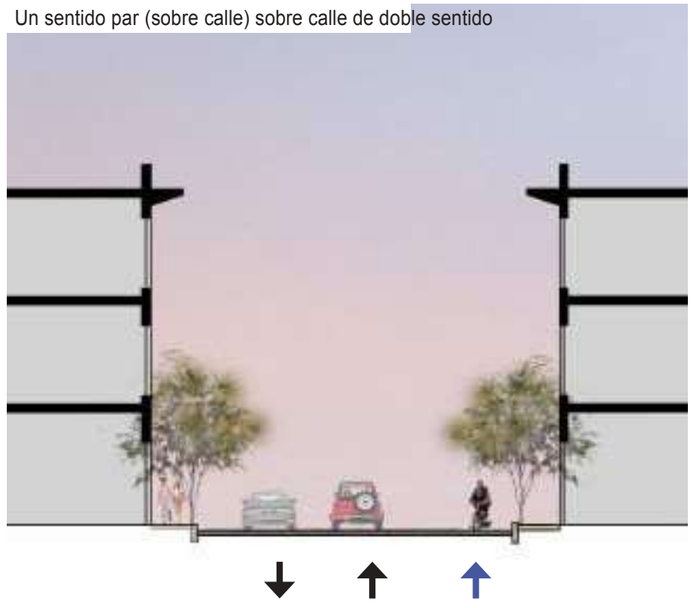
Doble sentido combinado (sobre calle; centro)



Un sentido par (sobre calle)



Un sentido par (sobre calle) sobre calle de doble sentido



S14

Un plan de tres años propone la implementación de un carril continuo enlazado a una red de rutas para bicicletas y senderos para caminar por toda la ciudad. Los puentes existentes y planificados deben ser adaptados para proporcionar acceso a este carril.

FIGURA 05.44 Vista de perspectiva: implementación del plan a 3 años

S15

De carril de tráfico a camino peatonal

Escala: Ciudad
Categoría: Redes para ciclistas + Peatones

FIGURA 05.45 A Vista Aérea: Propuesta de camino peatonal integrado para red de bicicletas y de BRT.

Precedente: Paseo de Gracía, Barcelona. Fuente: Wikipedia.

Estrategia 15
De carril de tráfico a camino peatonal

Propósito / Objetivo / Sub Estrategia

Esta estrategia propone la conversión de un carril de tráfico (de Constitución o Morones Prieto) a un camino peatonal, por el lado de la ciudad (acera norte sobre Constitución, acera sur sobre Morones Prieto). Los objetivos de esta estrategia son:

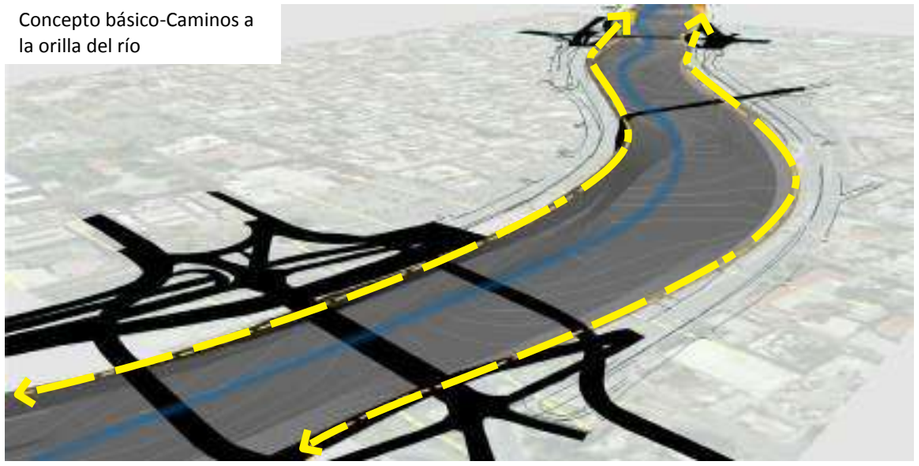
- Mejorar la circulación peatonal donde el área del banco del río es limitada; y
- Mejorar la "fachada urbana" y la circulación peatonal en los vecindarios adyacentes al corredor.

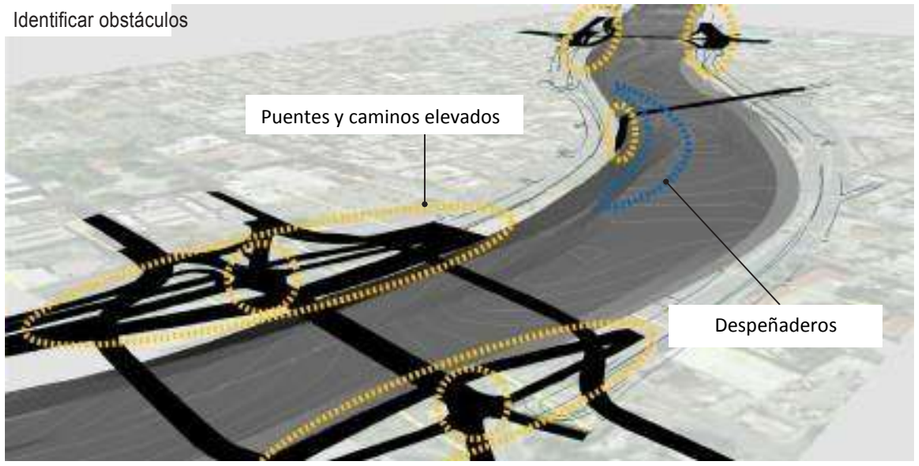
Esta estrategia debe llevarse a cabo de manera selectiva y no intrusiva, eliminando, en la medida de lo posible, los obstáculos y adaptándose a las condiciones existentes.

S16

Capacidad de recuperación tras inundaciones en corrientes afluentes

Escala: Ciudad
Categoría: Redes para bicicletas + Peatones





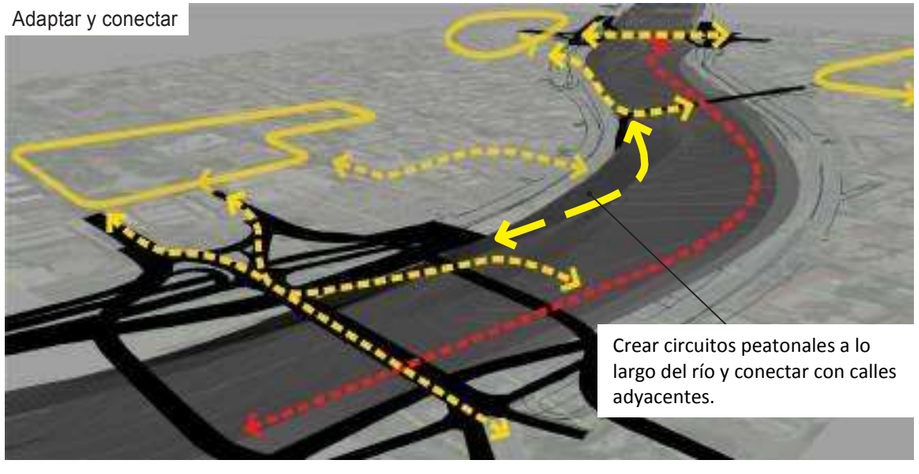


FIGURA 05.46 Diagramas: Los circuitos peatonales vecinales ayudan a minimizar la extensión del camino al lado del río requerido y preservan el principio general de conectividad de un camino al lado del río continuo.

Precedente: Calle residencial, Portland. Fuente: Kevin Perry.
Adaptar los circuitos de peatones vecinales existentes para preservar la conectividad.

Estrategia 16
Circuitos Peatonales del Vecindario para Minimizar Caminos a la Orilla del Río

Propósito / Objetivo / Sub Estrategia

La Estrategia 16 propone el diseño de circuitos peatonales o redes que alimenten cada zona de la estación de Ecovía 2 y sus vecindarios adyacentes, eliminando y/o minimizando el camino a la orilla del río cuando el acceso a él no sea necesario o sea demasiado difícil.

Las vías peatonales y ciclistas también deben ser proporcionadas dentro de la zona de influencia del corredor y las aceras existentes y de las calles paralelas a Constitución o Morones deben ser mejoradas.

S17

Zonas del Río

Escala: Ciudad
Categoría: Red de Espacio Abierto

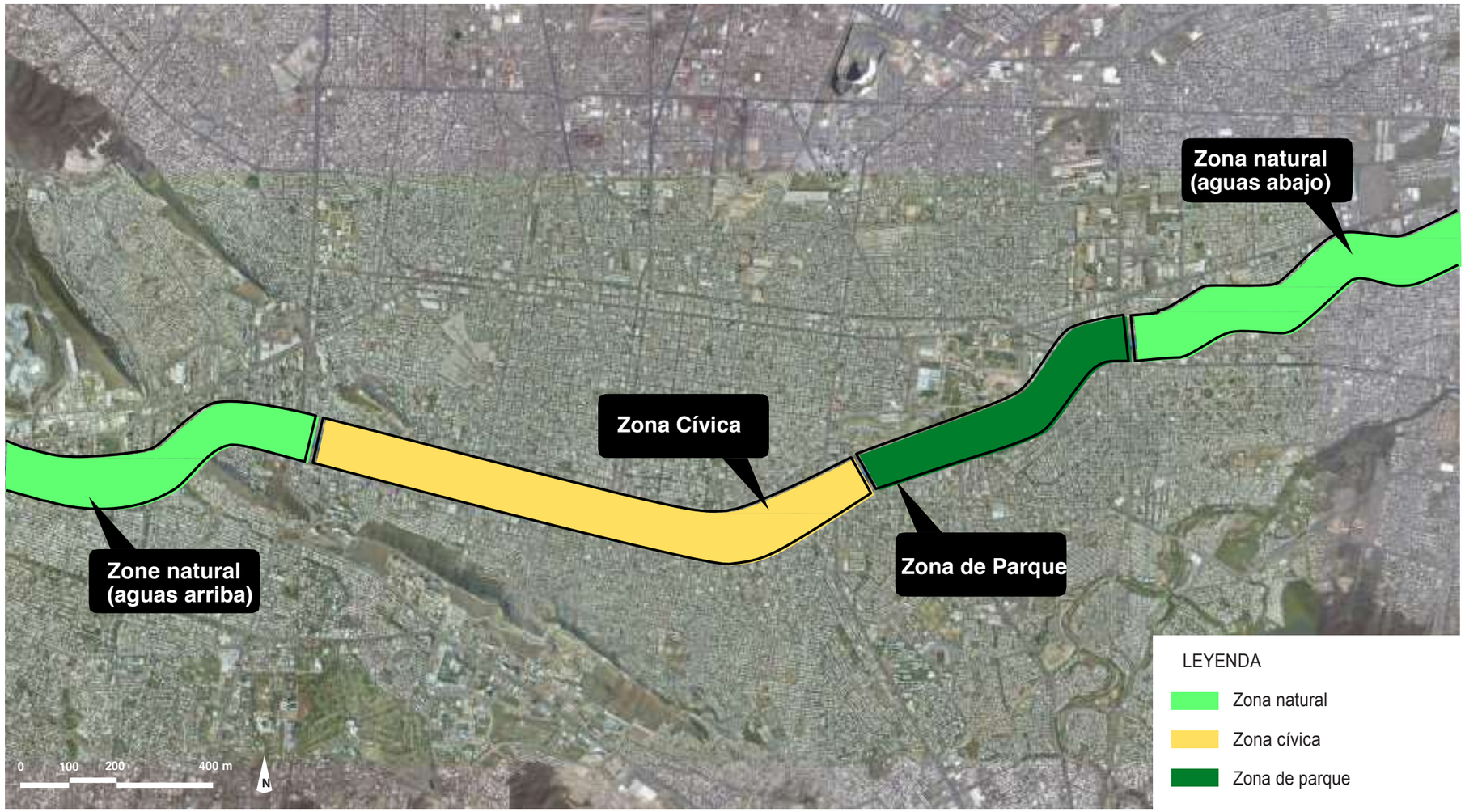


FIGURA 05.47 Diagrama: 4 Zonas del Río

Estrategia 17 Zonas del Río

Propósito / Objetivo / Sub Estrategia

El corredor del Río Santa Catarina expresa cuatro zonas distintas a medida que cruza la ciudad de Monterrey. Celebrar sus tipos de características únicas contribuirá a crear un sentido de lugar, maximizará la vocación natural de cada segmento y minimizará los impactos negativos en el desarrollo. Las zonas hidrográficas identificadas son:

- Natural (aguas arriba)
- Cívica/recreativa
- Parque
- Natural (aguas abajo)

Los nuevos desarrollos deben preservar y mejorar las características de cada zona a través de estrategias espaciales y el uso de plantación y materiales.

S18

Columna Verde Central

Escala: Ciudad
Categoría: Red de Espacio Abierto

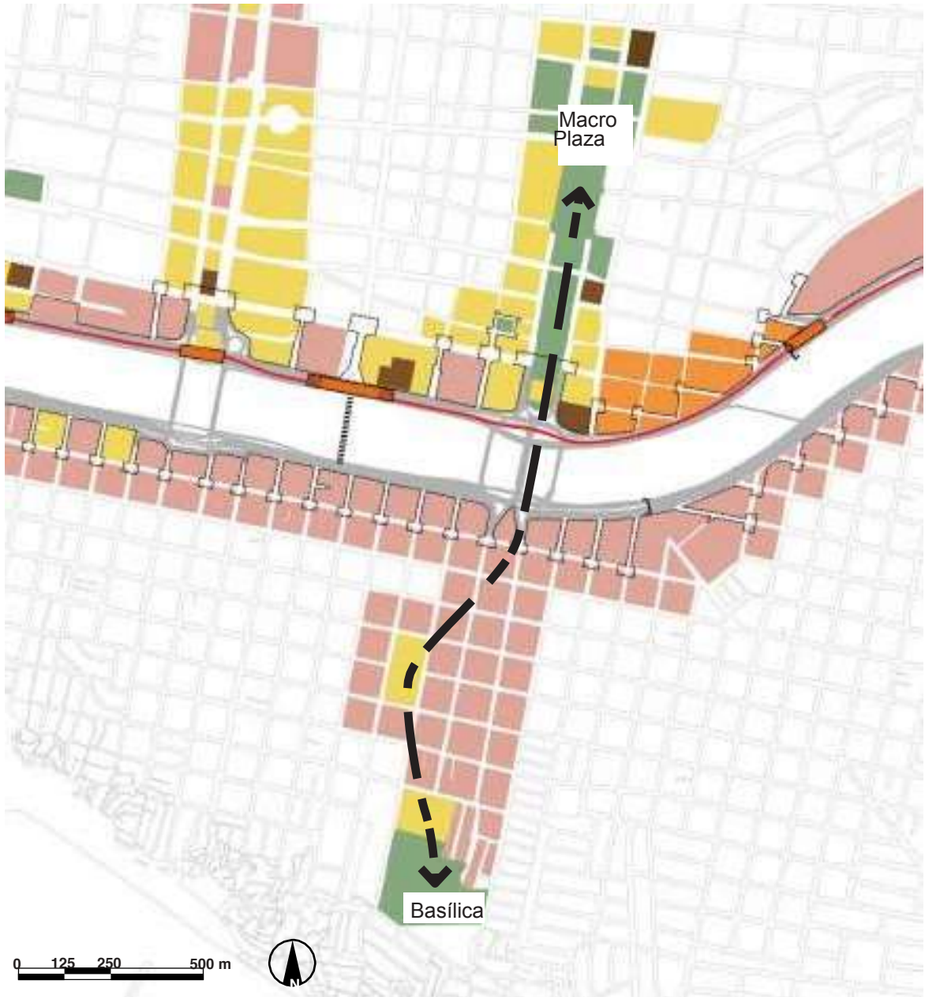


FIGURA 05.48 Diagrama: Oportuindad para conectar 2 destinos principales.

FIGURA 05.49 Diagrama: La estrategia crea oportunidades para nuevos desarrollos.

Estrategia 18: Columna Verde Central

Propósito / Objetivo / Sub Estrategia

Dos de los principales destinos de la ciudad se sitúan a lo largo del río formando un importante eje cultural. La oportunidad es conectar estos dos destinos encajonando una columna verde central y conectando la Macroplaza con la Basílica de Guadalupe (sección Independencia) y Valle Oriente vía Loma Larga.

Como sub estrategias, se sugieren las siguientes acciones:

- Mejorar y restaurar la cresta de la colina Loma Larga, convirtiéndola en una zona de preservación donde sólo sea aceptable la recreación pasiva y se prohíba cualquier desarrollo;
- Reestructurar el resto de la columna, transformando los bloques centrales de la ciudad en proyectos de usos múltiples y de media a alta densidad, enfatizando el papel de la nueva columna como catalizador para la regeneración de la zona Independencia;
- Regenerar la "fachada urbana" del río, mejorando y/o cambiando los usos de la tierra y los edificios que flanquean esta zona de Morones Prieto.

S18

Plan Ilustrativo

Vista aérea 1

Vista aérea 2

FIGURA 05.50 Vista del concepto: Plaza frente a la Basílica de Guadalupe.

Precedente: Bryant Park, New York.

FIGURA 05.51 *Vista de Concepto: Plaza frente a la Basílica de Guadalupe.*

S19

Sistemas Verdes + Azules

Escala: Ciudad
Categoría: Red de Espacio Abierto

Precedentes: Sistemas Verdes + Azules, gestión de tormentas y áreas de retención

Estrategia 19
“Sistemas Vedes + Azules”

Propósito / Objetivo / Sub Estrategia

Esta estrategia pretende crear una serie de "sistemas verdes + azules" a lo largo de las vías de drenaje naturales y afluentes del Río Santa Catarina.

Los sistemas verdes serán diseñados como conectores urbanos para los peatones y la vida silvestre que incorporan sistemas "Azules" de transporte de aguas pluviales y áreas de retención. Las directrices de toda la ciudad podrían ayudar a que los nuevos desarrollos hagan aportaciones positivas a esta estrategia.

S20

Parches Verdes

Escala: Ciudad
Categoría: Red de Espacio Abierto

Precedente: Introducción y preservación de parches verdes.

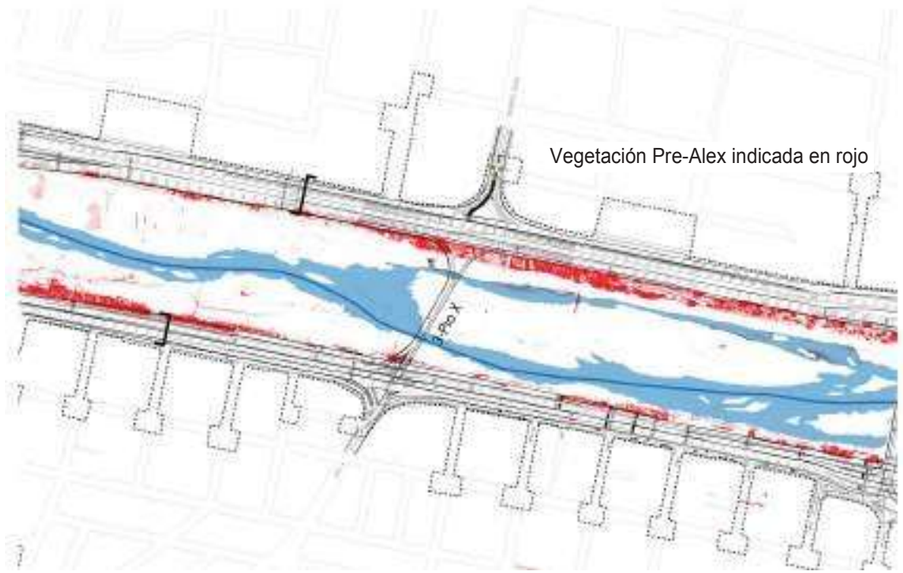
Estrategia 20 Parches Verdes

Propósito / Objetivo / Sub Estrategia

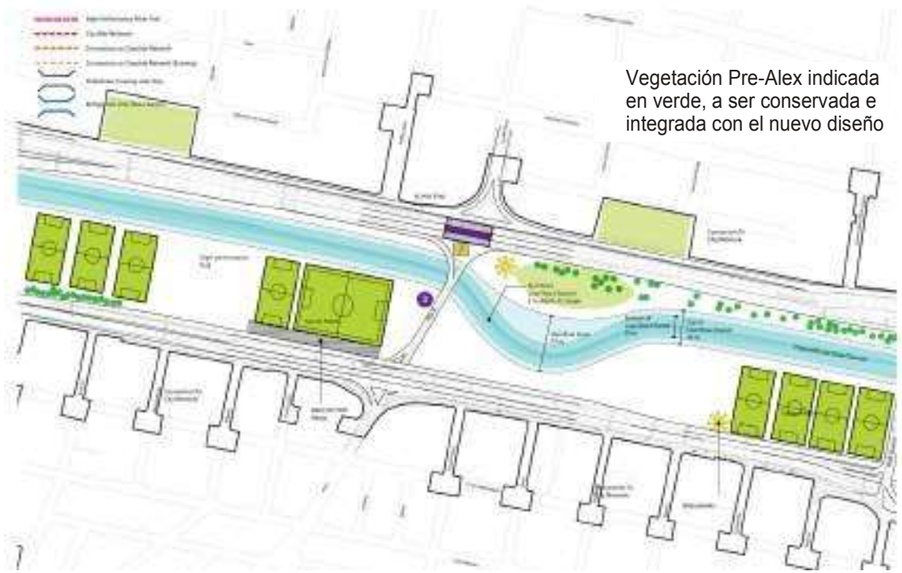
Esta estrategia tiene como objetivo preservar y/o insertar "parches verdes" en los bancos del Río Santa Catarina.

Se han identificado las siguientes sub-estrategias:

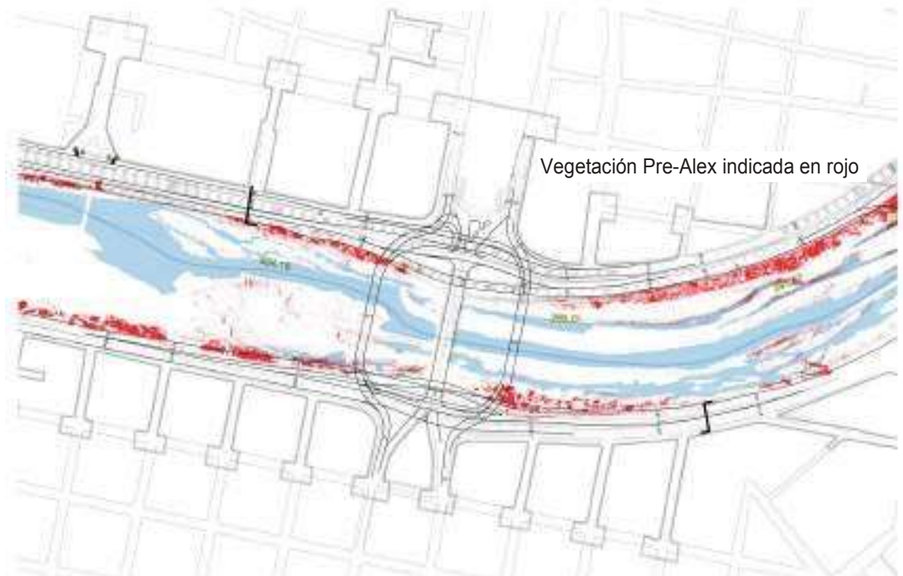
- Evitar plantar nuevos árboles dentro de la calzada del río, siguiendo las recomendaciones de la CONAGUA de mantener un coeficiente de rugosidad bajo;
- Preservar los parches existentes de vegetación que sobrevivieron al huracán Alex, especialmente en el banco sur del río. Es nuestro entendimiento que la CONAGUA no puede solicitar la remoción de árboles maduros existentes;
- Diseñar una estrategia de plantación que se base en los parches existentes, evitando la plantación formal de árboles y creando una secuencia más natural; y
- Promover el uso de vegetación nativa adaptada a la región, con bajos requerimientos de riego y que contribuya a la creación de nuevos hábitats.



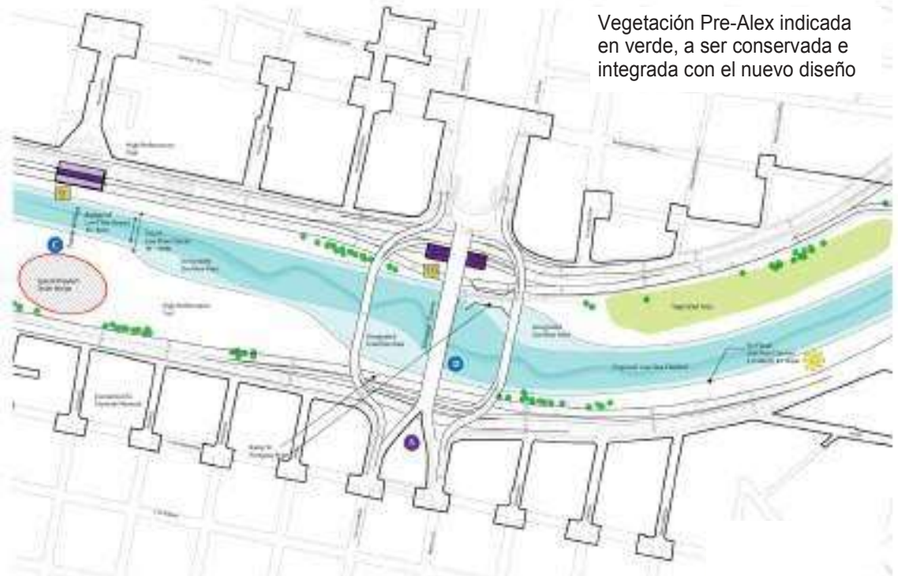
Área de Prioridad 1: Puente Pío X



Área de Prioridad 1: Puente Pío X

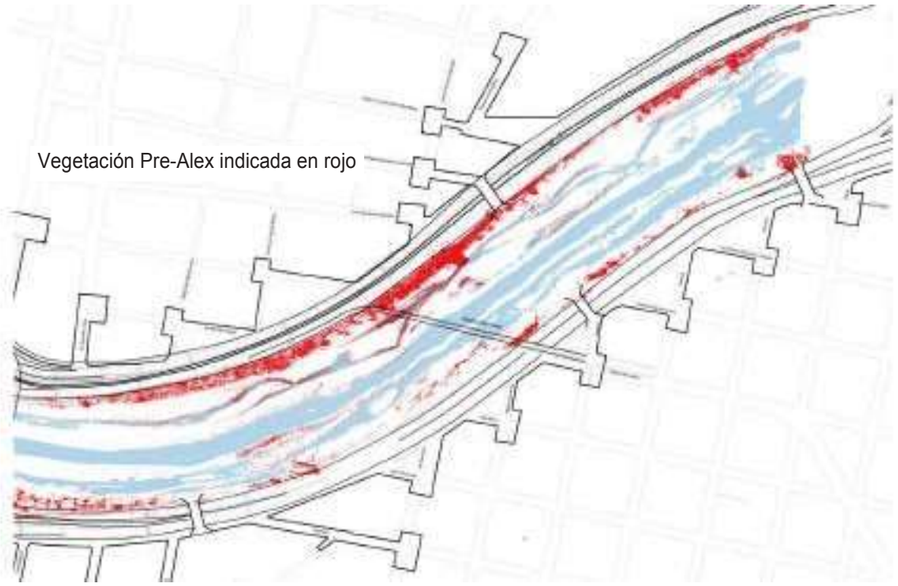


Área de Prioridad 2: Nuevo Puente Zaragoz

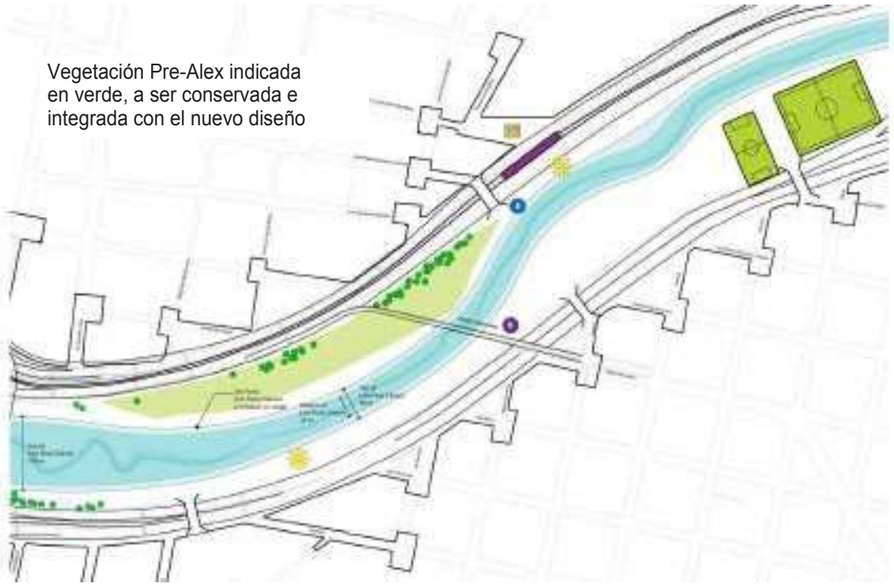


Área de Prioridad 2: Nuevo Puente Zaragoza

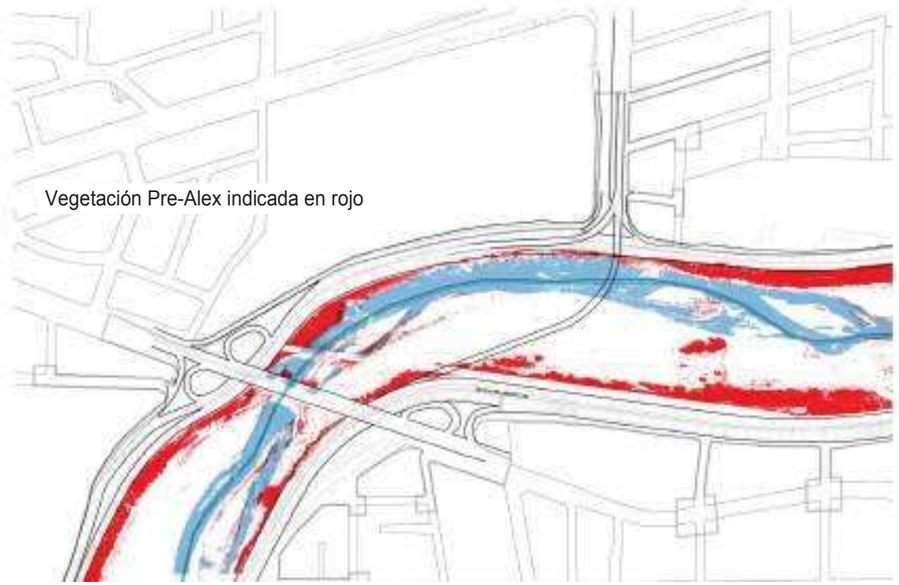
FIGURA 05.52 Análisis de parches verdes existentes (Pre-Alex) y propuesta de integración con nuevos diseños en áreas prioritarias



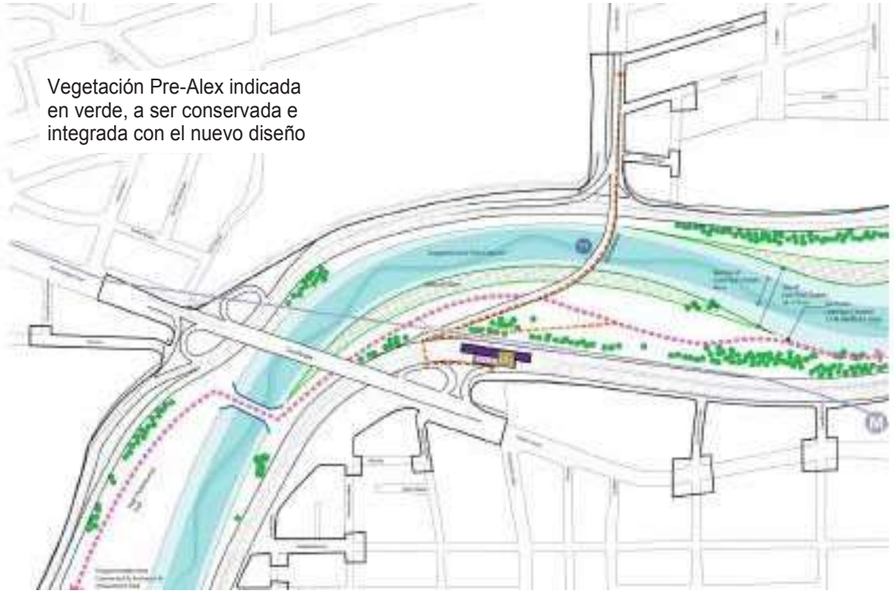
Área de Prioridad 3: Puente Pedro Martínez



Área de Prioridad 3: Puente Pedro Martínez



Área de Prioridad 4: Puente Churubusco



Área de Prioridad 4: Puente Churubusco

S21

Humedales/zonas de retención bajo puentes existentes

Escala: Ciudad
Categoría: Red de Espacio Abierto

Estrategia 21
Humedales/zonas de retención bajo puentes existentes

Propósito / Objetivo / Sub Estrategia

Se crearán nuevos humedales / zonas de retención bajo puentes existentes donde se necesite capacidad adicional de canal de bajo flujo y el acceso de peatones sea limitado.

Las zonas de retención deben estar diseñadas para aumentar la capacidad de canales de bajo caudal en áreas clave comprometidas, como debajo del puente Gonzalitos y el nuevo puente triple Zaragoza.

A fin de asegurar la supervivencia de las especies de humedales y aprovechar la posible creación de hábitat, se debe maximizar la afluencia constante de agua existente y utilizar especies nativas adaptadas a un hábitat ribereño.

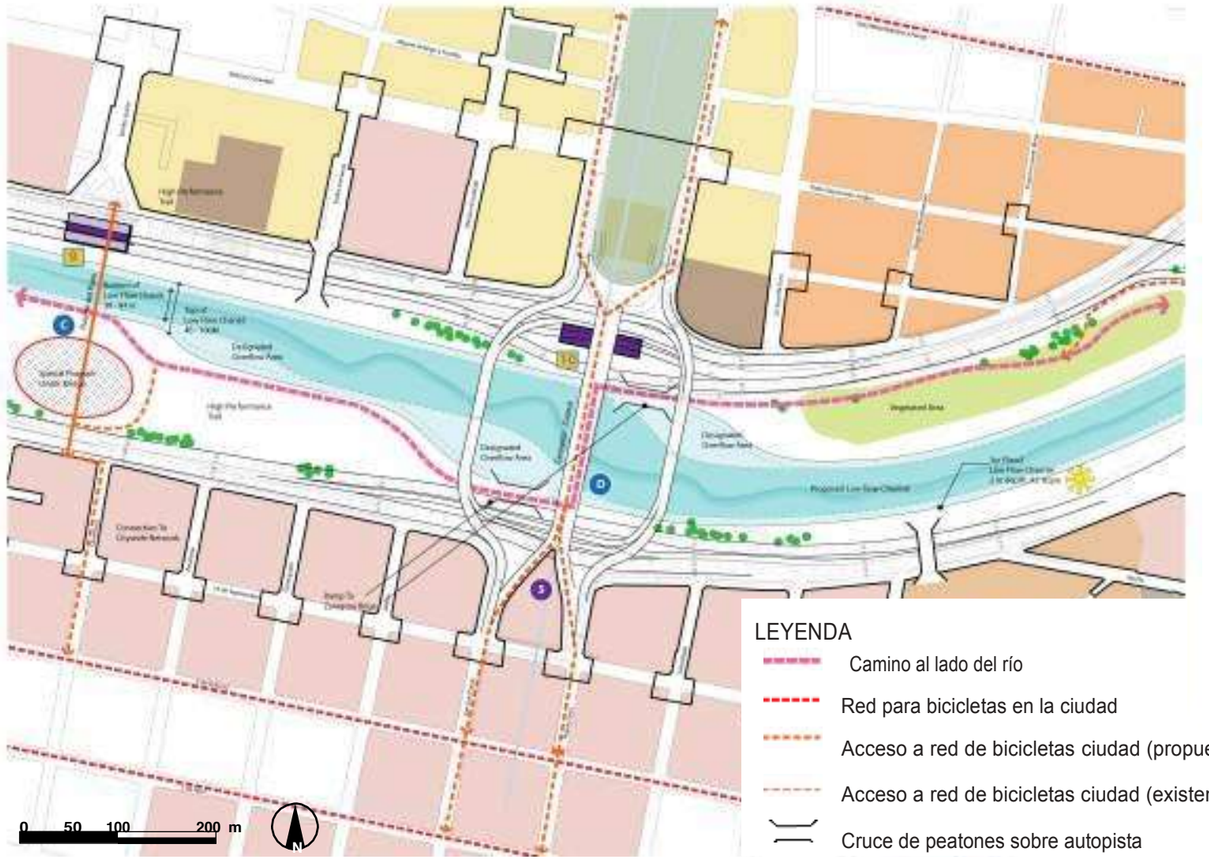


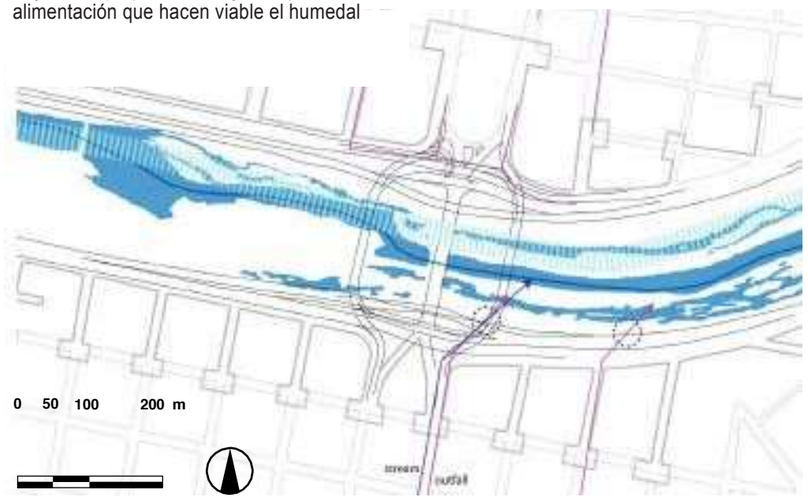
FIGURA 05.53 Diagrama: Propuesta de integración de humedales bajo el actual puente Zaragoza.

Alineación original del canal de agua

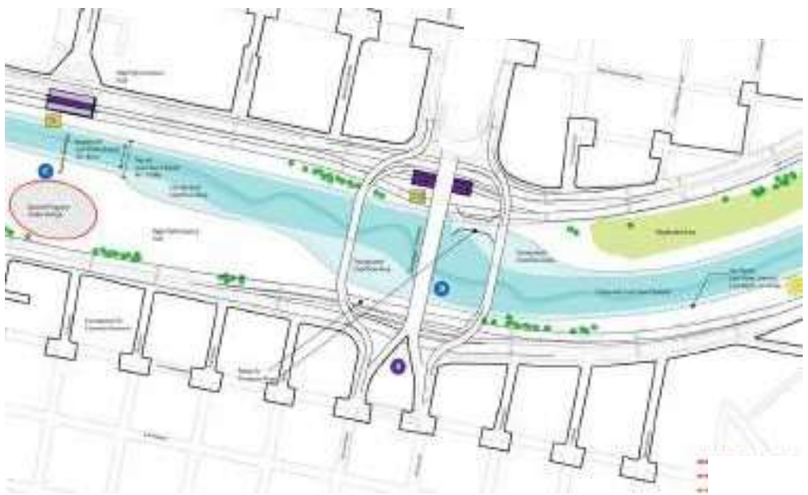
Velocidad del agua mapeada (retorno de 3 años)

Trayecto del flujo de agua post-Alex

Trayectoria de un flujo bajo post-Alex y nueva trayectoria propuesta incluyendo puntos de alimentación que hacen viable el humedal



Propuesta de retención y zona de humedales



Propuesta de retención y zona de humedales

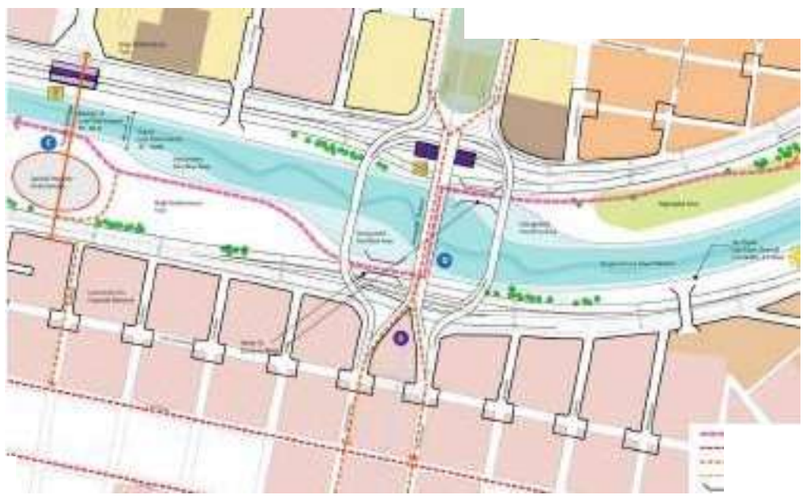


FIGURA 05.54 *Análisis del flujo de agua y desarrollo del diseño para integrar la vegetación existente y crear una zona húmeda bajo el puente Zaragoza.*

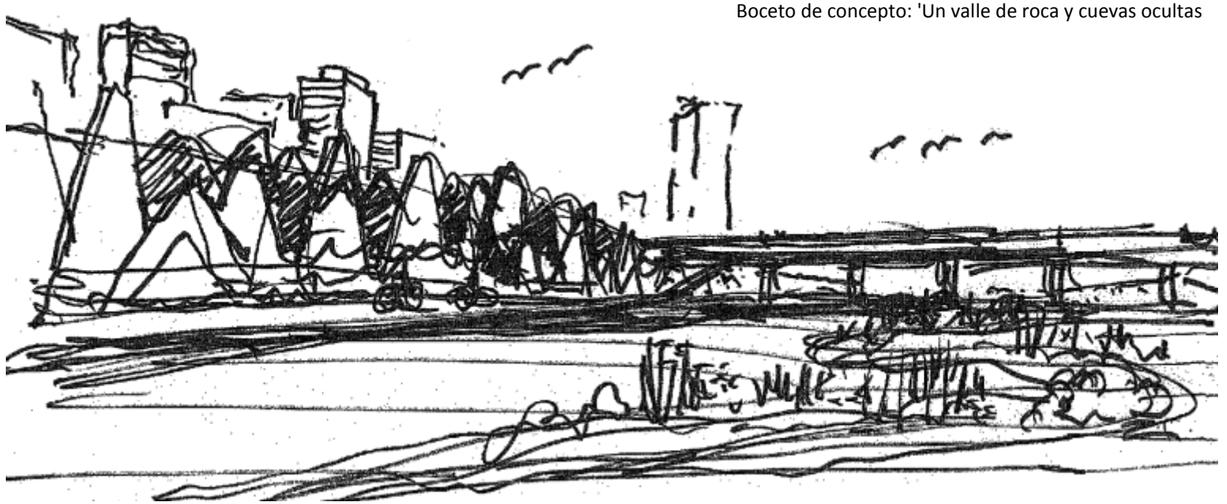
S21

FIGURA 05.55 Vista de Concepto: Nueva zona de humedales bajo el puente Zaragoza.

S22

Muros de los bancos de río + pendientes con características nativas

Escala: Ciudad
Categoría: Red de Espacio Abierto



Boceto de concepto: 'Un valle de roca y cuevas ocultas

Muros verdes de contención

Terrazas plantadas

Terrazas plantadas

Estrategia 22
Muros de los bancos de río + pendientes con características nativas

Propósito / Objetivo / Sub Estrategia

Los diversos muros y pendientes a lo largo de las orillas del río deben estar diseñados para funcionar como muros verdes e integrar instalaciones públicas tales como gradas, asientos, escaleras, rampas o refugio.

Además de proporcionar un ambiente estéticamente agradable en forma de acceso integrado y jardines verticales con características nativas, los bancos ayudarán a controlar la erosión y disipar las salidas de aguas pluviales.

Las características de estos muros deben ayudar a establecer una característica icónica del paisaje para el corredor del río.

Inspiración de formas naturales aplicadas al tratamiento de superficies verticales.

S22

FIGURA 05.56 Diagramas: Áreas prioritarias - Muros de contención y pendientes de características nativas.

S23

Diseño de Canal de Flujo Bajo

Escala: Corredor del río
Categoría: Lecho de río + canal de flujo bajo

Estrategia 23
Diseño de Canal de Flujo Bajo

Propósito / Objetivo / Sub Estrategia

La Estrategia 23 propone el diseño del canal de bajo caudal utilizando principios que favorecen o imitan la forma apropiada natural del canal dentro del lecho del río.

Sub estrategias:

- Diseñar el canal de bajo caudal en zonas de pendiente más pronunciada con un formato de canal trenzado.
- Diseñar las zonas del canal de bajo caudal donde las características físicas sugieren un formato de flujo serpenteante.

Composición del Canal

Uno de los objetivos del proceso de planificación maestral era mantener un canal de caudal bajo en el lecho del canal del río a través de la ciudad para proporcionar el drenaje de flujos más frecuentes (más bajos) mientras se permitiera que continuara la recreación y otros usos de la tierra en partes de elevación más altas del lecho del río. El canal de caudal bajo necesita imitar el patrón hidráulico natural del canal existente; de lo contrario correría el riesgo de regresar a las condiciones naturales después de un evento.

Hay muchos tipos diferentes de patrones de canal, pero la mayoría de los patrones básicos son rectos, serpenteantes y trenzados. El tipo de patrón depende del tipo y tamaño del sedimento en el canal, de la variabilidad de la descarga suministrada desde aguas arriba, de la estabilidad de los bancos en el canal y de la pendiente del canal1.

La carga de sedimento puede variar desde la carga del lecho, que es partículas de sedimento grandes o pesadas, tales como arena y grava, hasta una carga más suspendida, que es un sedimento de grano fino que es lo suficientemente ligero para permanecer suspendido en el agua en movimiento, como limo y arcilla.

Las corrientes serpenteantes se caracterizan por sus curvas suaves (sinuosas), y típicamente tienen una carga suspendida consistente. Los canales trenzados típicamente tienen una alta carga de lecho y una descarga variable desde aguas arriba. Los arroyos trenzados son característicos de los desiertos y regiones montañosas donde la arena y la grava son abundantes. El Río Santa Catarina puede ser descrito como una corriente trenzada, y el canal de caudal bajo debe adoptar este patrón al considerar cualquier diseño potencial.

1 Church, 1992.

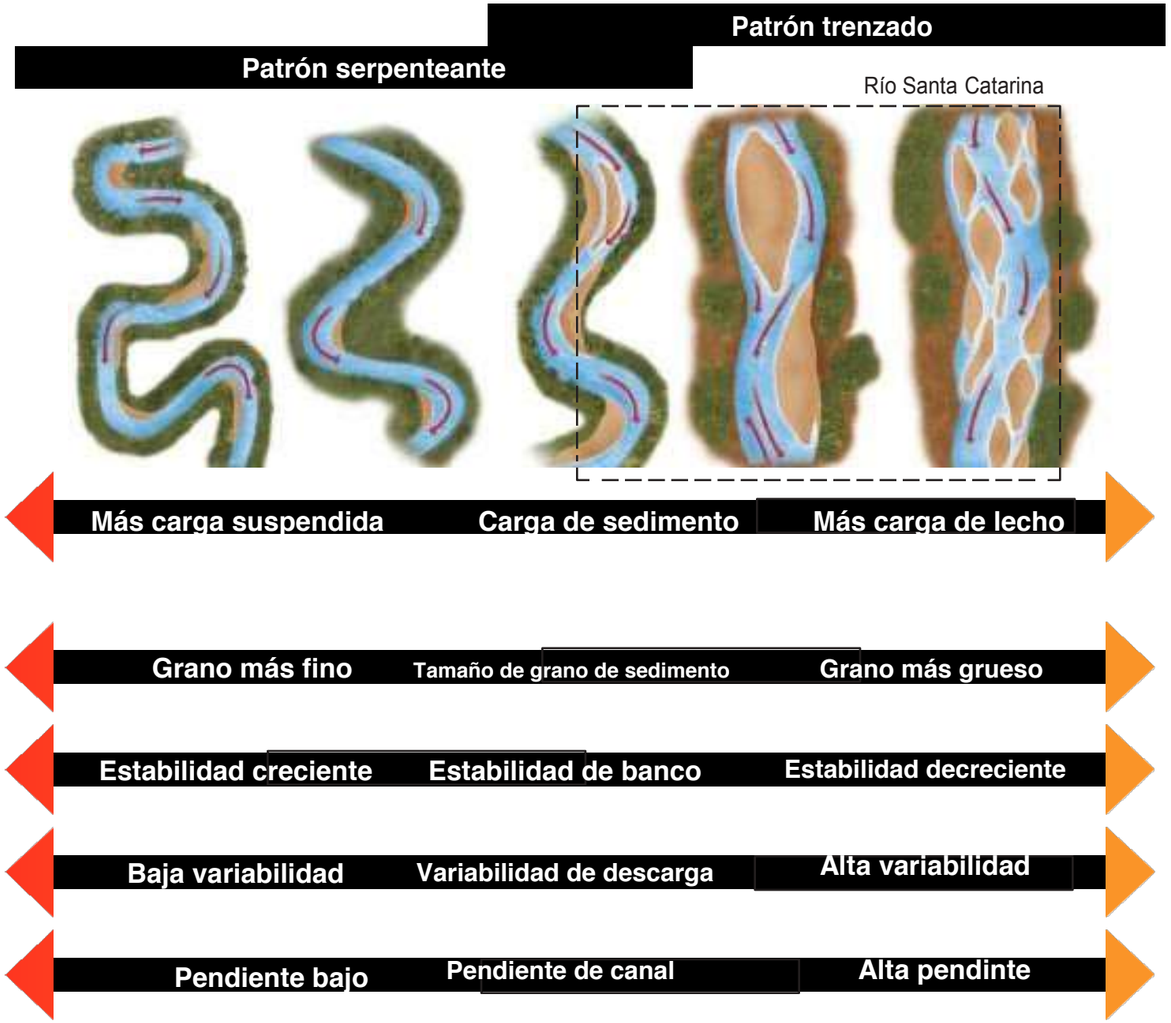


FIGURA 05.57 *Diagramas: Composición de canal del río - Pearson Prentice Hall, 2006.*

S23

Utilizar la morfología del canal de caudal bajo post-Alex (línea discontinua roja) y otras directrices de diseño hidráulico y geomórfico para establecer un canal sustentable de caudal bajo mientras se adaptan los usos recreativos en el lecho del canal..

FIGURA 05.58 Diagramas: Morfología del canal de agua baja propuesto.

Diseño de Canal de Caudal Bajo

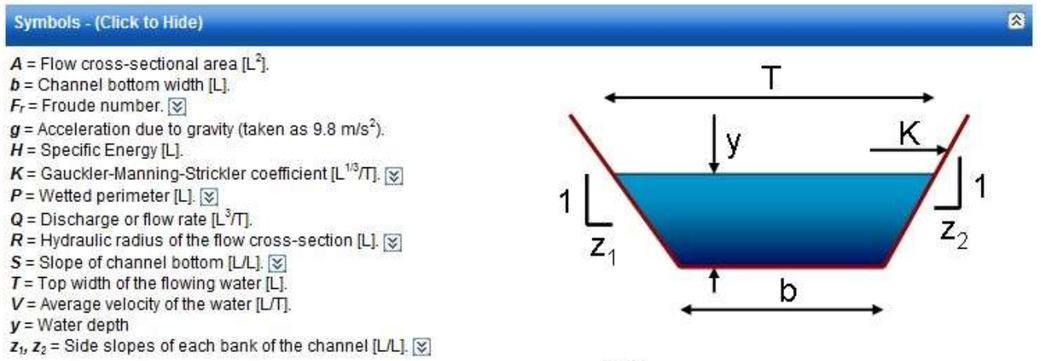
Fotografías aéreas y datos de la encuesta LiDAR fueron generados inmediatamente después del evento de inundación de la Tormenta Tropical Alex y estos datos proporcionan observaciones sobre las características de un canal de flujo bajo que se formó cuando las aguas de la inundación retrocedieron de ese evento. La morfología post-Alex de un canal de agua baja (Figura 5.58 Diagrama de Diseño de Canal de Flujo Bajo, véase línea roja discontinua) y otras directrices de diseño hidráulico y geomorfológico ayudaron a establecer las características generales de diseño para un canal de agua baja. Esta información se utilizó durante la planificación maestral para guiar el diseño conceptual de un canal de agua baja (canal de caudal bajo) que pueda promover o imitar patrones hidráulicos naturales.

Forma del Canal de Caudal Bajo

El diseño preliminar del canal de caudal bajo utilizó una herramienta de diseño de canal trapezoidal simple (gráfica superior) con el fin de simplificar suposiciones y obtener dimensiones iniciales de un canal de caudal bajo (gráfica inferior). Por ejemplo, un canal con una anchura de fondo de 30 metros puede transportar el flujo de T = 3 años a una profundidad de poco menos de 2 metros. Este método de dimensionamiento se utilizó con el diseño de las características recreativas propuestas para diseñar conceptualmente alineaciones de canales de caudal bajo y alturas de terrazas requeridas.

Diseño de canal de flujo bajo en todo el corredor

El objetivo de la estrategia 1.4 es dividir las zonas del corredor fluvial en zonas con el fin de maximizar la vocación natural de cada segmento y minimizar los impactos negativos. Las tres zonas son naturales, cívicas o parques. Las rupturas en las zonas fueron determinadas por un análisis de probabilidad de un evento con un período de retorno de 3 años. El análisis de probabilidad se analizó para determinar dónde se esperaría trenzado o serpenteo en el río Santa Catarina. A partir de este análisis de probabilidad, existe un mayor potencial para canales trenzados en el alcance "Natural" aguas arriba, con un potencial mixto a través de los tramos "Civic" y "Park", y un potencial de serpenteo predominante en el alcance "Natural" inferior.



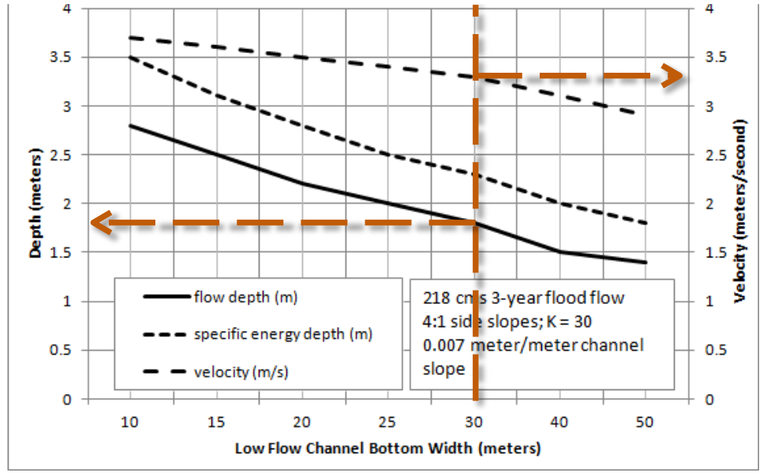


FIGURA 05.59a Diagramas: Cálculos de canal de caudal bajo.

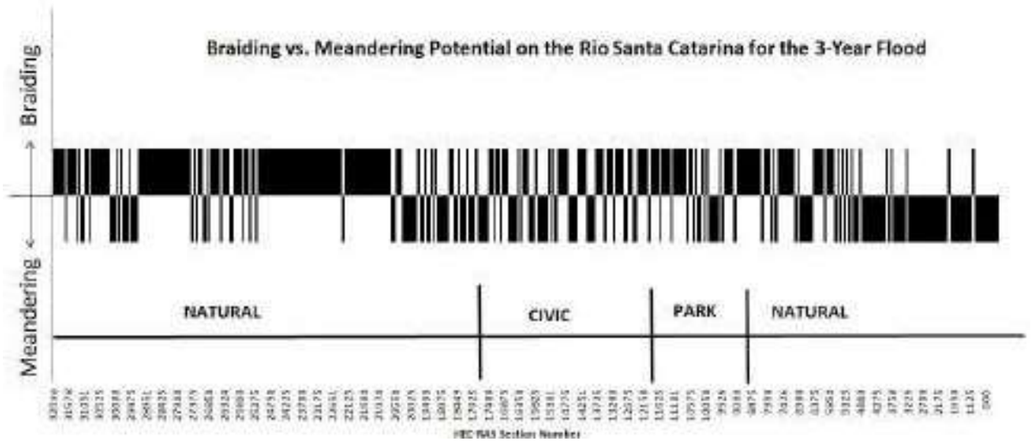
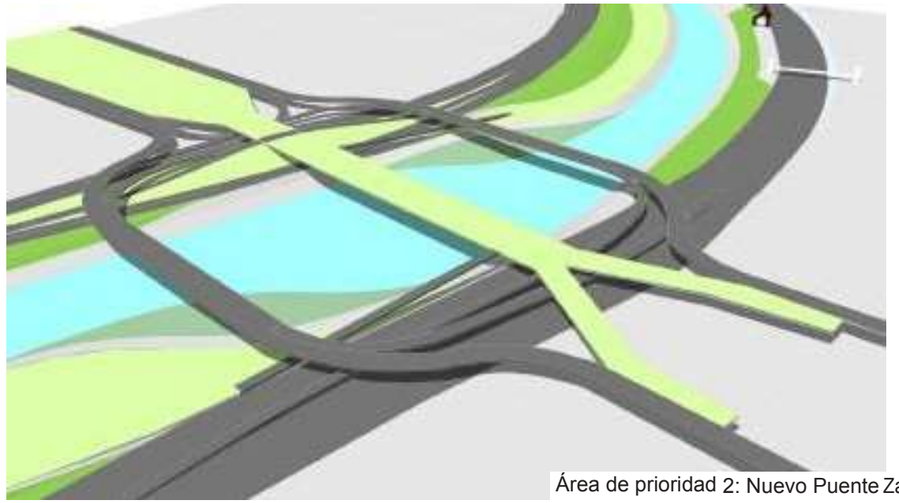


FIGURA 05.59b Diagramas: Diseño de canales de caudal bajo a través del corredor.

Existe un mayor potencial para los canales trenzados en el tramo "Natural" aguas arriba más pronunciado, con un potencial mixto a través de los tramos "Cívico" y "Parque", y un potencial de serpenteo predominante en el tramo "Natural" inferior.

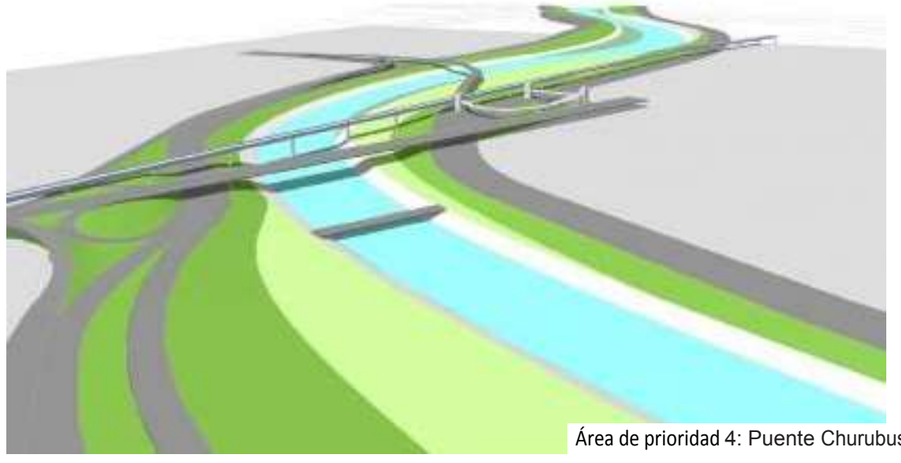
S23

Área de prioridad 1: Puente Pío X



Área de prioridad 2: Nuevo Puente Zaragoza

Área de prioridad 3: Puente Pedro Martinez



Área de prioridad 4: Puente Churubusco

FIGURA 05.60 Vistas 3D: Áreas prioritarias - Diseño de canal de caudal bajo a través del corredor.

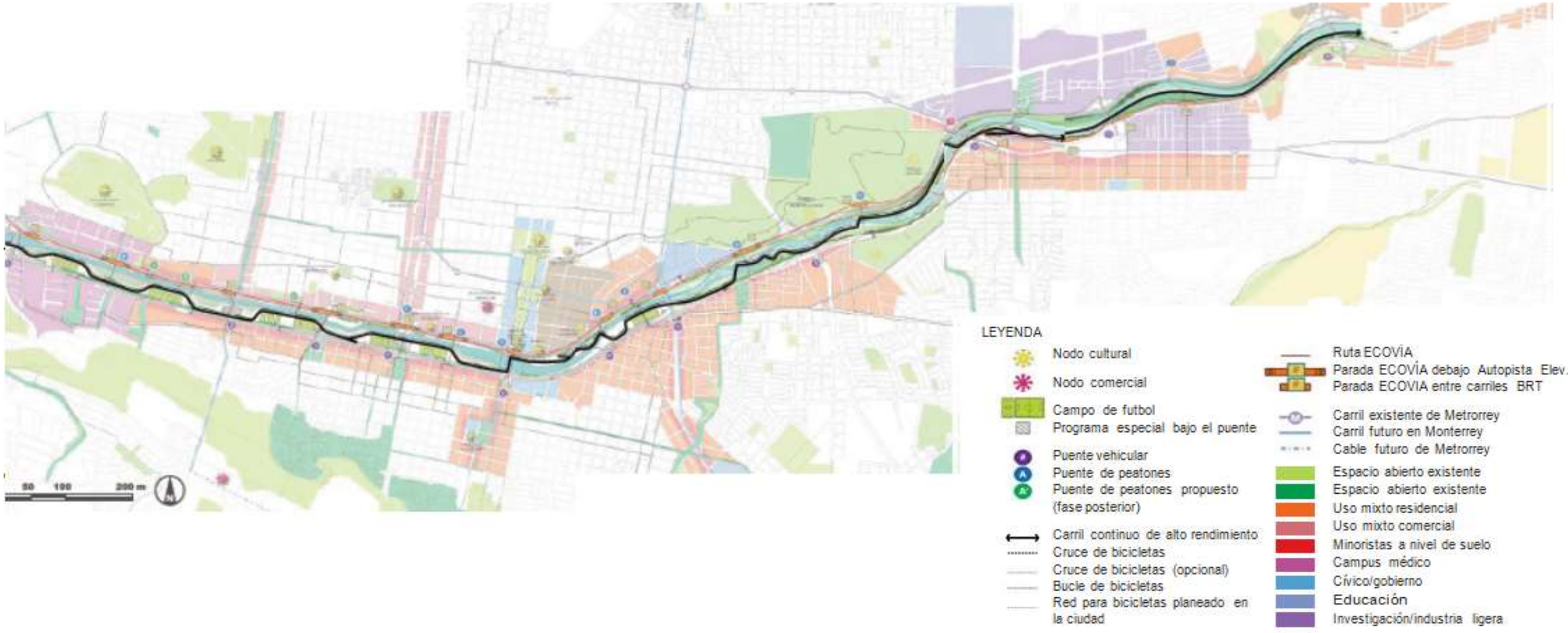
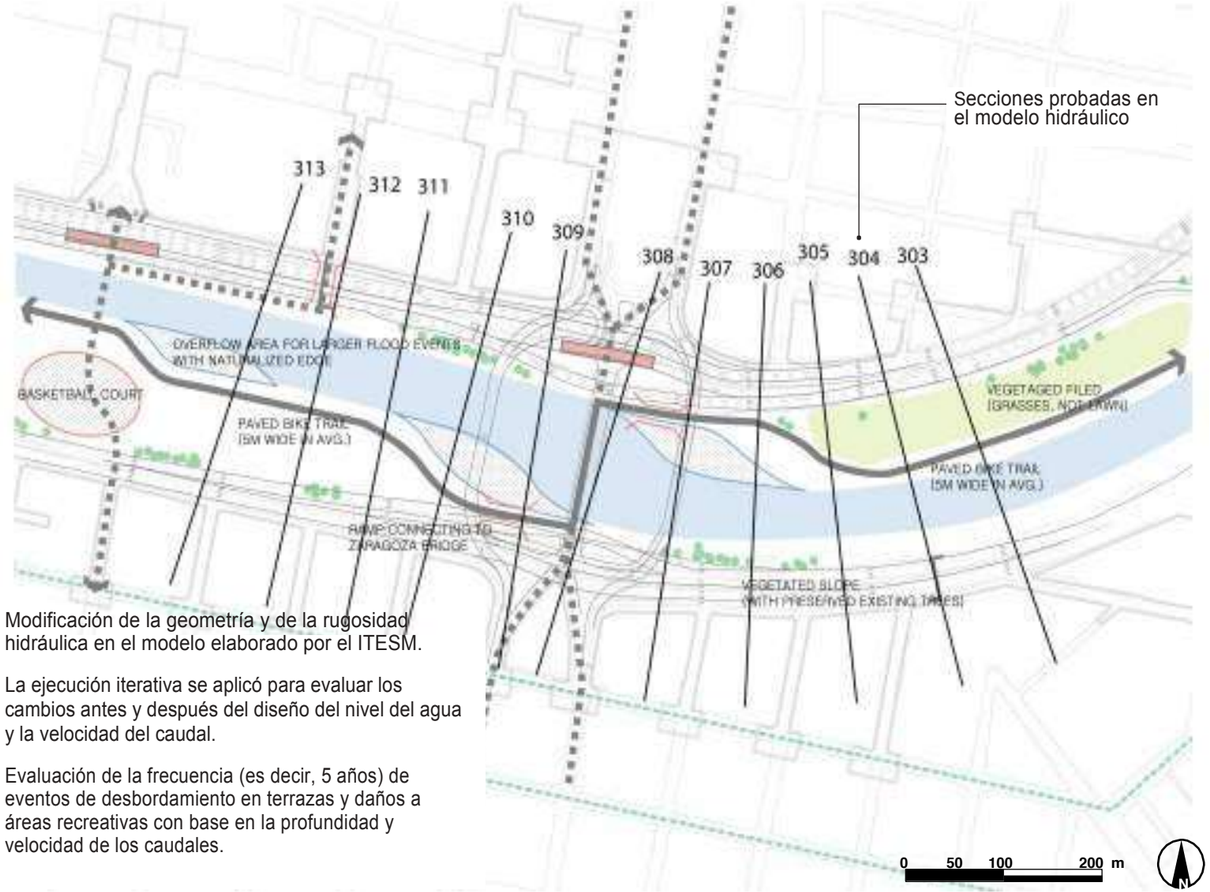


FIGURA 05.61 Plan Maestro: Diseño del Canal de Caudal Bajo.

S23

Pruebas Hidráulicas: Zona prioritaria Zaragoza

El lecho del río efímero presenta un área importante para el uso de la tierra dentro de la ciudad. Las inundaciones periódicas pueden dañar y destruir las instalaciones del canal. Simulamos inundaciones de diferentes tamaños con el fin de probar los impactos de las inundaciones y guiar el diseño en el lecho del río. Una de las áreas de enfoque propuestas por el equipo de diseño, cerca del puente de Zaragoza, fue probada utilizando el modelo hidráulico del ITESM. La prueba hidráulica consistió en modificar la geometría y la rugosidad hidráulica en cada sección transversal en el modelo hidráulico, con el fin de evaluar los cambios antes y después del diseño al nivel del agua y velocidad de caudales. El plan propuesto creó un área de terrazas para usos recreativos y un canal de flujo bajo que permitiría que acontecimientos de bajo flujo ocurrieran sin afectar las áreas de uso recreativo. El diseño fue un proceso iterativo que evaluó la frecuencia (es decir, 5 años) de inundación en las terrazas y daños a las áreas recreativas (es decir, campos de fútbol) con base en la profundidad y velocidad de estos caudales.



Modificación de la geometría y de la rugosidad hidráulica en el modelo elaborado por el ITESM.

La ejecución iterativa se aplicó para evaluar los cambios antes y después del diseño del nivel del agua y la velocidad del caudal.

Evaluación de la frecuencia (es decir, 5 años) de eventos de desbordamiento en terrazas y daños a áreas recreativas con base en la profundidad y velocidad de los caudales.

FIGURE 05.62 Diagrama: Metodología de pruebas hidráulicas. área Prioritaria Zaragoza.

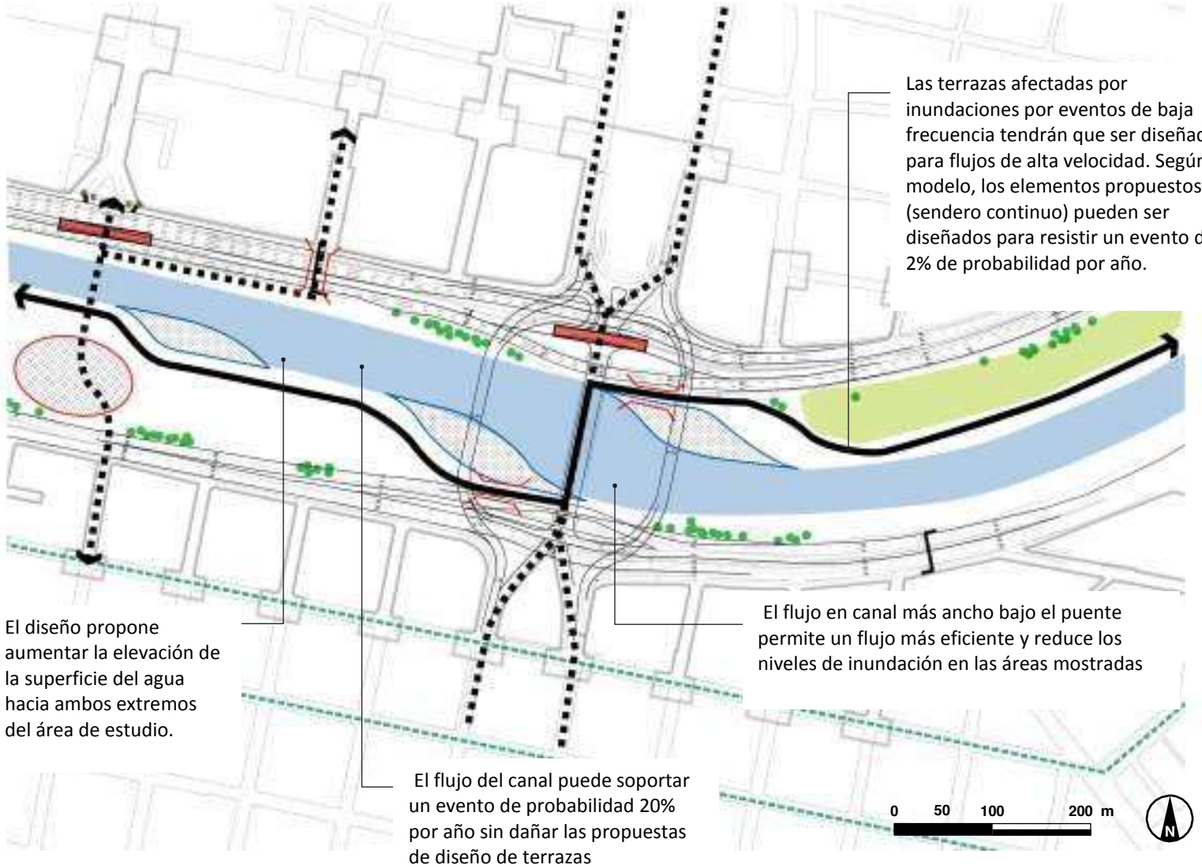


FIGURA 05.63 Diagrama: Diseño de canal propuesto. Área Prioritaria Zaragoza.

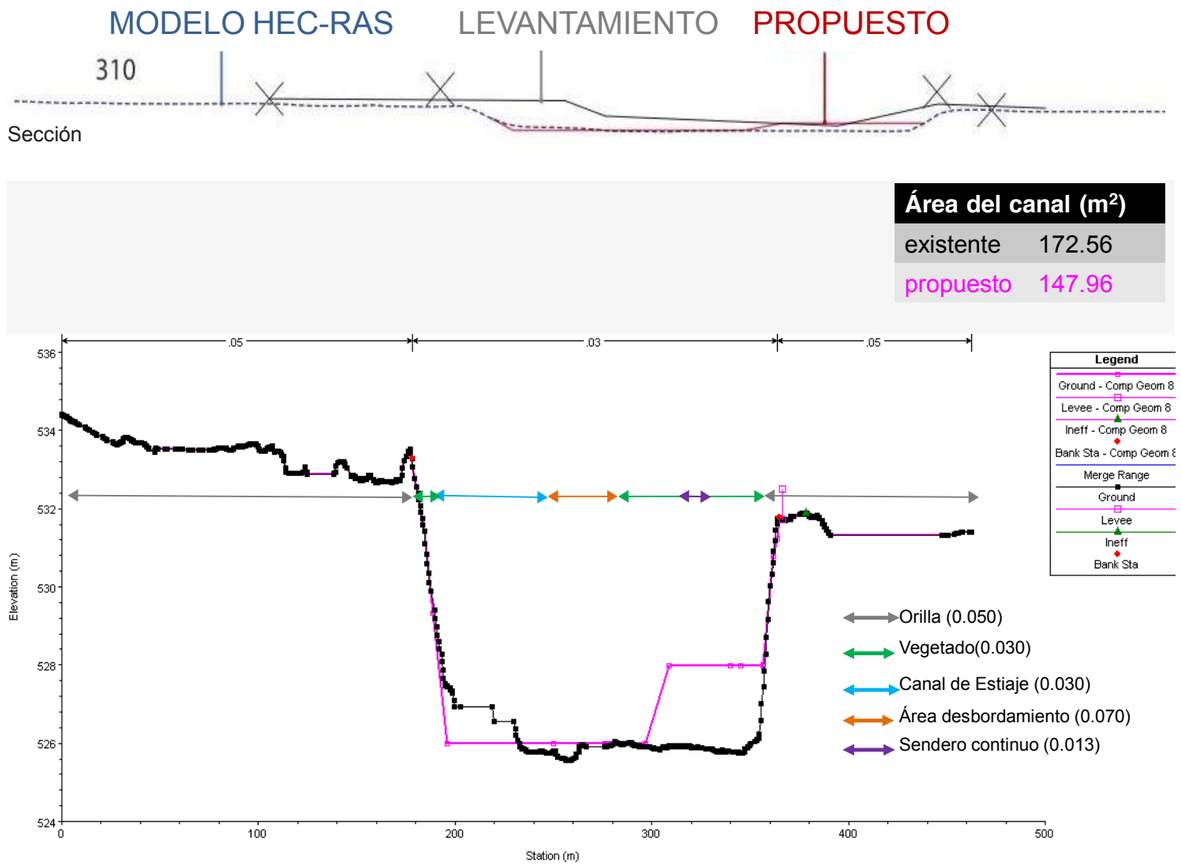
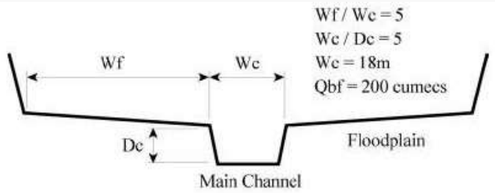
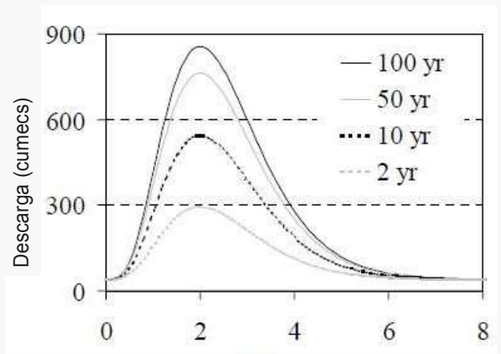


FIGURA 05.64 Diagrama: Cálculos de diseño de canales propuestos. Área Prioritaria Zaragoza.

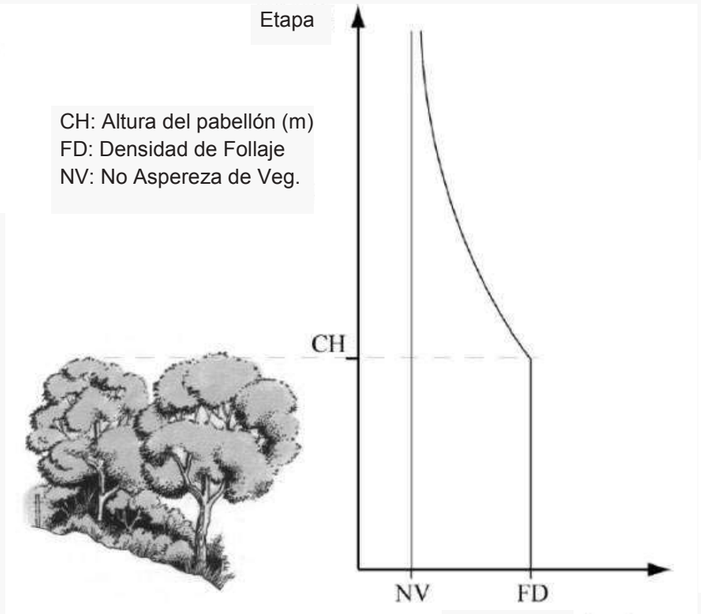
S23



Esquema transversal con dimensiones

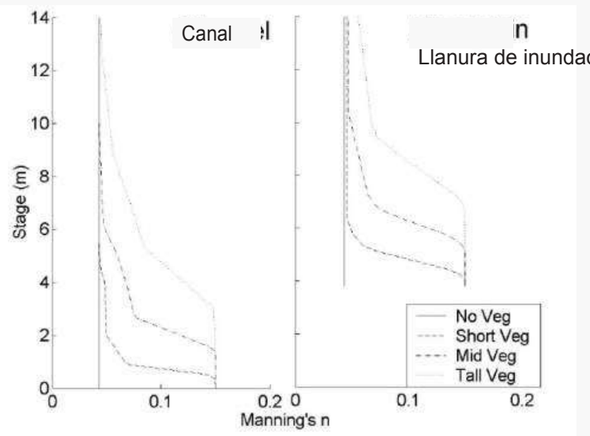


Hidrogramas de entrada designados por intervalo de retorno

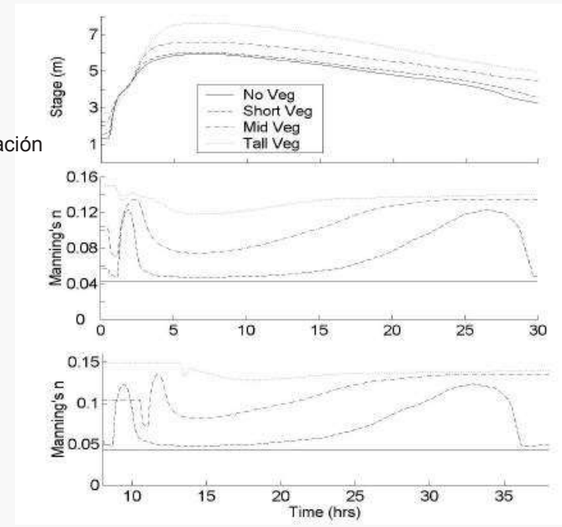


CH: Altura del pabellón (m)
FD: Densidad de Follaje
NV: No Aspereza de Veg.

Función de forma para la variación de la aspereza vegetal con la etapa de flujo.



Perfiles de rugosidad del canal principal y llanura de inundación para cada escenario de prueba



Variación de la muestra de la fase de entrada vs. tiempo para el hidrograma de entrada de ARI de probabilidad de 2% por año (arriba), variación correspondiente a n de Manning a 0 Km (medio) y 50 km (inferior) para cada veg.

FIGURA 05.65 Gráficas: Un análisis de la influencia de la vegetación ribereña en la propagación de las olas de inundación.
Authors: B.G. Anderson, I.D Rutherford y A.W. Western.
University of Melbourne and the Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology.
b.anderson5@pgrad.unimelb.edu.au.

Influencia de la vegetación en la rugosidad

El agua que fluye arrastra contra el canal de la corriente y se frena por fricción. Cuanto mayor sea la superficie del canal de confinamiento, más lento se mueve el flujo. Por lo tanto, los canales estrechos y profundos producen corrientes de movimiento rápido y los canales anchos y poco profundos producen corrientes de movimiento lento. Las corrientes fluirán rápidamente sobre un fondo de canal liso y más lentamente sobre un fondo de canal lleno de rocas. La vegetación es otra fuente de fricción que disminuirá la velocidad de un río. La fricción de un canal se puede representar en el modelo hidráulico como el valor n de Manning.

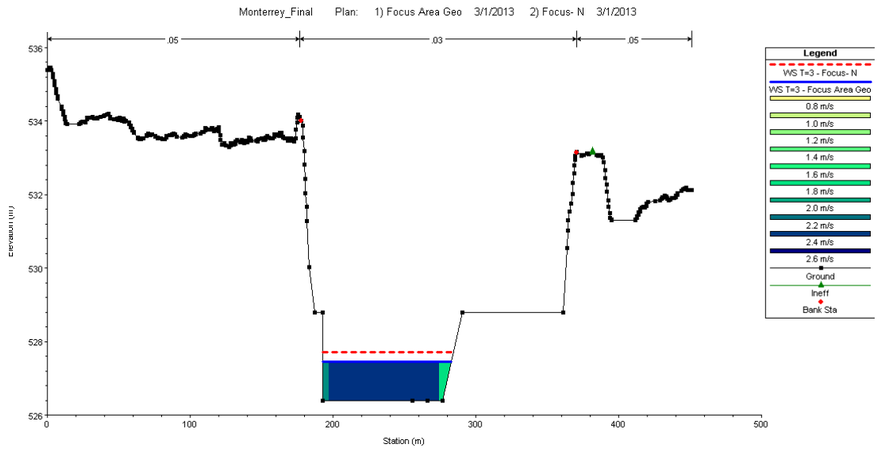
Precedente: Humedales en el Parque Olímpico de 2012, diseñado en Londres como parte de una estrategia integrada de control de inundaciones.

S23

Forma y Rugosidad del Canal

El valor n de Manning fue probado y cambiado para la prueba hidráulica del área de enfoque propuesta y los resultados muestran que los cambios en la rugosidad de la planicie de inundación llevaron a cambios en los niveles de agua de inundación que fueron calculados con nuestro modelo hidráulico. Sin embargo, el aumento en el nivel del agua fue acompañado por una disminución en la velocidad del flujo.

Sección de canal existente



Proposed channel section

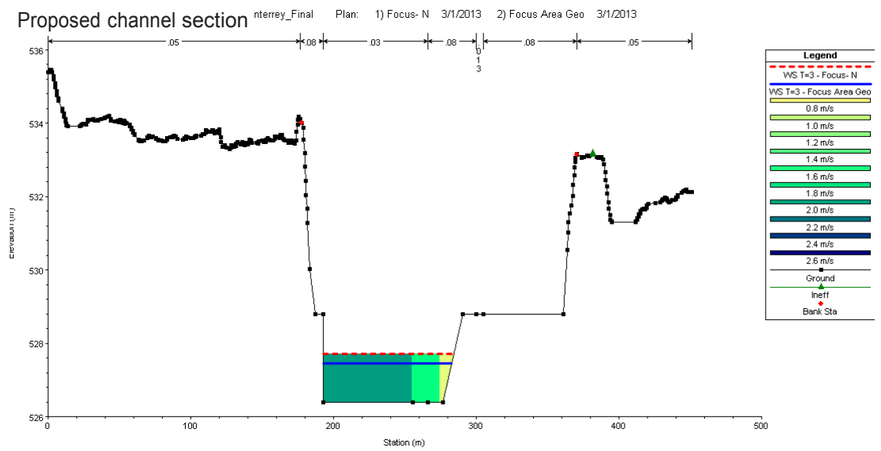


FIGURA 05.66 Cálculos: Análisis de la forma y rugosidad del canal propuesto y existente.

Boundary Category	Boundary Type	Permissible Shear Stress (lb/sq ft)	Permissible Velocity (ft/sec)	Citation(s)
Soils	Fine colloidal sand	0.02 - 0.03	1.5	A
	Sandy loam (noncolloidal)	0.03 - 0.04	1.75	A
	Alluvial silt (noncolloidal)	0.045 - 0.05	2	A
	Silty loam (noncolloidal)	0.045 - 0.05	1.75 – 2.25	A
	Firm loam	0.075	2.5	A
	Fine gravels	0.075	2.5	A
	Stiff clay	0.26	3 – 4.5	A, F
	Alluvial silt (colloidal)	0.26	3.75	A
	Graded loam to cobbles	0.38	3.75	A
	Graded silts to cobbles	0.43	4	A
	Shales and hardpan	0.67	6	A
Gravel/Cobble	1-in.	0.33	2.5 – 5	A
	2-in.	0.67	3 – 6	A
	6-in.	2.0	4 – 7.5	A
	12-in.	4.0	5.5 – 12	A
Vegetation	Class A turf	3.7	6 – 8	E, N
	Class B turf	2.1	4 – 7	E, N
	Class C turf	1.0	3.5	E, N
	Long native grasses	1.2 – 1.7	4 – 6	G, H, L, N
	Short native and bunch grass	0.7 - 0.95	3 – 4	G, H, L, N
	Reed plantings	0.1-0.6	N/A	E, N
	Hardwood tree plantings	0.41-2.5	N/A	E, N
Temporary Degradable RECPs	Jute net	0.45	1 – 2.5	E, H, M
	Straw with net	1.5 – 1.65	1 – 3	E, H, M
	Coconut fiber with net	2.25	3 – 4	E, M
	Fiberglass roving	2.00	2.5 – 7	E, H, M
Non-Degradable RECPs	Unvegetated	3.00	5 – 7	E, G, M
	Partially established	4.0-6.0	7.5 – 15	E, G, M
	Fully vegetated	8.00	8 – 21	F, L, M
Riprap	6 – in. d_{50}	2.5	5 – 10	H
	9 – in. d_{50}	3.8	7 – 11	H
	12 – in. d_{50}	5.1	10 – 13	H
	18 – in. d_{50}	7.6	12 – 16	H
	24 – in. d_{50}	10.1	14 – 18	E
Soil Bioengineering	Wattles	0.2 – 1.0	3	C, I, J, N
	Reed fascine	0.6-1.25	5	E
	Coir roll	3 - 5	8	E, M, N
	Vegetated coir mat	4 - 8	9.5	E, M, N
	Live brush mattress (initial)	0.4 – 4.1	4	B, E, I
	Live brush mattress (grown)	3.90-8.2	12	B, C, E, I, N
	Brush layering (initial/grown)	0.4 – 6.25	12	E, I, N
	Live fascine	1.25-3.10	6 – 8	C, E, I, J
	Live willow stakes	2.10-3.10	3 – 10	E, N, O
Hard Surfacing	Gabions	10	14 – 19	D
	Concrete	12.5	>18	H

[1] Ranges of values generally reflect multiple sources of data or different testing conditions.

A. Chang, H.H. (1988).
B. Fiorineth. (1982)
C. Gerstgraser, C. (1998).
D. Goff, K. (1999).
E. Gray, D.H., and Sotir, R.B. (1996).
F. Julien, P.Y. (1995).
G. Kouwen, N.; Li, R. M.; and Simons, D.B., (1980).
H. Norman, J. N. (1975).
I. Schlechti, H. M. and R. Stem. (1996).
J. Schoklitsch, A. (1937).
K. Sprague, C.J. (1999).
L. Temple, D.M. (1980).
M. TXDOT (1999)
N. Data from Author (2001)
O. USACE (1997).

FIGURA 05.67 Tabla: Tensión cortante y velocidad permitidos para materiales de revestimiento seleccionados.

Velocidad permisible

Se han identificado las tensiones cortantes (fuerzas) permisibles y las velocidades permisibles para diferentes materiales superficiales de la literatura. El uso recreativo propuesto podría evaluarse determinando si el esfuerzo cortante y la velocidad de una inundación de período de retorno fueron permisibles para ese material de superficie.

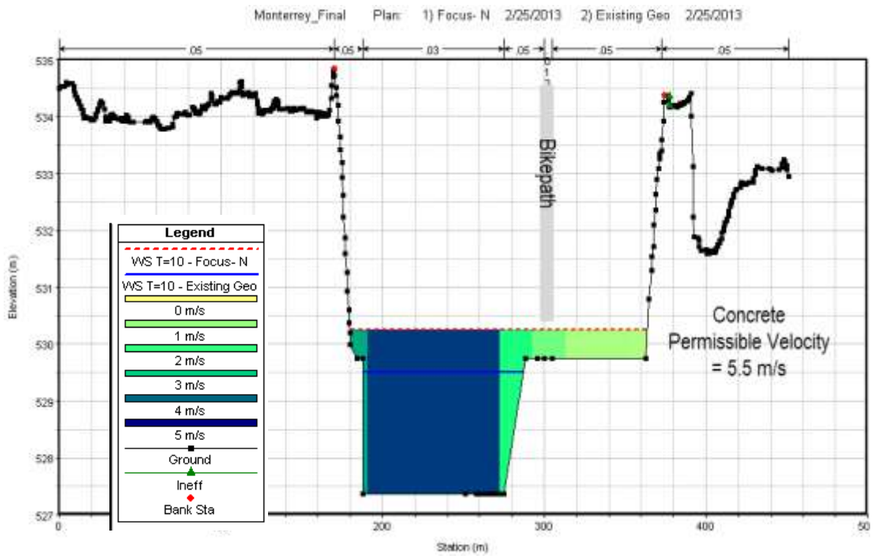


FIGURA 05.68 Diagrama: Análisis de la velocidad permisible.

Precedente: Humedales en el Parque Olímpico 2012, Londres.

S24

Consolidar programas permanentes al aire libre

Escala: Corredor del Río
Categoría: Áreas recreativas

Estrategia 24
Consolidar programas permanentes al aire libre

Propósito / Objetivo / Sub Estrategia

El realineamiento del canal del río abre nuevas oportunidades para restablecer y atender la necesidad de un programa permanente al aire libre. Estos programas deben ser consolidados en zonas que funcionen con el flujo del lecho del río, minimizando el daño potencial en un evento de tormenta.

Sub estrategias:

- Consolidar/concentrar campos de fútbol en áreas clave del lecho del río, con el fin de minimizar el número de puntos de acceso requeridos y otras estructuras en los bancos del río.
- Organizar estos recursos para responder a las cuatro zonas de características generales del río

Resumen del programa recreativo dentro del área de estudio en el Municipio de Guadalupe:

FIGURA 05.69 Diagrama: Programa al aire libre Pre-Alex, Municipio de Guadalupe.

Resumen del programa recreativo fuera del área de estudio en el Municipio de San Pedro:

- 14 campos de futbol
- 7 campos de baseball

FIGURA 05.70 Diagrama: Programa al aire libre Pre-Alex, Municipio de San Pedro.

Resumen de campos de fútbol en el área de estudio en el Municipio de Monterrey:

- 4 canchas pequeñas de futbol
- 34 canchas medianas de futbol
- 7 canchas grandes de futbol
- 45 canchas de futbol en total

FIGURA 05.71 Diagrama: Programa al aire libre Pre-Alex - Corredor del Río, Municipio de Monterrey

S24

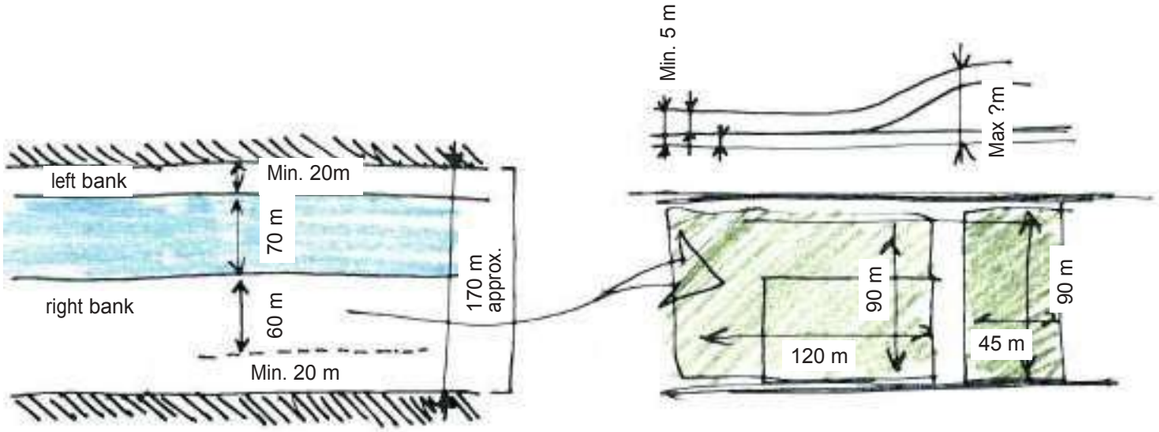
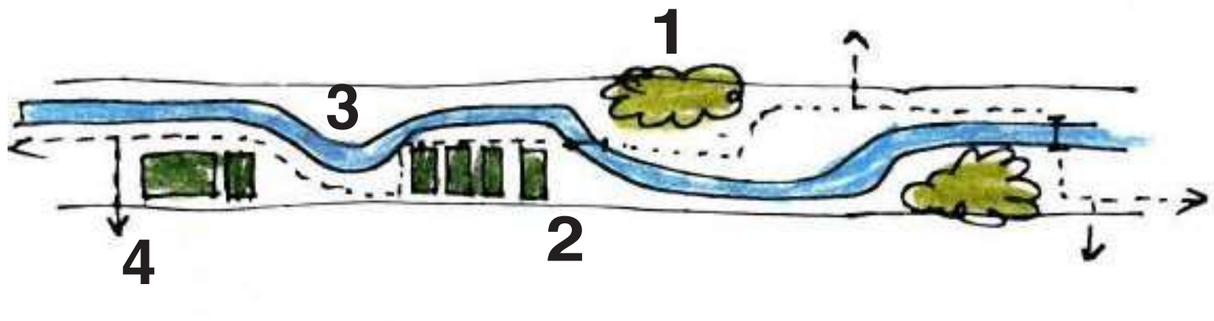


FIGURA 05.72 Boceto de concepto. Programa permanente dentro de los bancos del río. Establecimiento de dimensiones clave.



1 Mapeo y preservación de la vegetación existente

2 Definir la ubicación de los campos de fútbol según los siguientes principios:

- Proximidad a los conectores de Ecovía;
- Baja tensión (de corte) en el lecho del río;
- Proximidad a las gradas existentes; y
- Donde se necesitará un número mínimo de cruces.

3 Diseño de canal de caudal bajo con base en:

- Puntos de descarga de lluvia
- Bajo estrés (de corte) dentro del lecho del río
- Condición de muros
- Concepto de zonas características

4 Sendero continuo

- Acceso fácil a Ecovía y nodos
- Concepto de zonas características

FIGURA 05.73 Boceto de concepto. Programa permanente dentro de los bancos del río. Metodología.

Resumen de la propuesta de programa recreativo restablecido:

- Monterrey: 24 canchas de futbol* (45 canchas pre-Alex)
- San Pedro: 7-9 canchas de futbol* (14 canchas pre-Alex)
- Guadalupe: 2-3 canchas de futbol* (5 canchas pre-Alex)

* Todas las ubicaciones por confirmarse

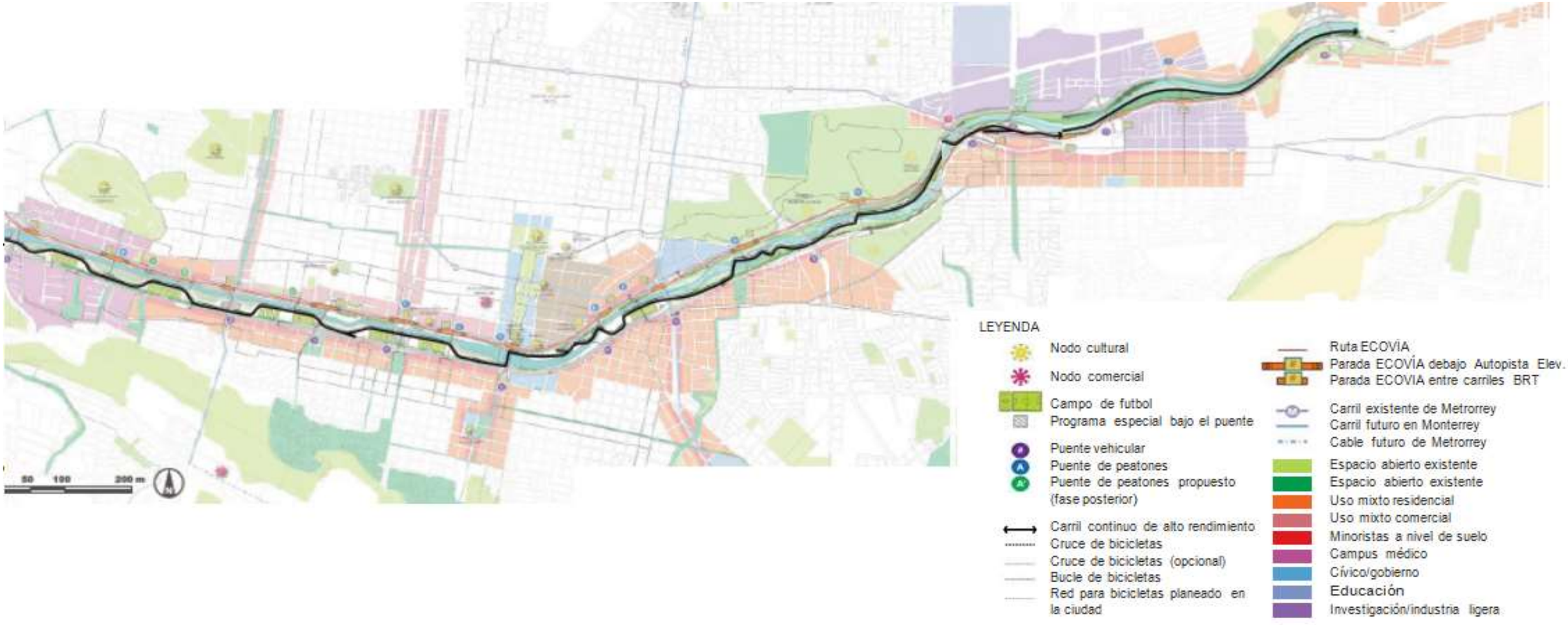


FIGURA 05.74 Plan Maestro: Posible ubicación del programa recreativo permanente.

S24

FIGURA 05.75 Diagrama: Programa permanente; Estrategia preliminar de estacionamiento compartido (fuera del lecho del río)

Vista actual del puente Pío X

FIGURA 05.71 Vista de Concepto: puente Pío X. Proyecto de programa permanente integrado.

S25

Nodos de Actividad Primaria

Escala: Corredor del Río
Categoría: Áreas Recreativas

Shanghai Expo.

Shanghai Expo.

FIGURA 05.72 Vista de Concepto: Propuesta de uso comercial integrado con precedentes de puentes y expo de Shanghai.

Estrategia 25
Nodos de Actividad Primaria (sobre puentes de Ecovía)

Propósito / Objetivo / Su Estrategia

El propósito de esta estrategia es crear nodos de actividad primaria sobre los nuevos puentes de Ecovía, activando así el espacio público y creando nuevas oportunidades para el desarrollo comercial. Ejemplos aceptables de usos incluyen: canchas de baloncesto y parques de patinaje

Se deben seguir los siguientes principios:

- Asegurar que los usos propuestos no creen obstrucciones que puedan comprometer la capacidad y el flujo del río;
- Considerar el uso de las áreas aguas abajo a los puentes, donde la sombra de los puentes aún está disponible, pero hay más área para que el agua fluya ininterrumpidamente; y
- Diseñar cuidadosamente todos los espacios públicos para garantizar la seguridad pública, la iluminación adecuada y la vigilancia natural.

S26

Nodos de Actividad Secundaria

Estrategia 26
Categoría: Áreas recreativas

Parque de patinaje. Fuente: Site phocus

Parque de patinaje Burnside, Portland Oregon. Fuente: Wikipedia

Precedente: Potencial uso de espacios debajo de puentes.

Cancha de baloncesto, Moscow. Fuente: courtsoftheworld.com

Mercado, Londres. Fuente: Chona V. worldpress.com

Estrategia 26
Nodos de Actividad Primaria
(sobre puentes de Ecovía)

Propósito / Objetivo / Sub Estrategia

Esta estrategia propone crear nodos de actividad secundaria en espacios bajo puentes existentes seleccionados. Ejemplos aceptables de usos incluyen: canchas de baloncesto, parques de patinaje, mercados de temporada o eventos.

Se deben seguir los siguientes principios:

- Asegurar que los usos propuestos no creen obstrucciones que puedan comprometer la capacidad y el flujo del río.
- Considerar el uso de las áreas aguas abajo a los puentes, donde la sombra de los puentes aún esté disponible, pero haya más área para que el agua fluya sin interrupción.

S27

Cumplimiento con las directrices sobre lecho de río de la CONAGUA

Escala: Corredor del Río
Categoría: Áreas recreativas

Parque Olímpico, Londres

Diagonal del Mar, Barcelona

Riverwalk, Texas

Precedente: Bancos de ríos rescatados

Estrategia 27
Cumplimiento con las directrices sobre lecho de río de la CONAGUA

Propósito / Objetivo / Sub Estrategia

Como autoridad nacional en materia de gestión del agua, la CONAGUA establece lineamientos y regulaciones que deben seguirse a lo largo del proceso de mejoras para el lecho del Río Santa Catarina.

Sub estrategias:

- Preparar un programa anual de actividades
- Establecer reglas estrictas que incluyan:
- Acceso, circulación y estacionamiento
- Horas de servicio
- Instalaciones admisibles
- Otros controles (ruido, gestión de desechos)

S28

Gestión de esculturas urbanas monumentales existentes

Escala: Corredor del río
Categoría: Áreas recreativas

Bruce Beasley

Albert Paley

Jose Maria

Julio Le parc

Oscar Niemeyer

Mathias Goeritz

Esculturas monumentales de Monterrey

Estrategia 28
Gestión de esculturas urbanas monumentales existentes

Propósito / Objetivo / Sub Estrategia

Las esculturas urbanas monumentales existentes realzan las características icónicas de la ciudad y son puntos de referencia importantes dentro del corredor del río.

A medida que avanzan las propuestas de diseño del corredor del río, se debe considerar cuidadosamente la naturaleza de cada una de estas esculturas para asegurar que se incorporen en el diseño y zonificación del río.

Se debe desarrollar un plan específico de gestión del arte para revisar el papel del arte en el contexto de la ciudad y el corredor del río. Este plan debe revisar y proponer lugares para futuras comisiones de arte, ya sean temporales o permanentes y considerar un programa anual de arte para la ciudad.

CASA DE LA CULTURA DE N.L.
ASTA BANDERA OBISPADO
DOLORES
ALAMEDA MARIANO ESCOBEDO
PALACIO DE GOBIERNO DE N.L.
MUSEO DE HISTORIA MEXICANA
TEMPLO LA PURISIMA CONCEPCION
ZONA COMERCIAL MORELOS
TEATRO DE LA CIUDAD
TEMPLO DE SAN LUIS GONZAGA
PALACIO MUNICIPAL
MARCO
CASA DEL CAMPESINO
BASILICA DE GUADALUPE
0
50
100
200 m
N

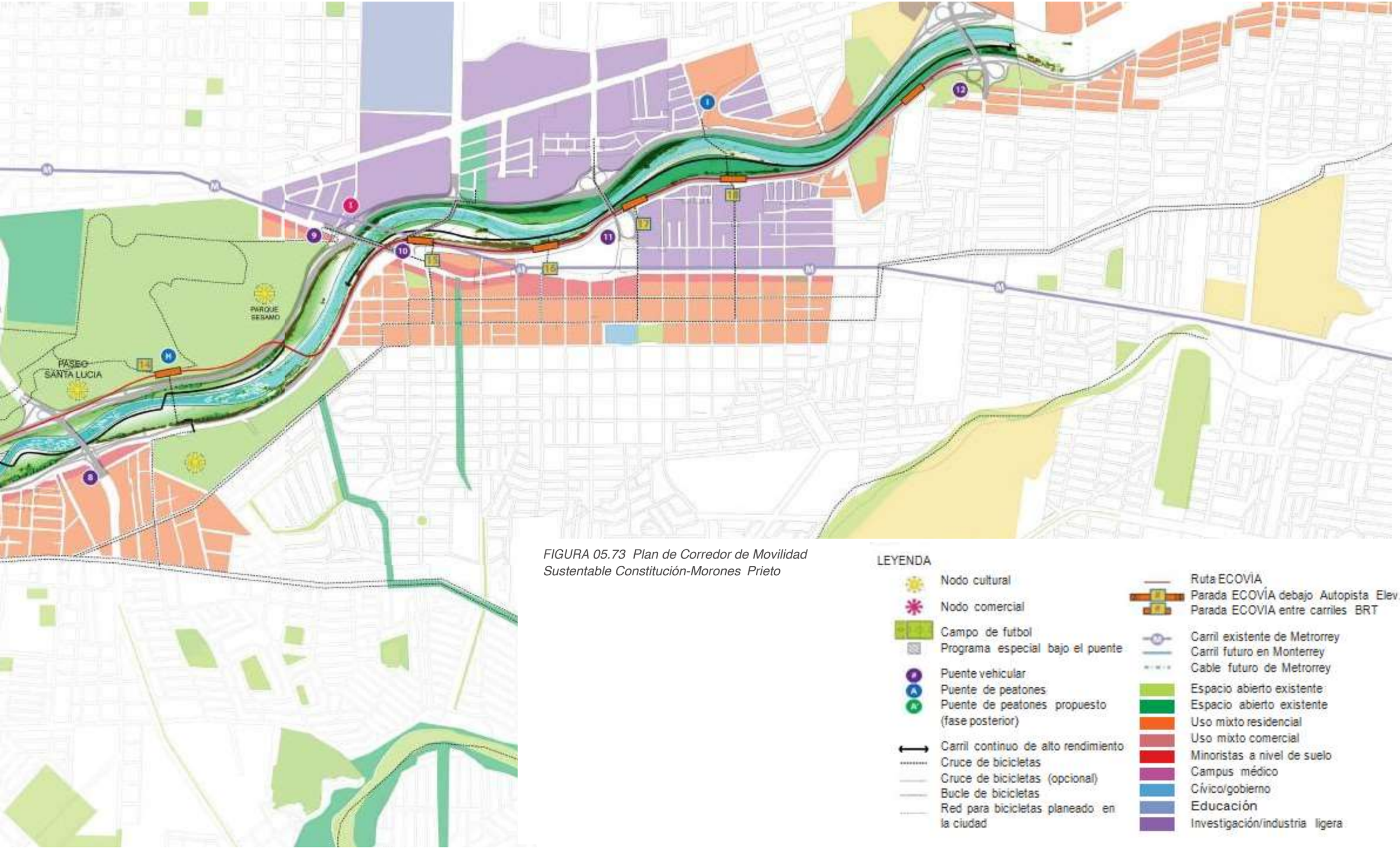


FIGURA 05.73 Plan de Corredor de Movilidad Sustentable Constitución-Morones Prieto

06

PRIORIDADES E IMPLEMENTACIÓN POTENCIAL

PRIORIDADES E IMPLEMENTACIÓN POTENCIAL

06

Las estrategias establecidas en este documento pueden clasificarse en términos de prioridad para facilitar su implementación.

Mientras que las estrategias del Plan Maestro estaban siendo estudiadas y consideradas, el equipo de planificación, el CERNL y el gobierno discutieron el potencial y factibilidad para que cada una de ellas sea implementada. Este análisis produjo la comprensión inicial de las prioridades y su posible secuencia de implementación.

Plazo para la implementación de estrategias

Con el fin de organizar la implementación potencial de las (28) estrategias, el Plan Maestro las presenta en tres grupos por prioridad (consultar la tabla resumen en la derecha).

Prioridad Inmediata

Antes de la implementación de las estrategias, hay tres iniciativas recomendadas por el Plan Maestro a comenzarse de inmediato. Estas acciones inmediatas incluyen el establecimiento del Consejo Nuevo León (una evolución del CERNL) como el líder y supervisor del Plan Maestro; la definición de las responsabilidades y jurisdicciones de las partes interesadas; y el desarrollo de un Plan de Acción para confirmar la selección y secuencia preliminar de implementación de las estrategias del Plan Maestro.

Prioridad 1: A Corto Plazo

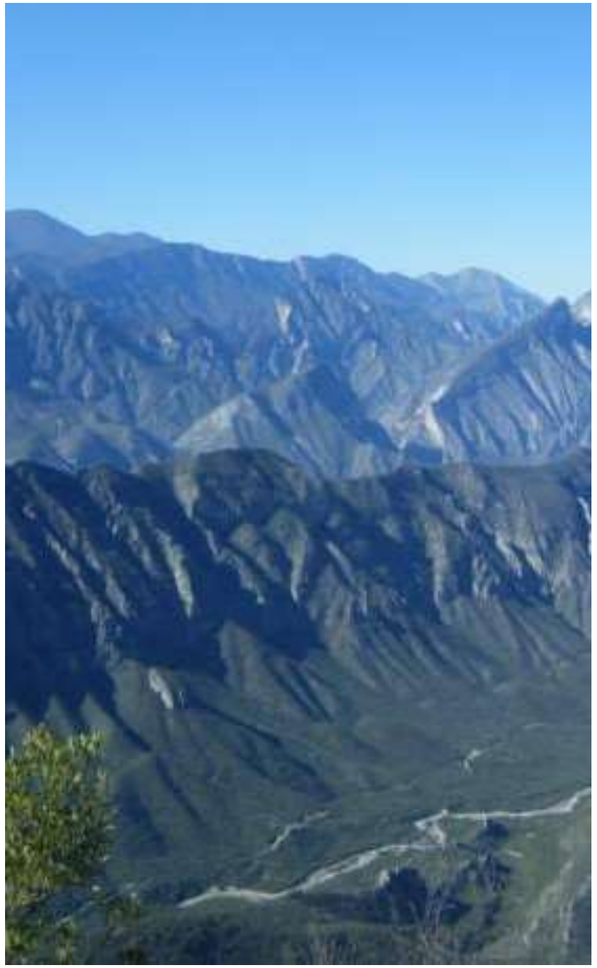
Las estrategias con un potencial para completar la implementación en un período de tres años o menos se enumeran en el cuadro de resumen a la derecha como Prioridad 1. Estas estrategias tienden a ser las relacionadas con la reconstrucción inicial de la infraestructura dañada y otros elementos urbanos. También incluyen estrategias que requieren la creación de un código urbano nuevo/mejorado, cuyo proceso de adopción debe ser iniciado como un primer paso para que otras estrategias sean posibles a mediano o largo plazo. Ejemplos de esto son S07 (Preparar un Plan de Acción de Emergencia), o S11 (Cambiar el Uso Actual de la Tierra y Permitir la Densidad al Proyecto de Uso Mixto de Mayor Densidad a lo largo del Corredor).

Prioridad 2: A Mediano Plazo

Las estrategias que pueden iniciarse ahora (en el corto plazo), pero que requieren un largo período para su finalización (hasta 9 años), se incluyen en la tabla de prioridades resumidas como Prioridad 2. Estas estrategias requieren que se implementen algunas de las estrategias a corto plazo, tales como (S01b), para que san viables, la finalización de la reforestación de la cuenca superior (sólo un proyecto piloto de reforestación S01a, se incluye dentro de las prioridades a corto plazo), y/o requieren una mayor inversión inicial, tales como S02, al recomendar la construcción de una segunda presa para máxima retención.

Prioridad 3: A Largo Plazo

Por último, las estrategias que se considera que necesitan un mayor tiempo para su planificación y que también requieren mayor financiamiento para ser aseguradas, se enumeran en la tabla de prioridad resumida como Prioridad 3. Se supone que para estas estrategias no será posible iniciar la implementación por al menos un período de 9 años. Algunos ejemplos de estas estrategias a largo plazo incluyen la reconfiguración de la cuenca superior con un túnel de desvío, la adquisición de terrenos privados que se encuentran dentro de áreas de alto riesgo de inundación en el área metropolitana y la creación de una nueva red de espacio abierto "verde + azul", porque esta estrategia requiere la coordinación de múltiples agencias.



La reforestación de la cuenca superior es una de las estrategias iniciales recomendadas por el Plan Maestro.

RESUMEN DE ESTRATEGIAS POR PRIORIDAD

Prioridad	Estrategia	Propósito / Objetivo / Sub Estrategia
INMEDIATA	00-1 Establecer el Consejo Nuevo León (CNL)	Establecer el Consejo Nuevo León para liderar, coordinar y hacer cumplir las estrategias del Plan Maestro.
	00-2 Preparar el Plan de Acción	Con base en el Plan Maestro, priorizar y confirmar la secuencia preliminar de acciones y la implementación de la estrategia a corto, mediano y largo plazo.
	00-3 Definir Jurisdicción	Identificar las responsabilidades de diversos organismos y diferentes partes interesadas, y definir claramente las áreas de jurisdicción en relación con el CNL.
PRIORIDAD 1: **A CORTO PLAZO** **(Implementada dentro de 3 años)**	S01a Reforestación en Cuenca Superior (proyecto piloto)	Interceptar y retener la precipitación y disminuir velocidad de escorrentía superficial. Priorizar la reforestación aguas abajo de la Presa Rompepicos.
	S07 Plan de Acción de Emergencia (PAE)	Diseñar para inundación con probabilidad de 0.1% por año según la CNA (5,083 m³/s) pero prepararse para, informar sobre, y ayudar a visualizar inundaciones más severas.
	S08 Código de Desarrollo de Tierras con Impacto Cero	Medidas de desarrollo de bajo impacto in situ para asegurar que los caudales post-desarrollo no excedan aquellos previos al desarrollo.
	S10 Coplas Vehiculares Este-Oeste	Implementar/mejorar las coplas vehiculares Este-Oeste en toda la ciudad para aliviar los volúmenes de tráfico sobre Constitución-Morones Prieto.
	S11 Proyectos de uso mixto de mayor densidad a lo largo del Corredor	Oportunidad para crear nuevos nodos urbanos densos a lo largo del corredor, llenando zonas subutilizadas o desaprovechadas.
	S12 Dos Coplas para bicicletas	Coplas para bicicletas: Avenidas Padre Mier e Hidalgo (norte) y Calles 16 Septiembre y 5 de Febrero (sur).
	S13 Sendero continuo para Bicicletas en el lecho del río	Mínimo impacto de construcción, senderos estacionales y continuos "a campo traviesa" a lo largo del lecho del río desde Juárez hasta Santa Catarina.
	S14 Acceso directo al sendero continuo para bicicletas	Acceso directo al sendero continuo para bicicletas cada 3 Km (zonas naturales del río), cada 1 Km. (zonas cívicas y de parques).
	S17 Zonas del Río	Definir (4) zonas de características del río, para gestionar el diseño y las mejoras: natural (aguas arriba y aguas abajo), zona cívica y de parques.
	S21 Humedales/áreas de retención bajo puentes existentes	Donde sea necesaria capacidad adicional de caudal bajo (en áreas restringidas bajo (e) puentes) construya humedales estacionales.
	S23 Diseño de canal de caudal bajo	Diseñar canal de caudal bajo con principios que favorecen/imitan la forma natural del canal dentro del río: trenzado y serpenteante.
	S24 Programas Permanentes Consolidados al Aire Libre	Agrupaciones de instalaciones de programas permanentes admisibles, minimizando el acceso requerido y respondiendo a las características del río.
	S27 Cumplimiento con las directrices de la CONAGUA sobre el lecho del río	Crear un manual de gestión del río para responder a las directrices de la CONAGUA: calendario de actividades, acceso y estacionamiento, etc.
	S28 Gestión de Esculturas Urbanas Monumentales Existentes	Preservar e incorporar las esculturas monumentales existentes que sobrevivieron a Alex en el nuevo diseño y las zonas del río.
PRIORIDAD 2: A **MEDIANO PLAZO** **(Iniciada ahora, implementada dentro de 9 años)**	S01b Reforestación en Cuenca Superior	Analizar los resultados de la implementación de S01a. Continuar para interceptar y retener la precipitación y la escorrentía superficial lenta en el resto de la Cuenca Superior.
	S02 Segunda Presa de Retención	Localizar la segunda presa para optimizar la retención y atenuación de los flujos de inundación y sedimentos. Evaluar la producción de sedimentos.
	S04 Presas de Retención Más Pequeñas y Distribuidas	Construir pequeñas presas de retención en los afluentes de las cabeceras de arroyos para atenuar los flujos de inundación y retener los sedimentos.
	S05 Mejorar la capacidad de recuperación tras las inundaciones en Corrientes	Analizar las tierras en las áreas de la cuenca superior de afluentes y realizar mejoras para reducir la velocidad del movimiento de precipitación hacia los canales de la corriente.
	S09 Puentes Peatonales Norte-Sur Multiusos	Cruces sobre las Coplas y el Río en dos tipos: Acceso peatonal en puentes vehiculares existentes, y Ecovía 2 - nuevos puentes exclusivos para peatones.
	S16 Circuitos Peatonales de Vecindario para Minimizar Sendero a la Orilla del Río	Crear redes peatonales "oportunistas" adyacentes a las estaciones de Ecovía 2, para minimizar el sendero a la orilla del río donde el espacio sea limitado.
	S18 Columna verde central	Transformar el eje conectando la Macroplaza con la Basílica de Guadalupe en una columna verde urbana (reurbanización + parque).
	S20 Parches verdes	De conformidad con los reglamentos de la CNA, preservar y/o insertar "parches verdes" en las orillas del Río Santa Catarina.
	S22 Muros de los bancos del río + pendientes con características nativas	Muros verdes y con instalaciones públicas integradas (gradas, rampas de acceso y escaleras) para proporcionar control de características y erosión.
PRIORIDAD 3: **A LARGO PLAZO** **(Iniciada en 9 años)**	S03 Túnel de desvío	Ubicar la desviación para un caudal sustentable (1-2 m³/s), costos razonables, evitar dañar las cuencas hidrográficas adyacentes.
	S06 Plan de adquisición de tierras	Identificar la tierra de la ciudad susceptible a desbordarse a causa de inundaciones del Río Santa Catarina y convertirlas a tierras de uso público (parques).
	S15 Convertir un carril de tráfico vehicular a camino para peatones	Convierta porciones de un carril para permitir la circulación peatonal donde el área del banco del río sea limitada, y mejorar la "fachada urbana" a lo largo del corredor.
	S19 Sistemas Verde + Azules"	Sistema de espacio abierto lineal en vías naturales de drenaje. Verde: conectores (peatones & fauna); Azul: gestión de aguas pluviales.
	S25 Nodos de Actividad Primaria (encima de Puentes de Ecovía)	Crear nodos de actividad primaria (comercial, reuniones, eventos) sobre los puentes peatonales de Ecovía 2.
	S26 Nodos de actividad secundaria (debajo de los Puentes)	Crear nodos de actividad secundaria (baloncesto, parque de patinaje) debajo de los puentes vehiculares existentes sin obstruir los cursos del agua.

07
CONCLUSIONES Y PRÓXIMOS PASOS

CONCLUSIONES Y PRÓXIMOS PASOS

07

En conclusión, el Plan Maestro del Corredor de Movilidad Sustentable Constitución-Morones Prieto proporciona un mapa de la ruta hacia una visión futura del Área Metropolitana de Monterrey, comenzando con el corredor del Río Santa Catarina como pieza central y principal catalizador de un cambio positivo.

Aunque el enfoque es lograr esta visión integral y a largo plazo, el Plan Maestro también incluye recomendaciones para la implementación inmediata y a corto plazo. Son los pasos iniciales que abordarían y responderían a las necesidades de reconstrucción provocadas por los daños causados por el huracán Alex en el Estado de Nuevo León en 2010, pero tal como se describe en este Plan Maestro, también representan las bases para la reacción en cadena necesaria para la evolución sustentable deseada y las mejoras a escala urbana.
.

Construcción de sinergias con otras agencias y organizaciones

Es importante enfatizar que para lograr la visión futura descrita en el Plan Maestro, varias agencias públicas y privadas deben trabajar conjuntamente con un objetivo común.

El Plan Maestro sugiere una serie de estrategias que requieren la participación de varias jurisdicciones y, por lo tanto, para cada estrategia debe diseñarse un plan de implementación, empezando por definir funciones y responsabilidades. Construir sinergias entre agencias y proyectos es vital para la ejecución de este Plan Maestro.

Una lista preliminar de los organismos cuya participación es crítica en la preparación de los proyectos que emergen de las estrategias del Plan Maestro incluye:

- Consejo Nuevo León
- Estado de Nuevo León
- Secretaría de Desarrollo Sustentable
- CNA Comisión Nacional del Agua
- TNC The Nature Conservancy
- Todos los municipios del Área Metropolitana de Monterrey
- SEMARNAT Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
- Instituciones educativas locales: ITESM, UDEM, UR, etc.

Esta lista no es exhaustiva y el esfuerzo requerirá la cooperación de todos los organismos.

Selección y desarrollo de proyectos

Cada una de las (28) estrategias incluidas en el Plan Maestro puede subdividirse en una serie de proyectos específicos del sitio y de su alcance. Este documento debe convertirse en la referencia para entender el marco de la "visión general" en el logro de la visión del Corredor de Movilidad Sustentable de Constitución-Morones Prieto, y se espera que cada organismo, municipio y grupos de interés trabajen en conjunto para definir los proyectos específicos y ejecutables dentro del Plan Maestro. En este sentido, el Plan Maestro representa el primer paso con respecto a la visión de Monterrey de un corredor de movilidad sustentable.

La Figura 07-1 resume algunos ejemplos de cómo cada estrategia podría ser el desencadenante en la definición de proyectos específicos que tendrían que ser evaluados en cuanto a su propio valor y factibilidad, para luego ser desarrollados como proyectos y finalmente implementados.

Los pasos anticipados recomendados para la definición y ejecución final del proyecto específico son los siguientes:

- Pre-selección: Con base en las prioridades esbozadas en la sección 06 de este documento, seleccionar las estrategias para su mayor estudio.
- Definición del Proyecto: Una vez que la estrategia ha sido pre-seleccionada, definir específicamente el alcance del proyecto, línea de tiempo, límites y sinergias potenciales con los esfuerzos existentes.
- Factibilidad del Proyecto: Estudiar cada proyecto definido para entender su factibilidad desde los puntos de vista de jurisdicción, disponibilidad de fondos, limitaciones físicas, etc.
- Desarrollo del proyecto: Los proyectos que han obtenido

una marca de factibilidad positiva, deben entonces desarrollarse para convertirse en un proyecto implementable. Dependiendo del alcance específico del proyecto, esta fase de implementación podría incluir la creación de un documento de directrices, o documentos de diseño y construcción, o un documento de planificación.

• Implementación del Proyecto: Una vez que se ha preparado la documentación requerida para el proyecto, la etapa final es la implementación del proyecto. En muchos casos, esta fase será precedida de una sub etapa de permisos, en la que los organismos requeridos proporcionarán una revisión y aprobación final de las recomendaciones que se van a implementar.

• Monitoreo del Proyecto: Para muchos de los proyectos, una fase de monitoreo posterior a la implementación será beneficiosa (o incluso requerida). Los resultados de esta fase ayudarán a mejorar los proyectos y procedimientos futuros. Dado que la implementación de un Plan Maestro como el descrito en este documento es en última instancia un objetivo a largo plazo y en constante evolución, cuanto más se entiendan y monitoreen los proyectos iniciales, mejores serán las posibilidades de éxito del Plan Maestro en general.

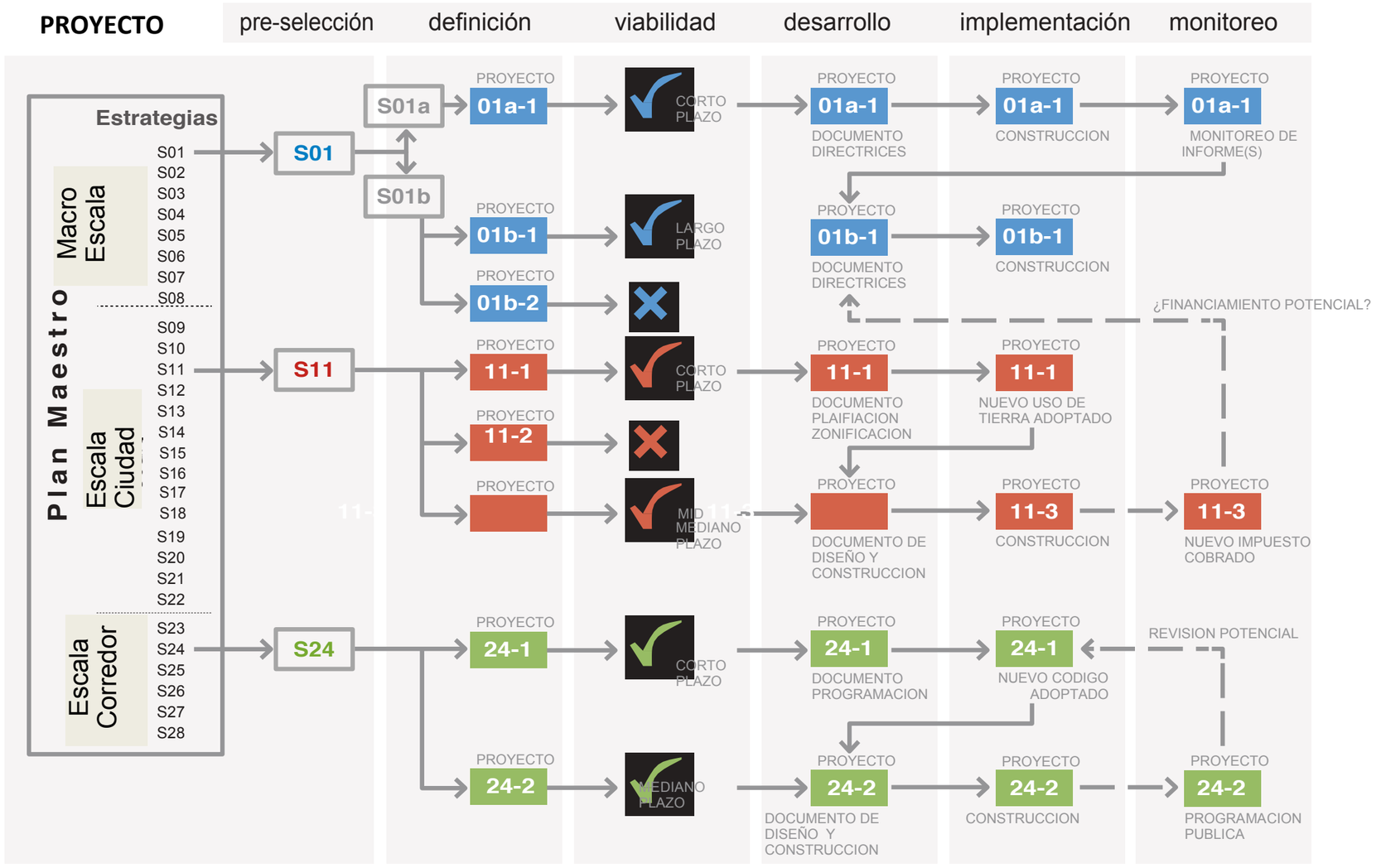


FIGURA 07.1 Selección de Proyectos – Diagrama de Flujo.

Ejemplos de escenarios posibles para la selección de proyectos, análisis de viabilidad, desarrollo, implementación potencial y monitoreo.

08

APÉNDICE

APÉNDICE

08

Los Memorandos Técnicos incluidos en un apéndice de este informe fueron producidos por AECOM y otros consultores nombrados por el cliente.

El propósito de estos Memorandos era permitir que el equipo investigara los desafíos y condiciones específicos con mayor profundidad e informar sobre el proceso de planificación maestral, así como a las prioridades de desarrollo.

Los Memorandos incluidos en este Apéndice son:

- Memorándum Técnico 01: Tarea en el Agua A1
- Memorándum Técnico 02: Tarea en el Agua A3
- Memorándum Técnico 03: Transporte (Tarea A3)
- Memorándum Técnico 04: Capacidad del Canal del Río Revisada
- Memorándum Técnico 05: Resultados del Diseño Urbano
- Estudios de Caso - Extractos de presentaciones

Precedente: Área de restauración de río. Rio Salado, Phoenix Arizona. Fuente: Flickr-clauretano.

Precedente: Parque Olímpico de Londres - Restauración del Río.

Memorándum

PARA	Secretaría de Desarrollo Sustentable Gobierno del Estado de Nuevo León
DE	AECOM + Nelson\Nygaard
PROYECTO	Plan maestro metropolitano del corredor integral de movilidad sustentable Constitución - Morones Prieto
TAREA(S)	FASE A – Tarea A1-2 (Agua)
FECHA COMPLETADO	20 de julio de 2011
PROPÓSITO	PROYECTO de Revisión y Análisis de Datos Existentes (Agua)

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente.

Tarea A1-2 (Agua)
Revisión y Análisis de Datos Existentes

INTRODUCCIÓN

Este memorándum técnico proporciona una revisión y análisis independiente de los datos disponibles proporcionados a AECOM, en apoyo de la Tarea A1-2 descrita en la propuesta de AECOM de fecha 31 de mayo de 2011 titulada "Plan Maestro de Corredor de Movilidad Sustentable Metropolitana Constitución - Morones Prieto". Esta revisión evalúa la idoneidad y calidad de los datos y los métodos desarrollados por las entidades locales y el ITESM que se utilizarán para realizar aportaciones a un plan maestro conceptual del Río Santa Catarina en Monterrey. Nuestra revisión aborda específicamente lo siguiente:

1. Revisión del "Estudio Hidrológico de la Cuenca del Río Santa Catarina, N.L." de Octubre de 2010 por el ITESM.
2. Revisión del modelo de Escorrentía-Lluvias de HEC-HMS del ITESM
3. Revisión del Análisis Hidráulico del ITESM de enero de 2011
4. Revisión de Propuestas Locales de Reconstrucción del Río

REVISIÓN DEL "ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO SANTA CATARINA, N.L." DE OCTUBRE DE 2010 POR EL ITESM.

AECOM llevó a cabo una revisión independiente del borrador del informe: Informe final Hidrologia Oct20 (el Estudio Hidrológico del ITESM) realizado por el Dr. Aldo Ivan Ramírez, profesor de investigación del Centro del Agua para América Latina y el Caribe del Tecnológico de Monterrey. El objetivo del Estudio Hidrológico del ITESM fue determinar los flujos de inundación del diseño para los períodos de retorno con probabilidad de 20%, 10%, 2%, 1%, 0.2% y 0.1% por año para el Río Santa Catarina en lugares seleccionados a lo largo del río desde la Presa Rompepicos aguas abajo a través de la ciudad de Monterrey en el estado de Nuevo León, México. Las ubicaciones seleccionadas incluyen la Presa Rompepicos, la entrada aguas arriba de la ciudad y las estaciones hidrométricas de Monterrey y Cadereyta (Tabla 1).

Tabla 1Ubicaciones seleccionadas de los flujos de inundación de diseño

Ubicación	Área de drenaje (km2)
Justo aguas abajo de la Presa Rompepicos	717
Aguas arriba de entrada a Monterrey	1,097
Medidor II Monterrey	1,327
Medidor Cadereyta	1,786

Los flujos estimados del período de retorno serán utilizados en el diseño y desarrollo del proyecto de reconstrucción de la Ciudad de Monterrey. El Estudio Hidrológico del ITESM presenta dos métodos independientes para estimar las descargas máximas del período de retorno seleccionado en estas localidades del Río Santa Catarina. Los métodos son:

1. Análisis de frecuencia de las descargas máximas anuales de un registro de compuesto de la descarga máxima anual en una estación de medición en la cuenca hidrográfica

2. Conversión de las estimaciones de la precipitación del período de retorno a flujos máximos del periodo de retorno utilizando el modelo computarizado HEC-HMS de lluvia-escorrentía

ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DE DESCARGAS MÁXIMAS ANUALES

REVISIÓN DE DATOS

El Estudio Hidrológico del ITESM describe un análisis estadístico de frecuencia de inundación realizado en un registro compuesto de datos de flujo máximo anual estimado y observado, estos datos se derivan de las siguientes fuentes:

1. 1896 -1927: flujos máximos derivados de los datos estimados de precipitación para el área de Monterrey (proporcionados por GASIR)

2. 1928 -1940: flujos máximos derivados de los datos estimados en la estación hidrométrica de la presa El Cuchillo (proporcionados por GASIR)

3. 1941-1986; 1988; 1991-1995: flujos máximos observados en medidor de corriente de Monterrey proporcionados por la CNA

4. 1989-1990; 1996-2009: flujos máximos derivados de los flujos observados en el medidor de corriente Cadereyta II (calculado para este estudio)

5. 2005, 2010: se desarrollaron flujos máximos alternativos para los huracanes Emily & Alex; utilizando los registros de precipitación observados y el modelo de precipitación-escorrentía (calculado para este estudio)

Estos datos se presentan en forma tabular en la Tabla 7.1 del Estudio Hidrológico del ITESM; los datos de niveles máximos anuales se han trazado con el fin de comprender mejor las interrelaciones entre los datos (Figura 1].

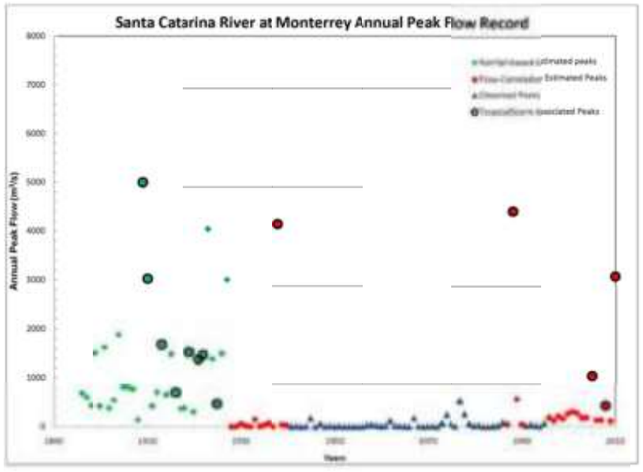


Figura 1. Registro anual de picos de flujo de Monterrey

El registro de flujo máximo para el Río Santa Catarina, como se puede ver en la Figura 1, es característico de un río de medio ambiente árido, con picos máximos anuales frecuentes, muy bajos, intercalados con eventos de inundación extrema poco frecuentes.

Sin embargo, una revisión de los datos anuales de flujo máximo indica algunas inconsistencias entre los datos estimados para el período 1896-1927 y los datos observados y estimados para el período restante de registro. Hay muchos eventos de tormentas relativamente grandes durante el período 1896-1927 y los datos trazados indican que los picos de menor o "normal" magnitud son significativamente mayores que los observados o estimados durante el período subsiguiente. Una revisión adicional muestra que 18 de los 32 picos anuales estimados para el período 1896-1927, o 56%, superaron los 1,000 metros cúbicos por segundo (cms). En comparación, durante el período subsiguiente, 1928 - 2010, sólo 4 de 83, o 5%, de los picos anuales superaron los 1,000 cms. Además, durante el período 1896 - 1927, el promedio de los picos que no superaron los 1,000 cms fue de 530 cms, mientras que durante el período subsiguiente hasta 2010, el promedio de picos no superiores a 1,000 cms fue de 76 cms. Como tal, parece que los picos anuales estimados para el período 1896-1927 no son característicos del período restante del registro y pueden estar sobreestimados.

El Estudio Hidrológico del ITESM identifica los huracanes y las depresiones tropicales como una de las principales fuentes de muchos de los eventos de inundación extrema en el registro anual de flujo máximo para el Río Santa Catarina. El estudio presenta un mapa que muestra las huellas históricas de una serie de huracanes o tormentas tropicales, pero no identifica los años con respecto a los cuales los picos de inundación están asociados con estos eventos de tormentas tropicales, que no sean 1988 (Huracán Gilbert), 2005 (Huracán Emily), 2008 (Huracán Dolly) y 2010 (Huracán Alex). Nuestra revisión independiente de la información histórica de tormentas de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), el Centro Nacional de Huracanes, Base de Datos Histórica de Huracanes en línea (http://csc.noaa.gov/hurricanes/#) muestra que 44 huracanes, tormentas tropicales, o depresiones tropicales pasaron dentro de las 160 millas náuticas de Monterrey durante el período de registro de 1896 - 2010 para el Río Santa Catarina (Tabla 2).El radio de 160 millas fue seleccionado para el análisis porque era el radio mínimo que incluyó el huracán Alex (2010).

Los datos históricos de las tormentas se compararon con el registro de flujo máximo para seleccionar entre los eventos de inundación causados por tormentas tropicales o huracanes y eventos de inundación no causados por estos eventos de tormentas. Esta comparación no es precisa porque sólo se proporciona el año del suceso, no la fecha real del mismo, para los picos de inundación anuales. Sin embargo, los informes periodísticos (Barbash, 1988) indican que en Monterrey se han producido grandes inundaciones en 1909, 1933, 1938, 1945, 1967 y 1988; Desde entonces se han producido grandes inundaciones en 2005, 2008 y 2010.Este registro histórico no corresponde directamente con el registro de flujo máximo para el Río Santa Catarina; ya que tal parece que para algunos de los años listados las inundaciones que afectaron a la ciudad pueden haber resultado de las inundaciones de afluentes en determinados puntos y no una inundación general de la corriente principal del río.

Tabla 2. Huracanes y tormentas tropicales en el área de Monterrey 1896-2010

Año	Nombre de tormenta	Fuerza	Fecha de inicio	Fecha de Fin
2010	Alex	H2	6/25/2010	7/19/2010
2008	Dolly	H2	7/20/2008	7/27/2008
2005	Emily	H5	7/11/2005	7/21/2005
2003	Erika	H1	8/14/2003	8/17/2003
2002	Fay	TS	9/5/2002	9/11/2002
2000	Beryl	TS	8/13/2000	8/15/2000
2000	Keith	H4	9/28/2000	10/6/2000
1999	Bret	H4	8/18/1999	8/25/1999
1999	Sin Nombre	--	9/5/1999	9/7/1999
1994	Rosa	H2	10/8/1994	10/15/1994
1993	Arlene	TS	6/18/1993	6/21/1993
1989	Cosme	H1	6/18/1989	6/23/1989
1988	Gilbert	H5	9/8/1988	9/20/1988
1983	Barry	H1	8/23/1983	8/29/1983
1981	Sin Nombre	TD	7/25/1981	7/26/1981
1981	Sin Nombre	TD	8/26/1981	8/29/1981
1980	Allen	H5	7/31/1980	8/11/1980
1979	Sin Nombre	TD	8/25/1979	8/28/1979
1978	Sin Nombre	TD	9/8/1978	9/10/1978
1975	Carolina	H3	8/24/1975	9/1/1975
1971	Sin Nombre	TD	7/10/1971	7/11/1971
1971	Fern	H1	9/3/1971	9/13/1971
1970	Ella	H3	9/8/1970	9/13/1970
1967	Beulah	H5	9/5/1967	9/22/1967
1959	Sin Nombre	ET	10/23/1959	10/29/1959
1958	Alma	TS	6/14/1958	6/16/1958
1954	Alice	H1	6/24/1954	6/26/1954
1947	Sin Nombre	TS	7/31/1947	8/2/1947
1945	Sin Nombre	TS	7/19/1945	7/22/1945
1944	Sin Nombre	TS	8/19/1944	8/23/1944
1936	Sin Nombre	TS	9/10/1936	9/14/1936
1934	Sin Nombre	H1	7/21/1934	7/26/1934

1933	Sin Nombre	H1	7/25/1933	8/5/1933
1933	Sin Nombre	H3	8/28/1933	9/5/1933
1928	Sin Nombre	TS	9/1/1928	9/8/1928
1925	Sin Nombre	TS	9/6/1925	9/7/1925
1922	Sin Nombre	TS	6/12/1922	6/16/1922
1921	Sin Nombre	H1	9/4/1921	9/8/1921
1919	Sin Nombre	H4	9/2/1919	9/16/1919
1916	Sin Nombre	TS	8/4/1916	8/6/1916
1910	Sin Nombre	TS	8/26/1910	8/31/1910
1910	Sin Nombre	H2	9/5/1910	9/15/1910
1909	Sin Nombre	H2	6/25/1909	6/30/1909
1909	Sin Nombre	TS	8/6/1909	8/10/1909
H1 - H5 = Huracán Categoría 1 - 5; TS = Tromenta Tropical; TD = Depresión Tropical; ET = Extra Tropical				

REVISIÓN DE MÉTODOS

Se revisaron los siguientes métodos utilizados en el estudio del ITESM.

1. Recopilación de flujos máximos anuales - En el Estudio Hidrológico del ITESM no se proporcionan descripciones detalladas de los métodos utilizados para desarrollar los flujos máximos estimados que componen una gran parte de los registros de flujos máximos. Las estimaciones de flujo máximo, sin embargo, fueron proporcionadas por la CONAQUA, la agencia nacional de recursos hídricos de México. La revisión de los registros y la evaluación de la información histórica dio como resultado las siguientes observaciones generales:

   • El registro de flujo máximo para el período 1896 - 1995 (con la excepción de 1987, 1989 y 1990) fue desarrollado por GASIR / CONAQUA y representa los mejores datos disponibles.
   • El Informe publicado (ASCE, 1910. Procedimientos de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, Volumen 36, Parte 2) proporciona una estimación del flujo de pico de inundación de 1909 como 6650 cms (en comparación con la estimación de 5000 cms proporcionada en el registro GASIR / CONAQUA).
   • Los flujos máximos estimados para el período 1896-1927 no son coherentes con el registro restante. Los flujos máximos derivados de la precipitación parecen tener flujos máximos mínimos significativamente más altos.
   • El registro restante parece bastante homogéneo; conformado principalmente de picos relativamente pequeños, incluyendo algunos años de picos de flujo cero, intercalados con algunos eventos bastante extremos, como es típico en el registro de flujos máximos en regiones áridas.
   • No está claro cuáles de los picos de flujo estimados para el huracán Emily (2005) son más confiables; ya que es difícil evaluar la exactitud del flujo máximo estimado para el huracán Alex (2010).

2. Distribución Doble Gumbel - El Estudio Hidrológico del ITESM describe la distribución extrema Doble Gumbel, que se utiliza en el análisis de la frecuencia de inundación. La distribución de Doble Gumbel es un análisis de probabilidad dividida, en el que la probabilidad de eventos ciclónicos y no ciclónicos se calculan por separado y luego se combinan para determinar la distribución de probabilidad general. Este enfoque es razonable y está bien apoyado en estudios (López, 2004); sin embargo, parece que en el Estudio Hidrológico del ITESM la segregación de las inundaciones máximas anuales en eventos ciclónicos o no ciclónicos se realizó con base en un procedimiento estadístico diseñado para evaluar la distribución de los picos anuales en lugar de revisar el registro climático e identificar y separar las inunaciones máximas anuales asociadas únicamente con eventos ciclónicos históricos. Debido a que los eventos de inundación de magnitud similar pueden resultar de eventos ciclónicos o no ciclónicos, la segregación basada estadísticamente del registro puede conducir a una segregación errónea del registro.

3. Escenarios de Frecuencia de Inundaciones - El Estudio Hidrológico del ITESM describe 10 escenarios para la evaluación usando análisis de frecuencia de inundación; los escenarios se presentan en la Tabla 3. Estos escenarios presuponen errores en la estimación de los grandes flujos máximos, pero no consideran que los flujos moderados a bajos estimados son también inciertos. Como se señaló anteriormente, los flujos estimados para el período 1896 - 1927 parecen ser inconsistentes con los flujos observados consistentemente más bajos registrados después de 1927. El informe del estudio presenta una evaluación de cada escenario y selecciona el escenario 5 como el más apropiado. Este escenario incluye todos los flujos máximos estimados, excepto los de más de 4,000 cms; este enfoque elimina del análisis de frecuencia el más crucial de los flujos estimados; por ejemplo, los asociados con los principales eventos de inundación de 1909, 1923, 1938 y 1988. Aunque la magnitud exacta de los flujos máximos de estos eventos puede ser desconocida, la magnitud relativa y la naturaleza histórica de estos eventos están bien documentadas. Como tal, nuestra opinión es que la exclusión de estos registros anuales de flujo máximo conducirá a una subestimación de los resultados finales de la frecuencia de inundación. Además, el análisis de frecuencia del ITESM utiliza el período completo de registro de 1896 a 2010, pero no tiene en cuenta la alteración de los flujos después de la terminación de la Presa Rompepicos en 2004. Se prevé que la magnitud de las descargas máximas en el medidor de Monterrey desde la terminación de la presa sea diferente a la de 2004. Por lo tanto, se recomienda que sólo se utilicen los flujos antes de 2004 para el análisis o que los flujos se utilicen después de 2004, las estimaciones anuales de flujo máximo deben revisarse para tener en cuenta el impacto de la presa.

Tabla 3. Resumen de los escenarios de frecuencia de inundación del ITESM y resultados de flujo del período de retorno

Scenario	Descripción del Escenario	Período de Retorno (Años) y Descargas (cms)							
		5	10	20	50	100	200	500	1000
Escenario 1	Incluir el registro completo del flujo máximo, incluyendo los flujos máximos estimados, excepto los flujos máximos para 2005 y 2010 estimados utilizando modelos de precipitación-escorrentía. Incluir todos los datos mostrados en la tabla 2, con la excepción de los datos marcados con un asterisco.	• 658	• 1,122	• 3,011	• 4,289	• 4,981	• 5,622	• 6,437	• 7,049
Escenario 2	Igual que el escenario 1, pero incluyendo los flujos calculados para los huracanes Emily y Alex.	606	1,865	2,890	4,074	4,925	5,759	6,855	7,679
Escenario 3	Igual que en el escenario 1, pero eliminando los flujos del huracán Gilberto (1988), Y eliminando flujos mayores de 3,000 m3/s deducidos por el [modelo] precipitación-escorrentía.	429	910	1,563	1,714	1,813	1,907	2,028	2,120
Escenario 4	Igual que en el escenario 3, pero eliminando flujos de más de 4,000 m3 / s.	493	1,207	1,758	2,394	2,852	3,301	3,890	4,331
Escenario 5	Igual que el escenario 4, pero agregando los flujos para los huracanes Alex y Emily.	504	1,327	1,939	2,631	3,125	3,610	4,243	4,718
Escenario 6	Igual que el escenario 3, pero eliminando flujos de más de 5,000 m3 / s	498	1,438	2,270	3,222	3,904	4,573	5,450	6,110
Escenario 7	Incluir sólo los caudales registrados en la estación hidrométrica (EH) "Monterrey". Esto es: no considere flujos calculados por ningún método. Período de 1941 a 1995.	82	136	332	3,608	5,701	7,683	10,232	12,143
Escenario 8	Igual que el escenario 7, pero agregando los flujos obtenidos por el método de precipitación-escorrentía para los huracanes Alex y Emily.	123	216	1,549	4,397	6,179	7,867	10,043	11,671
Escenario 9	Incluir todos los datos registrados entre 1941 y 2010, pero considerando los flujos obtenidos con el modelo de precipitación-escorrentía para los huracanes Alex y Emily (años 2005 y 2010).	182	298	596	3,791	5,692	7,452	9,697	11,364
Escenario 10	Igual que el escenario 9, pero eliminando los flujos del huracán Gilbert.	169	268	440	2,137	3,465	4,695	6,261	7,434

Esta tabla fue preparada a partir de la información de las Tablas 7.2 y 7.5 del Estudio Hidrológico del ITESM

Fin del Documento

EVALUACIONES INDEPENDIENTES

Con base en nuestra revisión de los datos y métodos presentados en el Estudio Hidrológico del ITESM, se realizaron evaluaciones independientes adicionales para comprender mejor las inundaciones del diseño que pueden caracterizar las inundaciones pasadas y el futuro potencial de inundaciones en Monterrey.

1. Ejecuciones de Análisis de Frecuencia del Software AX Adicionales.- Se ejecutó el software AX para realizar el análisis de Double Gumbel presentado en el estudio del ITESM. La intención al obtener el software fue reproducir los resultados presentados en el estudio del ITESM y realizar análisis adicionales para modificar la estimación de la inundación de probabilidad de 0.1% por año utilizando las mismas metodologías presentadas en el estudio del ITESM. Los flujos máximos anuales utilizados para los 10 escenarios se ingresaron en el programa de software AX; sin embargo, no pudimos reproducir los números exactos presentados en el estudio. Se supone que los parámetros globales que no estaban documentados en el informe del ITESM fueron ajustados. Sin embargo, en la mayoría de los casos, nuestros valores estimados de flujo de probabilidad de 0.1% por año para cada escenario fueron cercanos a los estimados por el ITESM. Luego se utilizó el software AX para ejecutar tres escenarios adicionales.

    - Eliminar los flujos después de 2004 (flujos de la presas post-Rompepicos) y los flujos estimados antes de 1927, excepto los flujos altos por encima de los 3,000 cms. El umbral de 3,000 cms se utilizó para eliminar del análisis todos los flujos estimados antes de 1927 que no fueran picos históricamente significativos. El valor de 3,000 cms se estimó basándose en la revisión del registro completo de flujo máximo. Utilizando las rutinas de Double Gumbel dentro de AX, esto produjo un flujo de probabilidad de 0.1% por año de 6,306 cms.
    - Escenario 2 - Eliminar los flujos después de 2004 (flujos de presas post-Rompepicos) y los flujos estimados antes de 1927, excepto los flujos altos por encima de 3,600 cms. El umbral de 3,000 cms se utilizó para eliminar del análisis todos los flujos estimados antes de 1927 que no fueran picos históricamente significativos. El valor de 3,600 se calculó utilizando la metodología del umbral pico alto o histórico del Boletín 17B (Comité Asesor Interagencial sobre Datos del Agua, 1982). Utilizando las rutinas de Double Gumbel dentro de AX, esto produjo un flujo de probabilidad de 0.1% por año de 6,215 cms.
    - Escenario 3 - Ejecutar dos análisis separados, dividiendo físicamente los datos ciclónicos y no ciclónicos en dos conjuntos de datos diferentes. Esto produjo un flujo de probabilidad de 0.1% por año de 8,601 cms.

2. Métodos alternativos de análisis de frecuencia - Se aplicaron varios métodos alternativos de análisis de frecuencia a los datos de flujo máximo anual para derivar de forma independiente las estimaciones de los flujos de períodos de retorno. Los resultados se indican en la Figura 2.
    - Trazado Weibull de picos anuales - El trazado Weibull es una técnica utilizada para trazar los flujos máximos registrados en una gráfica estadística. Los picos anuales registrados se clasifican (o se ordenan) de mayor a menor y se asignan probabilidades a cada flujo en función de la duración del período de registro. Por ejemplo, se podría esperar que una inundación de probabilidad de 2% por año se excediera dos veces durante un período de registro de probabilidad de 1% por año. El propósito de utilizar posiciones de trazado es proporcionar un punto de comparación para diversas distribuciones.
    - Boletín 17B Probabilidad Combinada - Las directrices del Boletín 17B (Comité Asesor Interagencial sobre Datos del Agua, 1982) ecomiendan procedimientos para estimar el riesgo de inundación con base en el pico máximo de inundación (la denominada "inundación anual") cada año. Este análisis arroja estimaciones de la probabilidad de que la inundación anual en cualquier año sea mayor que (o menor que) cualquier caudal especificado. Para poblaciones mixtas, como el caso presentado en este informe, donde algunos picos son causados por huracanes y otros no, a menudo se recomienda que los análisis se realicen por separado en cada población y se combinen las probabilidades. El registro de flujo máximo se segregó en muestras de poblaciones relacionadas con huracanes y no relacionadas con huracanes, utilizando los datos presentados en la Tabla 2. Cada muestra de población se ajustó entonces a una distribución logarítmica de tipo II de Pearson, de acuerdo con las directrices del Boletín 17B. La probabilidad combinada puede calcularse asumiendo que la probabilidad de ocurrencia de un evento relacionado o no relacionado con un huracán en cualquier año dado es independiente. Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 4.

- Boletín 17B Corrección Histórica - Las directrices del Boletín 17B (Comité Asesor Interagencial sobre Datos sobre el Agua, 1982) también proporcionan procedimientos para estimar el riesgo de inundación con base en el período sistemático de registro, junto con los flujos pico históricos que ocurrieron durante o fuera del registro sistemático. En este caso, los flujos máximos estimados para el período 1896-1927 fueron tratados como fuera del registro sistemático. La corrección histórica del registro se calculó para el período 1896 - 2010 (115 años). Los flujos máximos que exceden el umbral del pico histórico calculado de 3,600 cms, fueron tratados como picos históricos, independientemente de si ocurrieron dentro o fuera del registro sistemático. Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 4.

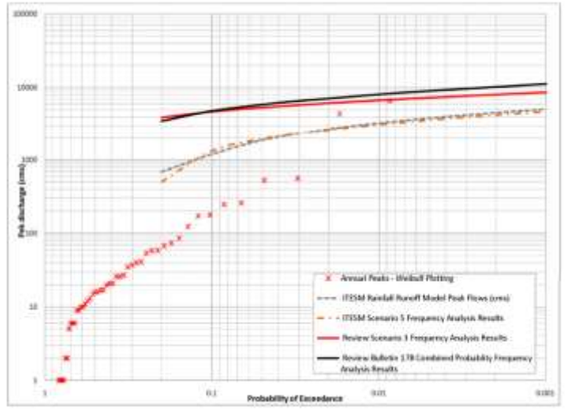
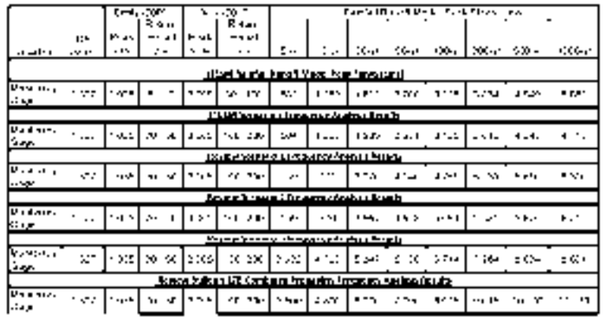


Figura 2. Comparación de Curvas de Frecuencia para el Río Santa Catarina en Monterrey

3. Probabilidad Condicional - Se han completado los cálculos para contabilizar los años de flujo cero (probabilidad condicional) y se presentan en la Tabla 4 y la Figura 2 para comparación.

Tabla 4. Comparación de los flujos máximos del estudio hidrológico del ITESM con flujos calculados



4. Comparaciones con los flujos máximoss observados - Una excepción notable del Estudio Hidrológico del ITESM es la ausencia de una comparación de los flujos pico de frecuencia de inundación estimados teóricamente con los flujos máximos observados en las proximidades de Monterrey y México en general. Por lo tanto, se realizó una comparación de los flujos resultantes del período de retorno del Estudio Hidrológico del ITESM con las curvas envolventes (relaciones regionales entre los flujos de picos máximos observados y el área de drenaje asociada). La Figura 3 muestra una gráfica de las descargas unitarias históricas máximas (máxima descarga registrada dividida por el área de la cuenca respectiva) en comparación con el área de la cuenca. La gráfica de datos fue proporcionada por el ITESM (Ramírez, 2011) y los datos de apoyo utilizados para crear la gráfica han sido solicitados para entender mejor la relación de los puntos de datos (es decir, la ubicación geográfica - región hidrológic y fecha de evento de inundación asociada con cada punto de datos) con los flujos máximos del Río Santa Catarina. Cuando el ITESM recomienda un flujo de diseño de probabilidad de 0.1% por año de 5,083 cms (según lo estimado por el modelo hidrológico discutido en la siguiente sección) se convierte en una descarga unitaria de 3.8 cms/km2 (5.083 cms dividido por 1,327 km2) el punto de datos resultante está situado cerca del borde superior de la masa de los puntos de datos; sin embargo, los puntos de datos para un área de cuenca de tamaño similar se muestran hasta un valor de descarga unitaria de 10 cms/km2 que corresponde a un flujo máximo de aproximadamente 13,270 cms. Una vez más, nuestra recepción y revisión de los datos de apoyo permitirán una asociación de la región hidrológica con cada punto de datos para determinar si los flujos máximos observados de cuencas con área similar al Río Santa Catarina en Monterrey han ocurrido en o cerca de la misma región hidrológica o si estos puntos de datos particulares representan cuencas en otras regiones hidrológicas con mayor potencial de precipitación. Esta última condición daría más justificación al valor de 5,083 cms para una inundación de probabilidad de 0.1% por año porque se puede suponer que los flujos máximos más altos ocurren en regiones donde el potencial de precipitación es más alto que en la proximidad de Monterrey.

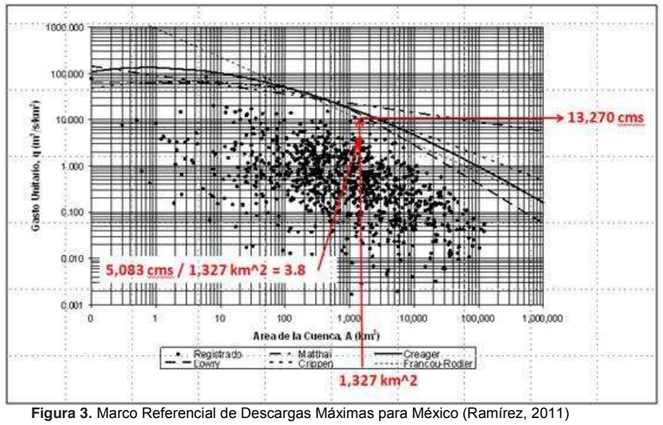


Figura 3. Marco Referencial de Descargas Máximas para México (Ramírez, 2011)

5. Comparación con curvas envolventes de inundación - Las curvas envolventes de inundación pueden proporcionar un contexto para la comparación de los flujos de inundación de diseño estimados con los eventos reales de inundación observados. Una curva común es la curva de Creager, que se basa principalmente en datos estadounidenses. La curva Creager representa una relación entre la descarga unitaria (q) y el área de drenaje (A) que tiene una forma cóncava descendente en una gráfica de registro. Una curva Creager se representa en la Figura 3 como la línea oscura sólida y parece representar la tendencia central de las otras curvas envolventes de inundación trazadas en la misma figura. La curva tiene un coeficiente (C) aplicado a ella, que oscila entre 30 y 100 en la publicación original. A menudo se considera que este coeficiente es una medida de la gravedad de la inundación independientemente del área de la cuenca.

Para los 1,327 km2 de área de cuenca afluente al medidor de Monterrey, se estimaron los siguientes flujos de inundación para valores variables de C: 8,135 cms (C = 100); 4,881 cms (C = 60); y 2,440 cms (C = 30). La estimación del ITESM de probabilidad de 0.1% por año está dentro de este rango de coeficientes comúnmente utilizados. Los 13,200 cms previstos por el Boletín 17B caen en el borde superior de estas curvas. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que las curvas envolventes de inundación representan picos observados durante el período de registro disponible - que en muchos casos es del orden de 100 años o menos. Por lo tanto, se espera que el evento de probabilidad de 0.1% por año caiga en el extremo superior de estas curvas. Ninguna otra curva envolvente de inundación para México podría localizarse fácilmente, por lo que también se hizo referencia a las curvas para otras regiones de América del Norte. Por ejemplo, la Figura 4 proporciona curvas envolventes de inundación para la Cuenca del Colorado, una cuenca significativa en los EE.UU. al norte de México. La estimación de la inundación del ITESM de probabilidad de 0.1% por año (5,083 cms para un área de cuenca de 1,327 km2) parece estar a lo largo de la línea de la curva envomlvente para los "datos medidos e históricos". La Figura 5 muestra una curva envolvente de inundación para el oeste de EE.UU. y la estimación de probabilidad de 0.1% por año del ITESM está ligeramente por debajo de esta curva envolvente. La Figura 6 proporciona un mayor muestreo de datos en los EE.UU. y Puerto Rico y la estimación del ITESM de probabilidad de 0.1

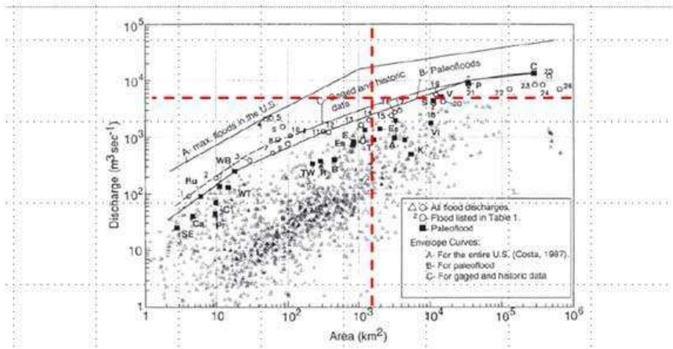


Fig. 2 Los datos más extensos de descarga máxima modernos, históricos y de paleo-inundaciones para cada estación o sitio en la cuenca del Río Colorado y las curvas envolventes: la totalidad de los Estados Unidos (Curva A) los datos de paleo-inundaciones (Curva B) y la cuenca de drenaje del Río Colorado (curva C) del U.S. Bureau of Reclamation [1990], que construyó la curva para cuencas de drenaje con áreas >250 km2. Se amplió la curva (línea discontinua) para abarcar cuencas con áreas de drenaje más pequeñas. Los triángulos y los círculos denotan todos los datos disponibles para las magnitudes de inundación más grandes en cada sitio medido o no medido; los círculos indican aquellos puntos de datos que pueden afectar las curvas envolventes (Tabla 1, Figura 1). Los cuadrados sólidos denotan los datos de paleo-inundaciones (Tabla 2, Figura 1).

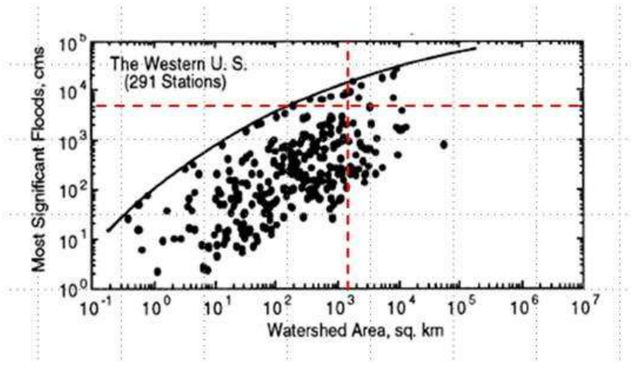


Figura 5. Curvas envolventes de inundación para regiones de los Estados Unidos (Chang et al, 2004)

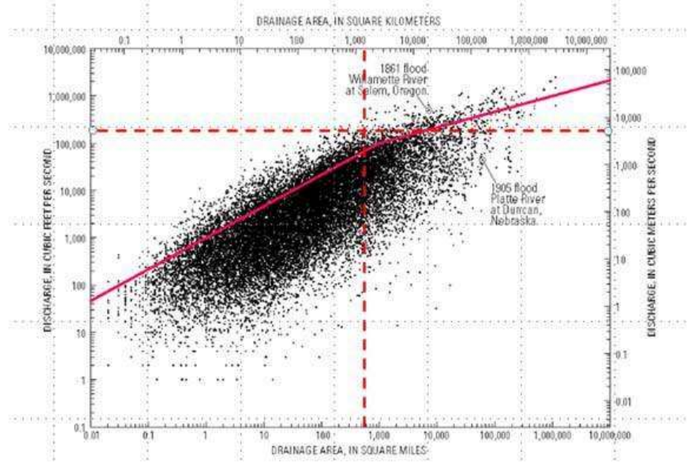


Figura 6. Mayores flujos anuales en los EE.UU. y Puerto Rico (O'Connor y Costa, 2003)

RESULTADOS

Los siguientes resultados clave fueron identificados a partir de nuestra revisión del Análisis de Frecuencia de Inundaciones del ITESM:

1. El período anual de pico máximo de registro (114 años de 1896 a 2010) es generalmente suficiente en longitud de tiempo para calcular estimaciones confiables de los flujos del período de retorno hasta eventos con probabilidad de 1%-0.2% por año; es decir, una "regla general" sugiere que la inundación extrema que se puede predecir con un nivel de confianza razonable es aproximadamente el doble del período de registro (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU., 1994).
2. La extrapolación de los 114 años de datos para estimar el evento de inundación de probabilidad de 0.1% por año introduce una incertidumbre significativa.
3. El análisis de precipitación-escorrentía depende de un análisis de frecuencia de los datos de precipitación que puede incluir tanta incertidumbre como el análisis de los datos de inundación; hay un error adicional debido a la conversión de la precipitación al flujo máximo.
4. Las descargas máximas anuales estimadas para el período de registro de 1896-1927 no son características del período restante de registro y pueden sobreestimarse.
5. La segregación de las inundaciones máximas anuales en eventos ciclónicos o no ciclónicos se realizó con base en un procedimiento estadístico diseñado para evaluar la distribución de los flujos máximos anuales en lugar de revisar el registro climático e identificar y separar las inundaciones máximas anuales asociadas únicamente con eventos ciclónicos históricos. Debido a que los eventos de inundación de magnitud similar pueden resultar de eventos ciclónicos o no ciclónicos, la segregación basada estadísticamente en el registro puede conducir a una segregación errónea del registro

6. El Estudio Hidrológico del ITESM presenta una evaluación de cada escenario y selecciona el Escenario 5 como el más apropiado. Este escenario incluye todos los flujos máximos anuales estimados, excepto los de más de 4,000 cms; este enfoque elimina del análisis de frecuencia el más crucial de los flujos estimados; por ejemplo, los flujos asociados con los principales eventos de inundación de 1909, 1923, 1938 y 1988. Aunque puede ser que la magnitud exacta de los flujos máximos de estos eventos sea desconocida, la magnitud relativa y la naturaleza histórica de estos eventos están bien documentadas. Como tal, es nuestra opinión que la exclusión de estos registros de flujo máximo anual conducirá a una subestimación de los resultados finales de la frecuencia de inundación.
7. El análisis de frecuencia del ITESM utiliza el período completo de registro de 1896 a 2010, pero no tiene en cuenta la alteración de los flujos después de la terminación de la Presa Rompepicos en 2004. Se prevé que la magnitud de las descargas máximas en el medidor de Monterrey desde la terminación de la presa sea diferente a la de 2004. Por lo tanto, se recomienda que sólo se utilicen los flujos antes de 2004 para el análisis y que las estimaciones se revisen para tener en cuenta el impacto de la presa.
8. El Estudio Hidrológico del ITESM concluye que "si el período de retorno para las obras de diseño establecidas es de 1000 años, entonces la descarga que se utilizará será de 5,083 cms". Durante un período de planificación de 100 años, a menudo considerado como la vida de diseño de varias estructuras de ingeniería, la probabilidad de una inundación de esta magnitud superada es de 10 por ciento. Esta misma inundación tiene un 0.1 por ciento de probabilidad de ocurrir en cualquier año.

RECOMENDACIONES

Las siguientes recomendaciones se proporcionan en respuesta a los resultados clave descritos anteriormente:

1. Estimación de Flujo Máximo de probabilidad de 0.1% por año - Es nuestra opinión que el Estudio Hidrológico del ITESM parece proporcionar una subestimación fr los flujos máximos del período de retorno para el Río Santa Catarina. En consecuencia, se recomienda recalcular los análisis de flujo máximo, incluyendo los eventos históricos de flujo máximo. Nuestros esfuerzos preliminares para hacer esto han dado lugar a estimaciones de lfujo máximo con probabilidad de 0.1% por año de 6,200 a 11, 200 cms (Tabla 4] con el valor probable cerca del extremo superior de este rango.

2. Selección de Frecuencia de Inundaciones - Una onclusión en el Estudio Hidrológico del ITESM es que "si el período de retorno para las obras de diseño establecidas es de 1,000 años, entonces la descarga a ser usada es de 5,083 cms". No se sabe por qué se ha seleccionado un período de retorno de probabilidad de 0.1% por año y es difícil determinar cuál será el flujo de diseño para los canales sin tener un modelo hidráulico completo. De las revisiones preliminares del programa HEC-RAS se desprende que el evento de probabilidad de 0.1% por año está fuera del banco para la mayoría de los tramos del canal y, por lo tanto, puede no ser el flujo de diseño más apropiado. Como alternativa a la inundación de diseño de probabilidad de 0.1% por año, sería lógico al menos considerar el riesgo de inundación presentado por las recientes inundaciones severas, como el huracán Alex en 2010 y el huracán Gilbert en 1988; se entiende que el flujo máximo estimado a partir del evento en 2010 en el indicador de Monterrey, utilizando el modelo de precipitación-escorrentía, fue de 3,065 cms y el flujo máximo registrado para el evento de 1988 fue de 4,400 cms. Estos valores corresponden en general a las descargas del período de retorno de probabilidad de 1%-0.2% por año del ITESM utilizando el análisis de frecuencia y el modelado hidrológico, como se muestra en la Tabla 7.27 del Estudio Hidrológico del ITESM. Por lo tanto, se recomienda que la selección de un evento de inundación de diseño debe considerar los eventos de inundación observados similares en magnitud a las tormentas tropicales recientes. Para fines de planificación, es importante entender la relación de una inundación de diseño de período de retorno de probabilidad de 0.1% por año con varios períodos de planificación. Por ejemplo, la Tabla 5 indica que durante un período de planificación de 100 años, a menudo considerado como la vida de diseño de varias estructuras de ingeniería, la probabilidad de que una inundación de esta magnitud sea excedida es de 10 por ciento. Esta misma inundación tiene un 0.1 por ciento de probabilidad de ocurrir en cualquier año.

Tabla 5. Probabilidad (en porcentaje) de que se exceda una inundación de diseño (NRC, 1985)

Average Return Period of Design Flood (yr)	Length of Planning Period (yrs)				
	1	25	50	100	200
25	4	64	87	98	100
50	2	40	64	87	98
100	1	22	39	63	87
200	0.5	12	22	39	63
1,000	0.1	3	5	10	20
10,000	0.01	0.25	0.5	1	2
100,000	0.001	0.025	0.05	0.1	0.2
1,000,000	0.0001	0.002	0.005	0.01	0.02

3. Incertidumbre de estimaciones de flujo extremo - La incertidumbre de la estimación de un valor de inundación de diseño único debe ser reconocida en el proceso de planificación maestral. Esto se puede lograr estableciendo características de las secciones del canal del río de diseño basadas en un rango de flujos (etapas), por ejemplo, las porciones superiores del canal pueden ajustarse a un flujo (etapa) definido por un límite de confianza superior flujo de diseño de probabilidad de 0.1% por año (quizá en el intervalo de confianza del 75%). También se debe considerar el uso de una altura de francobordo por encima de la elevación del agua del diseño para ajustarse la incertidumbre en la estimación del flujo de diseño.

REVISIÓN DEL MODELO de pecipitación-escorrentía HEC-HMS del ITESM

REVISIÓN DE DATOS

Los siguientes datos se utilizaron en el desarrollo del modelo HEC-HMS:

1. Datos de meteorología - Los datos de precipitación estaban disponibles a partir de un número de medidores de precipitación que tenían por lo menos 15 años de registros.
2. Datos topográficos - En el estudio se utilizaron cuatro fuentes de datos a diversas escalas para determinar los límites de la cuenca y de la subcuenca. Los datos incluyeron datos de contorno de 20 metros desarrollados a una escala de 1:50,000 y 1: 250: 000 y también se usó un modelo digital de terreno de 30 metros (DTM) a una escala de 1:50,000.
3. Datos de los Elementos de la Subcuenca - Se usaron datos de suelos, vegetación y uso de la tierra para estimar los parámetros de pérdida de la subcuenca. Los tiempos de retraso de la subcuenca (transformación), se basaron en una ecuación que relaciona la longitud y la pendiente del recorrido del flujo con el tiempo de recorrido.
4. Datos de los Elementos del Tramo - Se usó el método de Muskingum para estimar el enrutamiento a través de la cuenca. El método de Muskingum utilizó datos topográficos para estimar la longitud y la pendiente del canal.
5. Datos de los Elementos del Depósito - La Presa Rompepicos fue modelada usando una relación de Etapa / Almacenamiento / Descarga que tomó en cuenta la altura de la presa y las estructuras de salida (orificio y vertedero).

REVISIÓN DE MÉTODOS

Los siguientes métodos se utilizaron en el desarrollo del modelo HEC-HMS:

1. Meteorología
   - Análisis de frecuencia - El análisis de frecuencia de precipitación se realizó utilizando una distribución de probabilidad de Doble Gumbel para desarrollar relaciones de frecuencia para los registros históricos de precipitaciones.
   - Precipitación - Se utilizó el polígono de Thiessen para determinar la ponderación del pluviómetro para todas las 19 subcuencas y se determinaron las distribuciones estacionales de precipitación típicas para todos los pluviómetros.
   - Evaporación / ET - No utilizado
   - Deshielo - No utilizado
2. Elementos de la Subcuenca
   - Delimitación de la subcuenca - La cuenca fue subdividida en 19 subcuencas debido a la variación espacial de la topografía, la vegetación, los suelos y la precipitación. Las áreas de la subcuenca contribuyentes se delinearon utilizando herramientas SIG y modelos de elevación digital de escala 1:50,000. La figura 7 ilustra las subcuencas utilizadas en el modelo HEC-HMS del Río Santa Catarina.

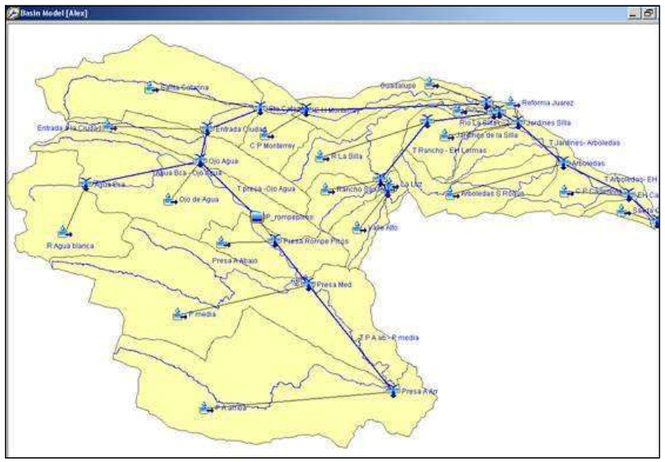


Figura 7. Interfaz de modelo de cuenca HEC-HMS para la cuenca de Santa Catarina

   - Método Dosel - No utilizado
   - Método de Pérdida - Método de Número de Curva NRCS para determinar las tasas de pérdida.
   - Método de Transformación - El hidrograma de la unidad NRCS se desarrolló utilizando un evento de tormenta real en lugar del hidrograma unitario sintético.

3. Elementos del tramo
   - Método de Enrutamiento - El método de Muskingum se utilizó para enrutar los flujos de subcuenca en los tramos de los canales.
   - Presa de Rompepicos - Se usó una relación de Etapa / Almacenamiento / Descarga para enrutar flujos de subcuenca a través de la presa.

- Calibración del modelo - El modelo hidrológico fue calibrado usando tres tormentas; los huracanes Gilbert, Emily y Alex con la calibración de los flujos del modelo a los flujos registrados en Monterrey EH II, EH Lermas,

Sitios de medición de corriente de HD Cadereyta II y presa Rompepicos. Para el huracán Gilbert, el flujo simulado en EH Monterrey usando HEC-HMS fue 4,559 cms frente a un flujo estimado de 4,400 cms proporcionado por la Comisión Meteorológica Nacional (NWC), véase la Figura 8 a continuación. Para el huracán Emily en EH Lermas, el flujo simulado utilizando HEC-HMS fue de 512.7 cms frente al flujo de 611.5 cms proporcionado por la NWC. El modelo se ajustó aumentando las CN en un 10% en esta cuenca. Para el huracán Emily, la precipitación media dentro de la cuenca fue reducida para coincidir con los flujos proporcionados por la NWC. Para el huracán Alex, el modelado fue realizado de manera similar al huracán Emily en el sentido que la variación espacial y temporal de la precipitación fue la misma y los factores de reducción se aplicaron a la precipitación en la cuenca. El flujo simulado utilizando HEC-HMS en EH Monterrey fue de 3065 cms frente a un flujo de 2500 cms según lo estimado por la CNA.

- Modelo de frecuencia de precipitación/escorrentía - Los números de las curvas y la variación espacial y temporal de la precipitación fueron escogidos de la fase de calibración y utilizados en el análisis de frecuencia para el evento de inundación con probabilidad desde 50% hasta 0.1% por año.

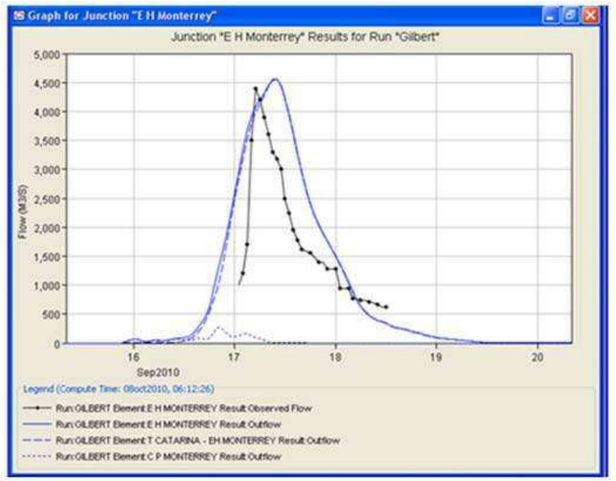


Figura 8. Resultados del modelo de calibración para el huracán Gilbert

RESULTADOS

Los siguientes resultados clave se identificaron a partir de nuestra revisión del modelo HEC-HMS:

1. Áreas de la Subcuenca - La delimitación de la cuenca y subcuencas utilizadas en el modelado hidrológico se realizó utilizando diversas fuentes de datos topográficos. El terreno montañoso en la cuenca superior y los patrones de drenaje crean subcuencas estrechas y alargadas que parecen definidas con precisión. En la cuenca inferior, el terreno más plano puede resultar en errores en los límites de la subcuenca debido a la falta de precisión de los datos del terreno y la infraestructura de transporte de tormentas.

   En una revisión de los datos del modelo HEC-HMS se encontró que dos de las seis subcuencas superiores tienen el área de la subcuenca errónea asignada a ellas. La Tabla 6 proporciona una comparación de las áreas en el modelo HEC-HMS con las de la capa de datos de la subcuenca de los SIG. Los valores proporcionados para las áreas de los SIG, coinciden con los presentados en la Tabla 6-1 del Estudio Hidrológico del ITESM. Según los SIG, hay una zona de subcuenca de 717 km2 afluente a la represa, mientras que el modelo sólo contiene 523 km2. La diferencia de 194 km2 se encuentra en una subcuenca diferente. Con base en los registros del modelo, también hay una pequeña discrepancia de 0.458 km2 entre las dos áreas comparadas.

Tabla 6. HEC-HMS y SIG Comparación del área de Subcuenca

Entidad HEC-HMS	Área HEC-HMS (km2)	Área de SIG (km2)	Entidad de SIG
P A arriba	325.298	325.298	Presa- Aguas arriba
P media	130.995	325.002	Presa-intermedia
Presa A Abajo	67.354	66.898	Presa-Aguas abajo
P_Rompepicos	**523.647**	**717.198**	**Represa/Presa**
R Agua blanca	308.515	114.506	Rancho Agua Blanca
Ojo de Agua	186.741	186.741	Ojo de Agua
Entrada a la ciudad	78.722	78.722	Entrada a la ciudad
Total Área de entrada a la ciudad	**1097.625**	**1097.167**	

Las áreas de los SIG se incorporaron al modelo HEC-HMS y se volvió a ejecutar el modelo dejando todas las demás variables ajustadas a sus valores originales. Los cambios en los flujos máximos estimados para el huracán Alex se muestran en la Tabla 7. Los flujos máximos fueron casi el doble desde la presa y más del doble desde la Cuenca Madia P cuando se usa el área de subcuenca correcta (más grande). El hidrograma resultante que entra en la Ciudad cambió de dos picos a uno con la sincronización del pico que entró en la Ciudad que cambió desde el 01 de julio de 2010 11:20 al 01 de julio de 2010 22:10. La Figura 9 muestra los hidrogramas que ingresan a la ciudad en base a las áreas originales y correctas de la subcuenca.

Tabla 7. Cambios de flujo máximo HEC-HMS con áreas de subcuenca corregidas

Entidad HEC-HMS	Flujo Máx. Original (cms)	Flujo Máx. Revisado (cms)	Cambio porcentaje
P media- Cuenca	538.0	1335.0	+148.1%
R Agua blanca - Cuenca	1436.0	533.0	-62.9%
P_rompepicos – Flujo de salida de la presa	654.9	1272.2	+94.3%
Entrada Ciudad – Unión	2341.0	1956.0	-16.4%

Con las zonas de subcuenca correctas, la subcuenca Agua Blanca disminuyó aproximadamente 200 km2. El flujo no regulado generado por la subcuenca menor de Agua Blanca redujo el pico del pico de inundación inicial. El mayor afluente de la subcuenca corregida de la presa Rompepicos generó mayores flujos entrando y saliendo de la presa, pero la capacidad de atenuación de la represa y la sincronización de los hidrogramas individuales de las subcuencas resultan en un menor flujo de entrada a la ciudad para el huracán Alex.

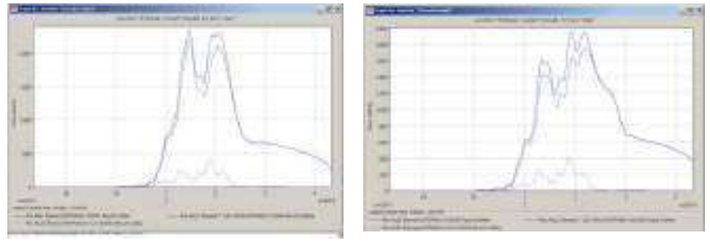


Figura 9. Comparación de los hidrogramas del huracán Alex entrando a Monterrey
(El hidrograma a la izquierda es para el Estudio Hidrológico del ITESM y el hidrograma a la derecha resulta de la corrección de las áreas de la subcuenca)

2. Números de Curva - Los valores del Número de Curva (CN) mostrados en la Tabla 6.25 y 7.20 del Estudio Hidrológico del ITESM no son los mismos valores que los utilizados en el Modelo de la Cuenta de Alex. Es probable que los valores de CN hayan cambiado durante el proceso de calibración del modelo. Se encontró que los modelos para los huracanes Alex y Emily usaron los mismos valores del CN más bajos (calibrados) mientras que para el huracán Gilbert y las Tormentas de Diseño (Catarina_Tr) se usaron los valores más altos del CN. La Tabla 8 resume los valores de CN utilizados en los esfuerzos de modelado.

Tabla 8. Comparación del número de curva de la subcuenca

HEC-HMS Subcuenca Tabla 6.25/7.20	(Catarina_Tr & Gilbert) CN HEC-HMS Calibrado	(Alex & Emily)
P A arriba	79	61.8
P media	79	64.5
Presa A Abajo	84	69
R Agua blanca	79	60.6
Ojo de Agua	82	66
Entrada a la ciudad	81	64.5

3. Tiempo de Concentración (Tc) - Tc es el tiempo para que la escorrentía viaje desde el punto hidráulicamente más distante de una cuenca hasta el punto de interés. El presente estudio utiliza tres ecuaciones para estimular Tc: Kirpich, 1940; Rowe y Thomas, 1942; Chow, 1962 (Tabla 9), todos los cuales usan longitud y pendiente como los dos parámetros. El desarrollo de las ecuaciones originales se basó en áreas de subcuenca más pequeñas que las encontradas en la Cuenca del Río Santa Catarina. La evaluación de las ecuaciones anteriores para las regiones que son diferentes de las utilizadas para su desarrollo mostró que la mayoría de ellas pueden no ser fiables por esta razón (Kibler y Aron, 1983, McCuen et al, 1984, Goitom, 1989). Una revisión de la precipitación y los flujos asociados con grandes tormentas registradas puede proporcionar una mejor comprensión del tiempo de retraso entre la precipitación y la escorrentía máxima y conducir a estimaciones más precisas de Tc. Las ecuaciones de Kirpich y Rowe calculan Tc directamente mientras que la ecuación de Chow calcula el tiempo de retraso dentro de la cuenca, que luego se convierte en Tc con base en un factor de 0.6 para las cuencas mayores de 250 km2. El tiempo de retraso y Tc son iguales en la ecuación de Chow para cuencas menores que 250k m2.

Tabla 9. Tiempo de Concentración (Tc) Parámetros y resultados

HEC-HMS Entidad	Area (km2)	Longitud de trayectoria de flujo (km)	Pendiente (m/m)	Rowe (horas)	Kirpich (horas)	Chow (horas)	Modelo Valor (horas)
P A arriba	325.3	44.1	0.026	4.97	4.99	5.82	3.16
P media	325.0	45.3	0.028	4.94	4.96	5.79	3.14
Presa A Abajo	66.9	19.6	0.004	5.61	5.63	6.44	5.89
R Agua blanca	114.5	26.4	0.033	3.07	3.08	3.90	3.35

Ojo de Agua	186.7	21.8	0.062	2.07	2.08	2.81	2.32
Entrada a la ciudad	78.7	18.3	0.059	1.83	1.84	2.54	2.07

Los valores anteriores son de la Tabla 6.2 del Estudio Hidrológico del ITESM. Estos valores de Tc se utilizan en el modelo y se basan en un promedio de los tres valores estimados, excepto para las dos subcuencas más grandes. Para esas dos subcuencas (P A arriba y P media), el valor promedio de Tc se multiplicó por 0.6 para obtener el valor modelado. Parece haber un error en el método utilizado para estimar los valores de Tc para las subcuencas P A arriba y P Media; es decir, con base en la ecuación de Chow, el tiempo de retardo estimado debería haberse dividido por 0.6, no multiplicado, y entonces ese valor debería haber sido promediado con los valores de Rowe y Kirpich para dar como resultado el valor de Tc con base en un promedio de los tres valores estimados. Como se presenta en el informe, el factor 0.6 sólo se asocia con la ecuación de Chow, por lo que no debería haberse aplicado a los valores medios derivados de los tres métodos. Al volver a calcular los valores se obtiene un valor Tc estimado en 9.7 horas para ambas subcuencas P A arriba y P media. Normalmente, si se utiliza el hidrograma unitario adimensional NRCS para la teoría del hidrograma unitario, entonces los procedimientos de sincronización NRCS deben usarse para determinar el tiempo de retardo y/o para que el tiempo de concentración sea consistente.

La subcuenca Presa A Abajo, es la cuenca más pequeña con 67 km2, pero tiene el mayor valor de tiempo de retraso con 5.9 horas. Esta subcuenca contiene la presa / depósito en el extremo aguas abajo. No está claro si esto afectó la determinación de Tc que se usó en el modelo. Típicamente, los depósitos no se consideran en la estimación de los tiempos de retraso. La Hidrología Aplicada (2ª Edición) Chow, Maidment, Mays (2010)

1. Enrutamiento Hidrológico - El tiempo de viaje de los hidrogramas de inundación a través de los tramos parece demasiado largo usando el método de Muskingum para el enrutamiento. El método de Muskingum es el procedimiento de enrutamiento más sencillo a utilizar, ya que sólo requiere un tiempo de recorrido K estimado a partir de la geometría del canal y las propiedades de flujo, y un factor de enrutamiento de canal X con valores que van desde 0.0 (atenuación máxima) hasta 0.5 (sin atenuación). Se utilizó un factor de enrutamiento de canal uniforme de 0.2 en todos los tramos. El Manual de Referencia Técnica HEC-HMS (HEC, 2000) indica que "para corrientes más pronunciadas, con canales bien definidos que no tienen flujos saliendo del banco, X estará más cerca de 0.5.

Utilizando el modelo HEC-HMS, se realizó un análisis de sensibilidad relacionado con el factor de enrutamiento de Muskingum. Los flujos máximos resultantes que entran en la Ciudad y relacionados con la presa se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Análisis de Sensibilidad para el Factor X Muskingum

HEC-HMS Entidad	Flujos máximos (cms) para huracán Alex con base en Diferentes Factores X Muskingum						Diferencia de K=0.0 a K=0.5
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	
Presa	1392.4	1414.1	1440.2	1474.1	1523.5	1608.7	15.5%

RompePicos							
Ojo Agua	2171.8	2183.8	2196.7	2210.4	2225.0	2240.6	3.2%
Entrada Ciudad	2314.5	2327.6	2341.8	2357.3	2374.2	2392.9	3.4%

Los resultados que se muestran en la tabla pueden indicar que aguas abajo de la presa, en las juntas HEC-HMS Ojo Agua y Entrada Cuidad, el factor de enrutamiento de canales tiene muy poco impacto en el flujo máximo que se transmite aguas abajo a través de la cuenca.

Se investigó el impacto en los flujos máximos derivados del huracán Alex relacionado con un cambio en los valores de Muskingum K. Los valores K originales en el modelo HEC-HMS fueron sustituidos con los resultados del enfoque de onda cinemática.Los resultados se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Resultados del cambio de flujo debido a valores de Muskingum K modificados

Tramo HEC-HMS	Usando valores K originales (cms)	Usando valores K revisados (cms)	% Aumento
Presa Med	1406.1	1726.3	+22.8
Presa Rompe Picos	1440.2	1894.6	+31.6
Ojo Agua	2196.7	2668.3	+21.5
Entrada Cuidad	2341.8	2815.7	+20.2

Esta investigación indica que el flujo máximo de Alex a la ciudad puede aumentar en un 20 por ciento a partir de un cambio al valor de Muskingum K solamente.

Una comparación del tiempo hasta el pico de entrada y salida de varios tramos resultó en velocidades de desplazamiento de 0.5 - 2.0 mps. Para un evento de inundación de esta magnitud - más de 1,000 cms - enrutado a través de canales con pendientes del 1% al 4%, estas velocidades parecen bajas. Con el fin de evaluar la importancia de esta suposición, el método de enrutamiento HEC-HMS se cambió a onda cinemática utilizando la longitud de canal medida y la pendiente promedio. El método de enrutamiento de la onda cinemática es el más adecuado para las corrientes bastante empinadas (HEC, 2000). El enfoque requiere las dimensiones de una sección de canal típica. Para esta evaluación, se suponía que el canal era trapezoidal. El ancho del fondo del canal se estimó utilizando una fotografía aérea geo-referenciada del área de estudio y las pendientes laterales se fijaron en 2:1.

En la tabla 12 se muestra una comparación de los tiempos promedio transcurridos resultantes desde el momento en que el pico del hidrograma entró y salió de los tramos para los dos métodos. Los tiempos de enrutamiento se estimaron en aproximadamente 0.5 horas, en lugar de los valores de 2 - 6 horas proporcionados al enrutar flujos con el Método Muskingum. Con base en los resultados, la velocidad de desplazamien estimada del flujo máximo del método de la onda cinemática varió de 6 a 15 mps. Los valores de 6 mps son razonables para eventos de alto flujo, pero los valores mayores son probablemente demasiado altos.

Tabla 12. Comparación de los tiempos de enrutamiento en tramos seleccionados

Tramo	Muskingum K (Horas)	Onda cinemática (Horas)
TPA ab _ P media	4.5	0.67
TPA media – Salida presa	5.89	0.50
T presa – Ojo Agua	3.24	0.50
T Agua Bca – Ojo Agua	2.35	0.33

5. Flujos máximos unitarios - Los flujos máximos de la subcuenca resultantes se convirtieron a flujos unitarios dividiendo los flujos máximos entre las respectivas áreas de la subcuenca. Esto dio lugar a flujos máximos unitarios con valores que oscilaban entre 2.8 cms/km2 y 4.6 cms/km2. Los valores más altos se estimaron en el afluente de Agua Blanca donde pudo haber ocurrido precipitación más intensa durante el huracán Alex. El valor unitario más bajo se encontró en Presa A Abajo, donde una subcuenca relativamente pequeña (67.4 km2) tuvo el tiempo de retraso más largo de 5.89 horas.

6. Abstracción Inicial - Cuando se utiliza el método NRCS, si no se define específicamente, la abstracción inicial se basa en el valor CN dado. Los esfuerzos de modelado actuales no asignan una abstracción inicial. Debido a que la simulación del modelo incluye la precipitación antes del período de precipitación más fuerte, es probable que el parámetro de abstracción inicial tenga poco impacto.

7. Calibración del Modelo - Para esta revisión sólo se revisó la calibración para Alex. Los datos registrados disponibles para la calibración dentro de la cuenca se limitan a la salida máxima ya las elevaciones de la superficie del agua en la presa. Otros indicadores en el Río Santa Catarina fueron "eliminados" durante el evento de alto flujo. Con base en los datos disponibles relacionados con el flujo de salida de la presa y el nivel de agua, la simulación HEC-HMS para el huracán Alex proporcionó una buena calibración. El pico de salida de la represa estimado a partir de la elevación registrada de la superficie del agua (904.05 msnm) en la represa fue de 650 cms, el resultado del modelo HEC-HMS para el flujo de salida de la presa fue de 655 cms y la elevación simulada de la superficie del agua de la represa fue de 904.85.

   Dentro del Estudio Hidrológico, hubo solo un evento de calibración (Huracán Gilbert) que incluyó una comparación entre los flujos registrados y modelados. La figura 10 compara los dos hidrogramas. Los resultados indican que el modelo parece estar reproduciendo bien los picos; sin embargo, la temporización del pico se retrasa unas pocas horas y, lo que es más importante, el hidrograma de flujo modelado tiene un volumen mayor que el hidrograma registrado.

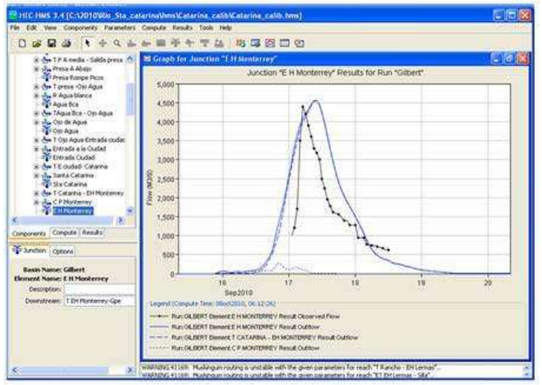


Figura 10. Calibración HEC-HMS para el huracán Gilbert
(Figura 7.20 del Estudio Hidrológico del ITESM)

Es muy importante señalar que la calibración del HEC-HMS se basó en áreas de subcuenca incorrecta asignadas a dos entidades de subcuenca modeladas. Como se ha indicado anteriormente, cuando se incorporaron las zonas correctas de la subcuenca al modelo, los flujos máximos que atraviesan la presa aumentaron significativamente de 655 cms a 1,272 cms. Este resultado indica que el CN calibrado y quizá los valores Tc necesiten ser reevaluados para proporcionar una mejor calibración en la presa.

RECOMENDACIONES

1. Áreas de la Subcuenca - Las dos cuencas con áreas incorrectas atribuidas a ellas probablemente han conducido a errores de calibración. Esto es especialmente cierto cuando se calibra a las condiciones en la presa. Se recomienda verificar las áreas correctas de la subcuenca y volver a ejecutar los modelos para los diversos eventos de inundaciones.
2. Números de curva - Aunque el desarrollo de los valores de los números de curva fue razonable, el hecho de que se hayan utilizado diferentes valores en las diferentes ejecuciones del modelo puede dar lugar a flujos de inundación que no son precisos. El uso de números de curva al modelar una tormenta real puede ser una preocupación ya que la ecuación para la escorrentía no tiene en cuenta la duración o la intensidad. La estimación de la escorrentía se basa en una ecuación discreta que sólo toma en cuenta la precipitación durante un tiempo determinado. El método no puede distinguir entre largos períodos de precipitación intensa que pueden saturar los suelos y llenar los almacenamientos disponibles, lo que resulta en un mayor escurrimiento superficial. Se recomienda que los modelos se desarrollen utilizando el método de contabilidad de la humedad del suelo que proporciona un modelado continuo y puede explicar las intensidades variables de precipitación experimentadas durante los eventos de huracanes.
3. Tiempo de Concentración - El tiempo de los valores de concentración utilizados en el modelado puede ser subestimado para las dos grandes subcuencas superiores P A Arriba y P Media. También el tiempo de concentración para la subcuenca Presa A Abajo es de 5.89 horas - ya que la Presa A Abajo es una de las subcuencas más pequeñas, es probable que este valor sea inexacto. Los cambios en el tiempo de concentración pueden afectar los flujos máximos. Se recomienda verificar y revisar estos valores según sea necesario. Una revisión de la precipitación y los flujos asociados con grandes tormentas registradas puede proporcionar una mejor comprensión del tiempo de retraso entre la precipitación y escorrentía máxima y conducir a estimaciones más precisas de Tc. También es una buena práctica cuando se usa la teoría de hidrogramas unitarios adimensionales NRCS para usar los procedimientos NRCS en la determinación del tiempo de retraso y/o tiempo de concentración.

4. Método de Enrutamiento - El método de Muskingum utilizado en el Estudio Hidrológico del ITESM proporciona un buen enfoque con los limitados datos disponibles. El valor K utilizado en el modelado se desarrolló en función de la longitud y pendiente de los canales principales. Sin embargo, los tiempos de desplazamiento resultantes dentro de cada tramo modelado parecieron ser demasiado prolongados. El valor K para el tramo TPA Media - Salida necesita ser reevaluado ya que parece haber sido establecido igual al tiempo de concentración de la subcuenca Presa A Abajo que atraviesa. Las velocidades de flujo estimadas relacionadas con el huracán Alex fueron relativamente bajas en comparación con las velocidades típicas de flujo de inundación para las pendientes pronunciadas de los canales de la subcuenca. Se realizó un análisis de sensibilidad utilizando el método de enrutamiento de onda cinemática que el Manual Técnico de HEC-HMS indica que es el más adecuado para corrientes bastante empinadas, como las de la cuenca del Río Santa Catarina. Usando el método de enrutamiento de onda cinemática se encontró que los flujos máximos aumentaron del 20 al 32 por ciento porque el tiempo de desplazamiento dentro del tramo se acortó. Se recomienda revisar y verificar la decisión de utilizar el método Muskingum en lugar del método de enrutamiento de onda cinemática para las condiciones de la corriente. Teniendo en cuenta los mismos datos utilizados por el TESM al aplicar el método de Muskingum (por ejemplo, datos topográficos disponibles para toda la cuenca), el método Muskingum Cunge puede proporcionar resultados más confiables para el enrutamiento de los canales.
5. Calibración del modelo - La ubicación de calibración utilizada para el huracán Alex fue la presa y el área de afluentes de la presa fue incorrecta. Cuando se revisaron las áreas de la subcuenca, el modelo ya no estaba calibrado en la presa. Este problema se aplica a otros esfuerzos de calibración para los huracanes Emily y Alex. La calibración de Gilbert se llevó a cabo en el medidor de flujo dentro de la ciudad y dio lugar a volúmenes de flujo que son mayores que los registrados. El aumento del volumen puede ser el resultado de la utilización del CN, que simplifica el almacenamiento y la infiltración. Se recomienda corregir los errores de calibración y volver a calibrar los modelos antes de utilizar los resultados del modelo en esfuerzos posteriores de planificación o diseño.

REVISIÓN DEL ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL ITESM DE ENERO DE 2011 [EN CURSO]

REVISIÓN DE DATOS

Nuestra revisión del análisis hidráulico del ITESM del Río Santa Catarina que pasa por Monterrey se basa en el proyecto de informe de enero de 2011 "Estudio Hidráulico del Río Santa Catarina, N.L." y un modelo HEC-RAS. El modelo HEC-RAS fue recibido el 06 de julio de 2011 y, dado el tiempo relativamente corto disponible para revisar este modelo, la revisión todavía está en curso. El modelo recibido consta de un archivo de geometría (basado en LiDAR 2007 y una encuesta posterior a Alex) y archivo de flujo para Alex y una serie de flujos del período de retorno desde flujos con probabilidad del 10% hasta 0.1% por año. No hubo secciones de canal propuestas. El modelo incluye 32 km del Río Santa Catarina y 1.3 km del Canal Obispo (Figura 11). El desarrollo de un modelo HEC-RAS por parte del ITESM tiene como objetivo ayudar en el desarrollo de alternativas para mitigar futuros impactos de inundaciones.

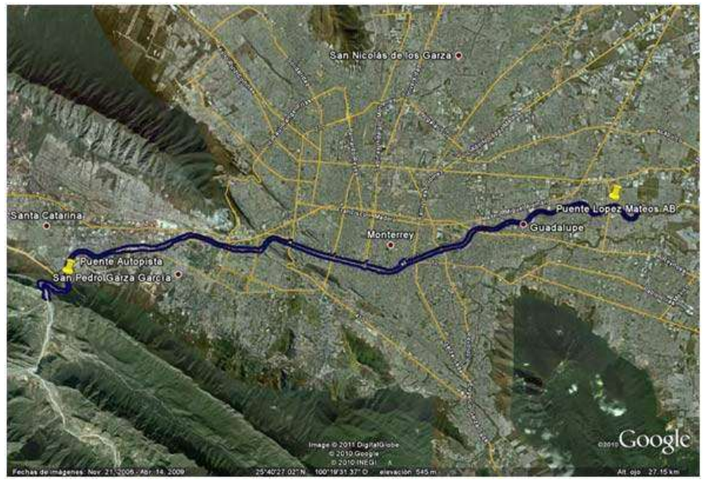


Figura 11. Alcance Modelado del Río Santa Catarina (ITESM, 2011)

1. Desarrollo de secciones transversales - Después del huracán Alex, se llevó a cabo un estudio del canal de Río Santa Catarina y el área del banco adyacente. Los datos del estudio se combinaron con datos LiDAR 2007 para crear una superficie de tierra detallada a partir de la cual se desarrolló la geometría de la sección transversal. El número de secciones transversales y las distancias entre secciones (longitudes de tramo) se resumen en la Tabla 13.

Tabla 13. Resumen de secciones cruzadas HEC-RAS

Río	No. de secciones transversales	Longitud de tramo promedio (metros)	Máx. longitud de tramo (metros)	Mín. longitud de tramo (metros)
Obispo	18	74.8	81.2	66.9
Santa Catarina	428	75	81.7	69.6

2. Coeficiente de Rugosidad de Manning - Los coeficientes de rugosidad de Manning se basaron en valores típicos de características hidráulicas del canal de flujo, tales como material de lecho, sinuosidad y vegetación. Los valores finales utilizados en el modelo se establecieron constantes en todas las secciones transversales en cada uno de los ríos modelados. La Tabla 14 resume los valores utilizados. El informe contiene la siguiente declaración: "En secciones en las que, según el escenario de simulación se ha tenido en cuenta la existencia de muros verticales de concreto, el coeficiente se cambió a valores de 0.020 y 0.015". Nuestra revisión del modelo HEC-RAS no identificó ninguna sección transversal con coeficientes de rugosidad de Manning distintos de los proporcionados en la tabla.

Tabla 14. Resumen de Coeficientes de Rugosidad Hidráulica HEC-RAS

Río	Sobrebanco derecho	Canal	Sobrebanco izquierdo
Obispo	0.035	0.035	0.035
Santa Catarina	0.05	0.03	0.05

3. Condiciones de límite - La condición de límite aguas abajo del modelo HEC-RAS se ajustó a la profundidad normal con una pendiente de 0.005. La condición de límite aguas arriba se ajustó a la profundidad normal con una pendiente de 0.01. Los valores de pendiente se basan en la topografía del canal.

4. Flujos - Los flujos utilizados en el esfuerzo de modelado HEC-RAS se muestran en la Tabla 15 a continuación. Los flujos fueron derivados del análisis hidrológico y resumidos en el informe "Estudio Hidrológico de la Cuenca del Río Santa Catarina, N.L.".Como se ha indicado anteriormente, el esfuerzo de modelado hidrológico contiene posibles errores que pueden haber resultado en magnitudes de flujo máximo imprecisas.

Tabla 15. Magnitud de flujo utilizadas en el modelo HEC-RAS

Río	Ubicacion flujo enrada	10-Años	20-Años	200-Años	500-Años	1000-Años	Alex
Obispo	1347.145	185	290	640	730	798	501
Santa Catarina	32098.17	1090	1700	3449	4109	4601	2699
Santa Catarina	22275.16	1190	1850	3778	4485	5013	2956
Santa Catarina	17624.55	1190	1850	3834	4550	5083	3000

REVISIÓN DE MÉTODOS

El modelo HEC-RAS fue ejecutado para los seis eventos de flujo máximo. Las simulaciones se realizaron utilizando el Régimen de Flujo "Mixto". Este ajuste estima el perfil de la superficie del agua basado primero en un régimen de flujo subcrítico, comenzando en el límite aguas abajo y estimando aguas arriba las elevaciones de la superficie del agua. Luego el modelo crea un perfil de superficie de agua con base en un régimen de flujo supercrítico, funcionando aguas abajo de las condiciones del límite superior. En las ubicaciones donde el régimen de flujo subcrítico es igual a la profundidad crítica, el programa HEC-RAS compara los dos resultados del régimen de flujo y utiliza los valores de fuerza específica más altos como resultado.

RESULTADOS

1. Pendientes de agua adversas - La Figura 12 muestra los perfiles de superficie de agua resultantes para una sección del río cerca de la extensión aguas abajo del modelo. Como se ve en la figura, hay múltiples ubicaciones donde las condiciones de flujo modelado dan como resultado pendientes de agua adversas. Estas ubicaciones se localizan, se producen en secciones transversales individuales y luego vuelven a elevaciones incrementadas en secciones adyacentes.

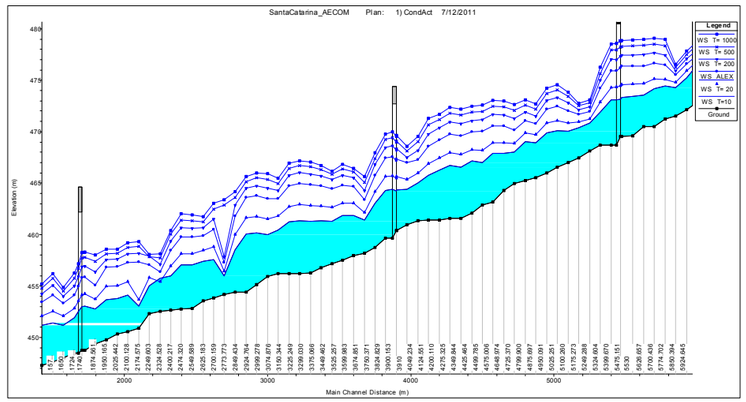


Figura 12. Ejemplo de perfiles de inundación HEC-RAS

La Figura 13 compara el resultado del régimen de flujo mixto de probabilidad de 10% por año (línea azul) con el resultado subcrítico (línea azul con triángulos) para las mismas secciones del río. Como se muestra, los resultados son generalmente los mismos, con la única excepción en ubicaciones donde existen superficies de agua adversas. Esto indica que, aunque el perfil superficial del agua de flujo súper crítico puede proporcionar elevaciones bajas, los impactos son muy localizados.

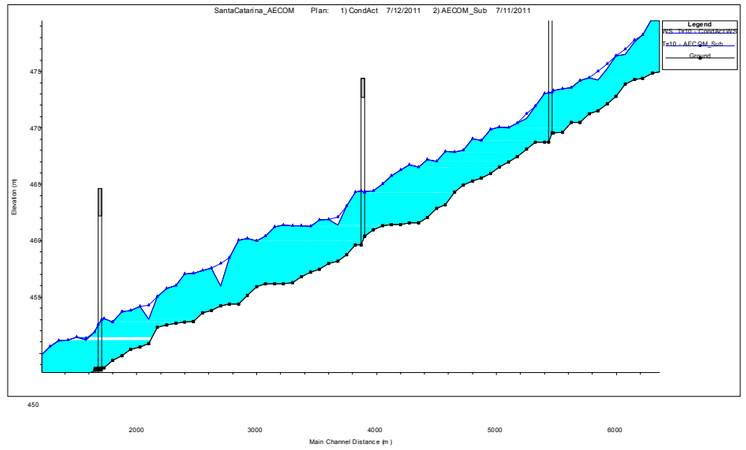


Figura 13. HEC-RAS Comparación del perfil de inundación de 10 años

Se necesita más tiempo para revisar los datos de HEC-RAS. Sin embargo, al cambiar los valores "n" (haciéndolos más altos dentro del canal), la adición de secciones transversales adicionales y la adición de algunas áreas de flujo ineficaces pueden dar mejores perfiles de superficie del agua (es decir, pendientes menos adversas dentro del canal). Si la ecuación de Manning debiera ser resuelta con la energía mínima en una sección transversal (es decir, profundidad crítica), se podría desarrollar una gráfica con el registro de la pendiente en el eje vertical y la profundidad de flujo en las abscisas y valores n como un tercer parámetro para analizar la validez de los puntos supercríticos (Figura 14).

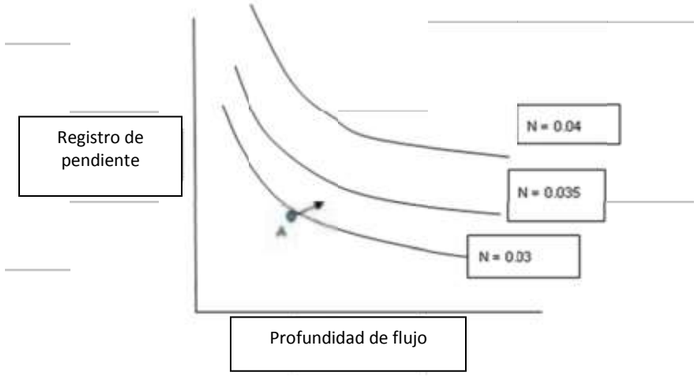


Figura 14. Ejemplo de análisis de los valores n de Manning

La gráfica muestra que la profundidad crítica se produce a lo largo de las curvas n de Manning constantes. Por ejemplo, dado un valor n de Manning de 0.03 y una profundidad de flujo y pendiente para identificar el punto A en la Figura, el flujo sería una condición crítica o energía mínima. Aumentar la profundidad del flujo o aumentar el valor n de Manning hará que el flujo se vuelva subcrítico. Para muchas de las ubicaciones adversas, las pendientes adversas pueden ser eliminadas al aumentar el valor n de Manning, lo que daría un perfil de superficie de agua más representativo.

2. Perfiles de Cruce - También se muestra en la Figura 12, en una Distancia de Canal Principal de aproximadamente 2,300 metros, los perfiles de superficie de agua para los eventos de probabilidad de 5%-10% por año se cruzan. Una vez más, se trata de un problema localizado que no parece afectar el cálculo de la elevación superficial del agua, salvo en la sección transversal. Hay múltiples ubicaciones en el mod l (aproximadamente 20) donde los perfiles se cruzan.

3. Anchura de la sección transversal inadecuada - Una revisión de los resultados del modelado en secciones transversales individuales reveló múltiples ubicaciones donde la sección transversal no se extendió lo suficientemente lejos para contener los flujos de inundación; La Figura 15 ilustra este problema. Dentro del programa HEC-RAS, el modelo asume un límite vertical en el borde de una sección transversal; sin embargo, en realidad, esta situación puede indicar un lugar donde el flujo sale del canal y se almacena en la llanura de inundación. El almacenamiento de la llanura de inundación típicamente reduce los flujos máximos aguas abajo, por lo que al requerir que el modelo retenga todo el flujo en el canal (como se muestra en la figura), los resultados del modelo pueden ser demasiado conservadores; es decir, las elevaciones modeladas de la superficie del agua pueden ser mayores que las reales.

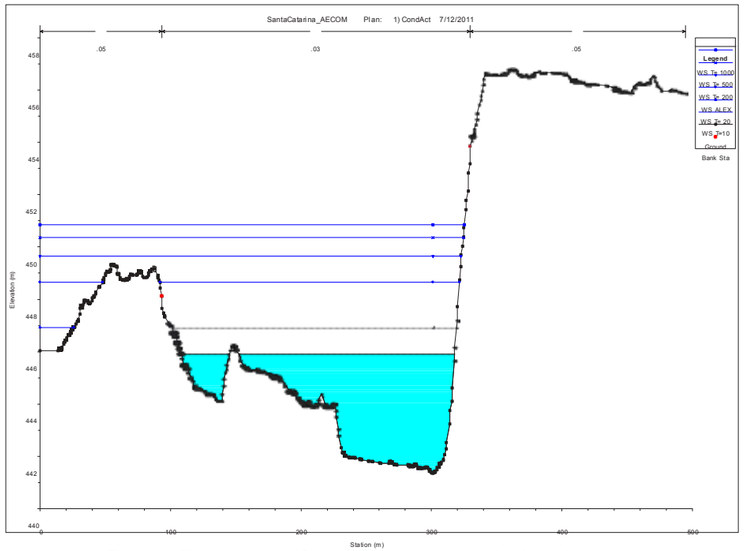


Figura 15. Ejemplo de sección transversal con anchura inadecuada

4. Calibración - Con base en la documentación de soporte de modelado, no parece que el HEC-RAS haya sido calibrado para el huracán Alex o cualquier otro evento de flujo conocido. El uso del modelo para desarrollar escenarios con el propósito de reducir los impactos de inundaciones puede proporcionar resultados inexactos.
5. Análisis de Flujo Constante - El uso de flujo constante asume un caudal constante a través de cada uno de los tramos del canal. El flujo sólo puede cambiarse agregando manualmente aportes (afluentes) o dejando que el flujo bifurcarse (desvíos). Si los resultados del modelado son precisos, el flujo puede ser almacenado en el canal durante eventos grandes, reduciendo el flujo total en el canal.

[Resultados adicionales que se completarán al recibir el modelo completo].

RECOMENDACIONES

La revisión del modelo HEC-RAS de Santa Catarina presentado en este documento es de naturaleza preliminal. Los diagramas del perfil y los diagramas de la sección transversal indican que hay que resolver una serie de deficiencias (es decir, secciones transversales que no se extienden lo suficiente, perfiles de superficie de agua de diferentes frecuencias que tienen superposición, tal vez la necesidad de mayores valores n, secciones transvesales adicionales necesarias, etc.).

El modelo del río proporcionado a AECOM puede no ser la versión final ya que los esfuerzos continuos relacionados con el diseño del canal han estado ocurriendo mientras esta revisión estaba en proceso.

Si los esfuerzos finales de modelado resultaran en problemas similares, AECOM recomendaría las siguientes acciones:

1. Las secciones transversales deben extenderse más allá de la extensión de inundación prevista.
2. Calibración a algunas marcas de agua altas conocidas de eventos pasados.
3. Ejecutar el modelo en modo no estable usando hidrogramas de flujo en lugar de flujos estables.
4. El uso de áreas de almacenamiento de llanura de inundación ubicadas donde el flujo inunda las cavidades de Monterrey (flujo inestable)

REVISIÓN DE LAS PROPUESTAS LOCALES DE RECONSTRUCCIÓN DEL RIO

Este esfuerzo incluyó una revisión de dos presentaciones de diapositivas de PowerPoint tituladas "Propuesta de Solución Hidráulica, de Regeneración Urbana, de Movilidad y Social del Río Santa Catarina" de julio de 2010 y "UTILIZACIÓN RECREATIVA DEL RÍO SANTA CATARINA" (sin fecha).

Revisión de Propuesta de Solución Hidráulica, de Regeneración Urbana, de Movilidad y Social del Río Santa Catarina"

- Diapositiva 2 - El primer punto implica que la propuesta se basará en el modelado hidráulico que aún no se ha completado, para proporcionar la sección final del canal. Por lo tanto, se supone que los conceptos de diseño propuestos en esta presentación aún no han sido verificados con los resultados de un modelo hidráulico.
- Diapositiva 2 - El segundo punto indica que la sección del canal "debe ser más estrecha que la existente, para llevar a cabo la regeneración urbana con los bancos recuperados, para la creación de un parque al lado del río". Si la reciente inundación de la tormenta tropical Alex llenó la sección actual del canal e impactó el cordón bajo de algunos puentes, y si el período de retorno de esa inundación se estima en unos 100 años, no está claro por qué el riesgo de inundación en el Río Santa Catarina debería se incrementa disminuyendo la anchura y el área de la sección del canal.
- Diapositiva 3 - El tercer punto indica que la intención es "vivir en armonía con el río".
- Diapositiva 4 - Se afirma que la ciudad es golpeada por los huracanes en promedio cada 25 años. Si se puede suponer que ocurren inundaciones significativas a través del corredor del río de la ciudad en esta base de 25 años también, esto proporciona un hito que puede influir en la "vida de diseño" de la planificación urbana y las características de transporte propuestas dentro o cerca del canal del río; es decir, estas características pueden experimentar graves inundaciones cada dos décadas o periodo aproximado y el diseño y los costos de mantenimiento a largo plazo deben tener en cuenta el potencial de que estas características pueden ser dañadas o destruidas con esta frecuencia y deben repararse o ser diseñadas para resistir las graves inundaciones.
- Diapositiva 5 - Se muestran las condiciones actuales del río y, dada la fecha de julio de 2010 de esta presentación, se supone que éstas son condiciones inmediatamente después de la Tormenta Tropical Alex. Se ha demostrado que la sedimentación llenó completamente el canal de flujo bajo y la llanura de inundación adyacente y se ha demostrado ocurrió erosión del banco inclinado del río, convirtiendo la pendiente suavemente inclinada en una forma más cóncava. Dada esta información limitada, parece que el evento de inundación
- Diapositiva 6 - Se afirma que la "anchura y profundidad del río dependerá de los estudios de modelado hidráulico" a ser realizados por el ITESM. También se menciona un plan de "mantenimiento permanente" del río. La consideración del transporte y deposición de sedimentos en el diseño final de la sección del río es importante. Entendemos que esta cuestión se está abordando en el Estudio Hidráulico del ITESM que todavía se está preparando en este momento y no hemos tenido la oportunidad de revisar este estudio. La última declaración en esta diapositiva es que esta propuesta asumirá un ancho de canal de 120 metros, mientras que a partir de la diapositiva 5 parece que el ancho existente es de 180 metros. Una vez más, no está claro por qué se justifica una reducción en el ancho y área del canal del río si las aguas de inundación de la tormenta tropical Alex estuvieran cerca de la cima del banco y la erosión de los bancos resultó en un área de flujo crecidas para el ancho actual de 180 metros.
- Diapositiva 7 - En esta diapositiva se presenta una sección de río propuesta (Figura 16). El sedimento que se depositó en el canal se utiliza para construir bancos del río verticalmente al nivel de las calles adyacentes y horizontalmente a la anchura de la sección reducida de 120 metros y se proponen muros de contención verticales para contener lios nuevos bancos del canal.

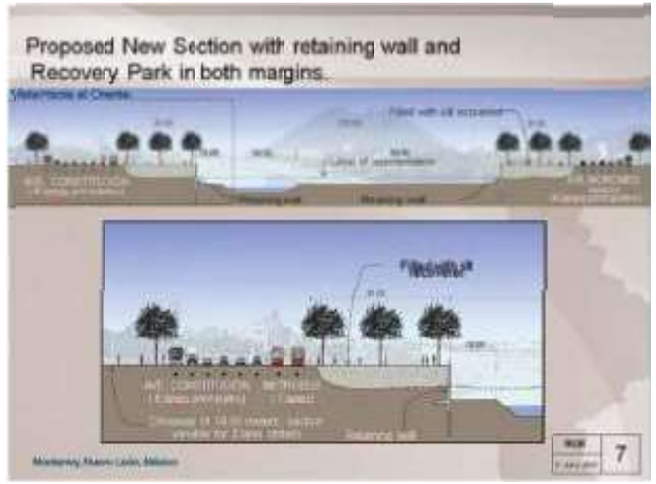


Figura 16. Nueva sección del río propuesta con muros de contención

- Esta configuración de los bancos del río no deja lugar a errores en la estimación del flujo de diseño; es decir, una vez que los flujos de inundación exceden la altura de los bancos verticales del río, están libres para expandirse a través del parque y los caminos.
- Diapositivas 8 a 11 - Estas vistas del plan del corredor del río muestran potenciales puntos de "compresión" a lo largo del río, donde los enfoques de caminos con respecto a los puentes se extienden hacia el canal del río. Si no se es capaz de retirar del río intrusiones como esta, entonces el modelado hidráulico se puede utilizar para guiar los esfuerzos de diseño para hacer tales intrusiones lo más hidráulicamente "suaves" que sea posible.
- Diapositivas 12 y 13 - Estas diapositivas muestran enfoques propuestos para el Puente Zaragoza y una alineación de las avenidas en la misma elevación que el lecho de la llanura de inundación del río, con estas zonas separadas por terraplenes que sostienen un parque en ambos lados del río. Dadas las bajas elevaciones de los caminos, se debe considerar el potencial de que los caminos puedan ser inundados.
- Diapositiva 14 - En esta diapositiva se muestra un detalle conceptual del muro de contención vertical. No se sabe si las dimensiones de la pared se derivaron de cálculos de ingeniería. La estructura sólida parece extenderse hacia abajo desde el camino del parque un máximo de unos 10 metros; aunque la gráfica es un esquema indica que la parte inferior del muro de contención no puede extenderse por debajo del fondo del canal del río y si el canal migrara durante un evento de inundación hacia el muro, podría ser debilitado por la erosión. Se indica que los pilotes (se supone que son apilados) se colocarán cada 3 metros y éstos no presentarán una superficie sólida para detener este tipo de erosión inducida por la inundación.
- Diapositiva 15 - Los dos esquemas de construcción de muro vertical presentados impartirán mayor rugosidad hidráulica a los flujos de inundación que alcanzan estas elevaciones; sin embargo, el impacto relativo puede ser menor dado el tamaño de las instalaciones al tamaño total del canal del río. El segundo plan de instalación reducirá aún más el área de sección del canal para transportar las aguas de inundación y puede aumentar las etapas de inundación. En ambos casos, el modelo hidráulico puede utilizarse para evaluar el impacto relativo de estas características de diseño en las inundaciones.

- There• Diapositiva 17 - Parece haber lugares en los que los muros verticales pasan a ser muros inclinados y estas transiciones pueden ser ubicaciones de mayor erosión. Mientras que un modelo unidimensional como HEC-RAS puede simular la expansión o contracción de flujos en transiciones, un modelo numérico bidimensional puede ser más adecuado para describir las condiciones hidráulicas locales y guiar los esfuerzos de diseño para minimizar la erosión que puede dañar los canales.
- Diapositivas 20 a 26 - Estas diapositivas muestran ejemplos de soluciones a corredores urbanos de ríos en otras ciudades alrededor del mundo. Si bien estos ejemplos son interesantes, no se sabe si las características y problemas que presenta el río son similares a lo que presenta el Río Santa Catarina; por ejemplo, un río efímero de pendiente empinada que fluye cerca de una profundidad crítica en las etapas de inundación severa. Es interesante notar que el río que fluye a lo largo de Valencia, España, aparentemente tiene un canal de derivación presumiblemente para dirigir desbordamientos durante eventos de inundación extrema.
- Diapositiva 27 - Las conclusiones expuestas en esta diapositiva parecen centrarse en los beneficios que los muros de contención verticales pueden proporcionar en un rediseño del corredor del río. Si bien las conclusiones son razonables, desde el punto de vista de la ingeniería hidráulica y la gestión de inundaciones, siempre hay preocupación cuando las personas y la propiedad (regeneración urbana) se sitúan más cerca de las zonas de riesgo de inundación.

Revisión de los métodos

La presentación no aborda los métodos técnicos utilizados para formular el diseño propuesto dentro de la sección del canal del río. En la diapositiva 6 se indica que la anchura máxima y la sección del río dependerán del Estudio Hidráulico del ITESM, que todavía está en curso en este momento. Sin tener el beneficio de este estudio, asumimos que las características propuestas presentadas pueden ser modificadas una vez que el modelo hidráulico se utilice para refinar estos conceptos.

Dada la reciente devastación causada por la tormenta tropical Alex, existe la oportunidad de hacer preguntas y aprender lecciones de este trágico acontecimiento. Por ejemplo, ¿qué tal funcionaron los muros de contención verticales durante el evento de inundación de la tormenta tropical Alex? Los métodos empleados para desarrollar conceptos de diseño propuestos deben reconocer la frecuencia y magnitud de las inundaciones como Alex.

Dada la falta de métodos detallados para respaldar los conceptos de diseño presentados, por lo tanto nuestros comentarios de revisión se limitan a declaraciones más generalizadas que pretenden contribuir a estos esfuerzos de propuesta.

Resultados y recomendaciones de las revisiones

A partir de nuestra revisión de las propuestas locales de reconstrucción del río, se identificaron las siguientes conclusiones y recomendaciones clave:

1. Ancho de la sección del canal - Un ancho de corriente típico de la sección del canal se muestra como 180 metros y se propone un ancho de 120 metros; esto es una reducción de un tercio en el ancho. Se recomienda evaluar minuciosamente esta propuesta con el modelo hidráulico. El borrador del informe del estudio hidráulico del ITESM de enero de 2011 indica que el 89 por ciento de las secciones del canal carecen de capacidad a lo largo del banco izquierdo y 97 por ciento carecen de capacidad a lo largo del banco derecho con base en la topografía pre-Alex y los flujos estimados de Alex (ITESM, 2011).
2. Erosión y sedimentación del canal - Las secciones esquemáticas del río en la propuesta indican que se produjo una erosión significativa en los bancos del canal inclinados existentes y se produjo una deposición significativa de sedimentos en todo el canal. La capacidad de transporte reducida por los sedimentos depositados probablemente contribuyó a la tendencia del río a ensancharse y restablecer un área de sección transversal mayor. Se recomienda evaluar las fuentes de sedimentos aguas arriba y los mecanismos de transporte para determinar si se puede reducir la deposición de sedimentos en el corredor urbano del río.

3. Bancos de canales - Se recomienda que se consideren los bancos de canales inclinados siempre que sea práctico en lugar de los muros verticales. Los bancos inclinados proveerán entrada/salida de emergencia no vehicular a más ubicaciones a lo largo del canal durante los eventos de inundación y proveerán acceso después de la inundación al canal del río para la remoción del sedimento y mantenimiento.
4. Costos del muro vertical - Según las estimaciones de costo previstas para un kilómetro a lo largo del río, los muros verticales pueden comprender el 65 por ciento del costo total ($54 millones de $83 millones). Se recomienda considerar el valor económico de estos muros junto con los costos del aumento del área de parques en el lecho del río, la reducción de la capacidad de inundación (en comparación con los bancos inclinados) y la operación y mantenimiento a largo plazo (posible erosión de las paredes e inundaciones).
5. Terraplenado de llanura de inundación - Los bancos de canal vertical propuestos están destinados a elevar el suelo a nivel de la calle para un parque frente al río. Se recomienda estudiar las opciones para crear terrazas que puedan aumentar la capacidad de transporte de la sección del río y considerar parte de la incertidumbre en la estimación de la inundación de diseño (Figura 17). Un parque situado en una elevación más baja también puede proporcionar beneficios en cuanto a reducción del ruido del tráfico de las calles adyacentes.

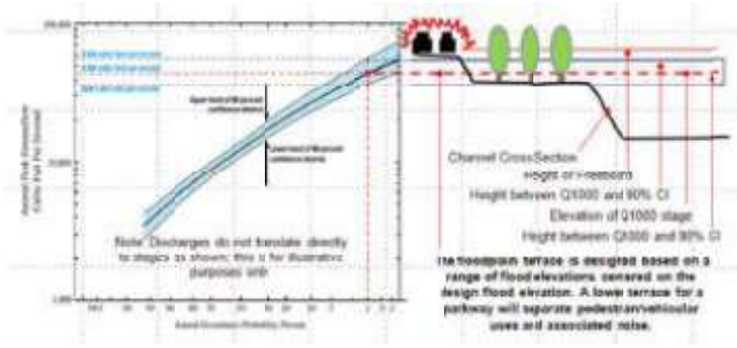


Figura 17. Ejemplo de terraplén de inundación basado en criterios hidráulicos

6. Lecho de canal y características del banco - Las propuestas locales consideran muchos usos para el lecho del canal y los bancos del río. Los campos deportivos son buenos usos de la tierra en áreas propensas a inundación porque presentan una obstrucción limitada a los flujos de inundación. Sin embargo, a medida que las aguas de inundación son más profundas, aumentan las velocidades de flujo y la tensión cortante en el lecho del canal y esto puede dañar los tratamientos de la superficie. Mientras que los eventos de inundación de la magnitud de Alex se producen en promedio cada 25 años y causan daños significativos en todo el canal, puede haber valor en la comprensión de la distribución y la medida de las velocidades de flujo y tensiones cortantes de las inundaciones más frecuentes, para que las características expuestas a las aguas de inundaciones puedan ser seleccionadas, diseñadas y ubicadas de manera que sean más resistentes a las inundaciones. Se recomienda que el proceso de planificación maestral implique el uso de la salida del modelo hidráulico que muestre la variación espacial y el rango de velocidades de flujo y tensiones cortantes. Las Tablas 16 y 17 proporcionan un resumen de las velocidades admisibles y de las tensiones cortantes para una variedad de tratamientos de vegetación usados en canales de ríos.

Estos valores de umbral pueden compararse con la salida mapeada del modelo para guiar las decisiones de diseño.

Tabla 16. Tensión cortante admisible y velocidad para la vegetación del canal (Frothingham, 2008)

Boundary category	Boundary type	Permissible shear stress (N/m²)	Permissible velocity (m/s)
Soil bioengineering	Wattles	9.6–47.9	0.91
	Coir roll	143.6–239.4	2.44
	Live brush mattress (initial)	19.2–196.3	1.22
	Live brush mattress (grown)	186.7–382.6	3.66
	Brush layering (initial/grown)	19.2–289.3	3.66
	Live fascine	59.9–148.4	1.83–2.44
	Live willow stakes	100.5–148.4	0.91–3.00
RECPs	Unvegetated	143.6	1.52–2.13
	Partially established	191.5–287.3	2.29–4.57
	Fully vegetated	383.0	2.44–6.40

RECP = Rollos de productos de control de erosión

Tabla 17. Tensión cortante admisible y velocidad para la vegetación del canal (Fischenich, 2001)

Table 2. Permissible Shear and Velocity for Selected Lining Materials[1]

Boundary Category	Boundary Type	Permissible Shear Stress (lb/sq ft)	Permissible Velocity (ft/sec)	Citation(s)
Soils	Fine colloidal sand	0.02 - 0.03	1.5	A
	Sandy loam (noncolloidal)	0.03 - 0.04	1.75	A
	Alluvial silt (noncolloidal)	0.045 - 0.05	2	A
	Silty loam (noncolloidal)	0.045 - 0.05	1.75 – 2.25	A
	Firm loam	0.075	2.5	A
	Fine gravels	0.075	2.5	A
	Stiff clay	0.26	3 – 4.5	A, F
	Alluvial silt (colloidal)	0.26	3.75	A
	Graded loam to cobbles	0.38	3.75	A
	Graded silts to cobbles	0.43	4	A
	Shales and hardpan	0.67	6	A
Gravel/Cobble	1-in.	0.33	2.5 – 5	A
	2-in.	0.67	3 – 6	A
	6-in.	2.0	4 – 7.5	A
	12-in.	4.0	5.5 – 12	A
Vegetation	Class A turf	3.7	6 – 8	E, N
	Class B turf	2.1	4 - 7	E, N
	Class C turf	1.0	3.5	E, N
	Long native grasses	1.2 – 1.7	4 – 6	G, H, L, N
	Short native and bunch grass	0.7 - 0.95	3 – 4	G, H, L, N
	Reed plantings	0.1-0.6	N/A	E, N
	Hardwood tree plantings	0.41-2.5	N/A	E, N
Temporary Degradable RECPs	Jute net	0.45	1 – 2.5	E, H, M
	Straw with net	1.5 – 1.65	1 – 3	E, H, M
	Coconut fiber with net	2.25	3 – 4	E, M
	Fiberglass roving	2.00	2.5 – 7	E, H, M
Non-Degradable RECPs	Unvegetated	3.00	5 – 7	E, G, M
	Partially established	4.0-6.0	7.5 – 15	E, G, M
	Fully vegetated	8.00	8 – 21	F, L, M
Riprap	6 – in. d_{50}	2.5	5 – 10	H
	9 – in. d_{50}	3.8	7 – 11	H
	12 – in. d_{50}	5.1	10 – 13	H
	18 – in. d_{50}	7.6	12 – 16	H
	24 – in. d_{50}	10.1	14 – 18	E
Soil Bioengineering	Wattles	0.2 – 1.0	3	C, I, J, N
	Reed fascine	0.6-1.25	5	E
	Coir roll	3 - 5	8	E, M, N
	Vegetated coir mat	4 - 8	9.5	E, M, N
	Live brush mattress (initial)	0.4 – 4.1	4	B, E, I
	Live brush mattress (grown)	3.90-8.2	12	B, C, E, I, N
	Brush layering (initial/grown)	0.4 – 6.25	12	E, I, N
	Live fascine	1.25-3.10	6 – 8	C, E, I, J
	Live willow stakes	2.10-3.10	3 – 10	E, N, O
Hard Surfacing	Gabions	10	14 – 19	D
	Concrete	12.5	>18	H

[1] Ranges of values generally reflect multiple sources of data or different testing conditions.

A. Chang, H.H. (1988).
B. Florineth. (1982)
C. Gerstgraser, C. (1998).
D. Goff, K. (1999).
E. Gray, D.H., and Gotir, R.B. (1996).
F. Julien, P.Y. (1998).
G. Kouwen, N.; Li, R. M.; and Simons, D.B., (1980).
H. Norman, J. N. (1975).
I. Schiechtl, H. M. and R. Stern. (1996).
J. Schokitsch, A. (1937).
K. Sprague, C.J. (1999).
L. Temple, D.M. (1980).
M. TXDOT (1999)
N. Data from Author (2001)
O. USACE (1997).

7. Estudios de caso de otras ciudades - El Río Santa Catarina es un río único en el sentido de que se trata de un río efímero de pendiente pronunciada que fluye cerca de la profundidad crítica en las etapas de inundación severa. Se recomienda que se identifiquen estudios de casos que incluyan ríos de características similares si es posible.

8. Diseño de calles para inundaciones - Las calles expuestas a inundaciones pueden diseñarse para resistir mejor las fuerzas de inundación. El material de superficie y los materiales de drenaje del subsuelo se pueden ajustar a este sentido. Las trayectorias de los materiales de la superficie debido a desbordamiento por inundación a lo largo de las calles deben examinarse también porque en muchos casos las fallas de las calles durante las inundaciones comienzan donde las inundaciones desbordan los terraplenes de las calles y crean áreas localizadas de altas velocidades y erosión (Figura 18).

Figura 18. Desbordamiento La Silla River en Monterrey, Mexico

[http://yourweatherblog.com/2010/07/alex-floods-the-city-of-monterrey-mexico/]

REFERENCIAS

Chang, M., D.L. McDonald, y A. Mouton, 2004. The spatial variation for floods with return periods greater than 100-years in the conterminous United States, Hydrology: Science and Practice for the 21st Century, Volume 1, British Hydrological Society, pp 95-102. http://www.hydrology.org.uk/Publications/imperial/2_03.pdf [última visita el 5 de julio de 2011].

Enzel, Y., L.L. Ely, P.K. House, V.R. Baker, y R.H. Webb 1993. Paleoflood evidence for a natural upper bound to flood magnitudes in the Colorado River Basin, Water Resources Research, Vol. 29 No. 7, pp 2287-2297 July. http://www.ltrr.arizona.edu/~k_tie/kt/talks/CLIMAS%20San%20Diego%20Trip/Enzel-et-al-1993-Natural-upper-bound.pdf [última visita el 5 de julio de 2011].

Fischenich, C. 2001. "Stability Thresholds for Stream Restoration Materials," EMRRP Technical Notes Collection (ERDC TNEMRRP-SR-29), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. http://el.erdc.usace.army.mil/elpubs/pdf/sr29.pdf [última visita el 20 de julio de 2011].

Frothingham, K.M, 2008. Evaluation of stability threshold analysis as a cursory method of screening potential streambank stabilization techniques, Elsevier, Applied Geography, 28, pp 124-133. http://www.buffalostate.edu/geography/documents/frothingham%202008.pdf [última visita el 8 de julio de 2011].

Barbash, S., 1988. "Latest flood added to Monterrey river's destructive history", Houston Chronicle Mexico City Bureau, Section A, Page 20, 2 STAR Edition, September 24.

Chow, Ven. T., Maidment, D., and Mays, L., Applied Hydrology (2nd Edition) McGraw-Hill Publishing, 20010.

Goitom, G.T. (1989) Evaluation of Tc methods in a small rural watershed. In: channel Flow and Catchment Runoff, Proc. Int. Conf. for Centennial of Manning's Formula and Juichling's Rational Formula, May 1989, pp 88-96.

Hydrologic Engineering Center, 2000. HEC-HMS Technical Reference Manual, http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation.html [last accessed 20 de julio de 2011].

Interagency Advisory Committee on Water Data, 1982. Guidelines fofr Determining Flood Flow Frequency, Bulletin #17B of the Hydrology Subcommittee, U.S. Geological Survey, Reston VA, Revised September 1981, Editorial corrections March 1982. http://water.usgs.gov/osw/bulletin17b/dl_flow.pdf [last accessed July 5, 2011].

Kibler, D.F., and Aron, G. (1983) Evaluation of Tc methods for urban watersheds. In: Frontiers in Hydraulic Engineering (Proc. M.I.T. ASCE Synp., August 1993), pp 553-559.

Lopez, A.G., 2004. Hydrological forecasting using the double index flood method, Hydrology: Science and Practice fo the 21st Century, Volume 1, British Hydrological Society, pp. 113-119.

McCuen, R,H., Wong, S.L. and Rawls, W.J. (1984) Estimating urban time of concentration, ASCE Journal Hydraulics Engineering Vol. 110(7), pp887-904

Mendoza, V.M, E.E. Villanueva,and J.Adem, 1997. Vulnerability of basins and watersheds in Mexico to global climate change, Climate Research, Vol. 9, pp 139-145, December 29. http://www.int-res.com/articles/cr/9/c009p139.pdf [last accessed July 5, 2011].

National Research Council, 1985. Safety of Dams: Flood and Earthquake Criteria, National Academy Press, Washington D.C., 276 p.

O'Connor, J.E. and J.E. Costa, 2003. Large floods in the United States: where they happen and why, U.S. Geological Survey circular 1245. http://pubs.usgs.gov/circ/2003/circ1245/ [last accessed July 5, 2011].

Ramirez, A. 2011. Personal communication with Kevin Coulton AECOM, June 20.

U.S. Army Corps of Engineers, 1994. Engineering and Design - Hyrologic Engineering Analysis Concepts for Cost-Shared Flood Damage Reduction Studies, Publication Number: EP 1110-2-10, July 31. http://140.194.76.129/publications/eng-pamphlets/ep1110-2-10/toc.htm [last accessed July 5, 2011].

U.S. Army Corps of Engineers, 2000. Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Technical Reference Manual, March..

U.S. Army Corps of Engineers, 2010. Hydrologic Modeling System HEC-HMS, User's Manual, Version 3.5, August.

Memorándum

PARA	Secretaría de Desarrollo Sustentable Gobierno del Estado de Nuevo León
DE	AECOM + Nelson\Nygaard
PROYECTO	Plan maestro metropolitano del corredor integral de movilidad sustentable Constitución - Morones Prieto
TAREA(S)	FASE A – Tarea A3-2 (Agua)
FECHA COMPLETADO	21 de julio de 2011
PROPÓSITO	PROYECTO Revisión de Materiales Existentes (Agua)

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente.

Tarea A3-2 (Agua)

REVISIÓN DE LA INTRODUCCIÓN DE LOS DATOS A ESCALA DE CIUDAD/CUENCA

INTRODUCCIÓN

Este memorándum técnico proporciona una revisión y análisis independientes de los datos disponibles proporcionados a AECOM, como respaldo a la Tarea A1-2 descrita en la propuesta de AECOM del 31 de mayo de 2011 titulada "Plan Maestro de Corredor de Movilidad Integral Metropolitana Sustentable Constitución - Morones Prieto". Esta revisión evalúa la adecuación y calidad de los datos y los métodos desarrollados por las entidades locales y el ITESM que se utilizará para contribuir a un plan maestro conceptual del Río Santa Catarina en Monterrey. Nuestra revisión aborda específicamente lo siguiente:

1. Datos del clima e hidrología de la cuenca
2. Datos hidráulicos y geomórficos del río
3. Datos de GIS y datos del terreno LIDAR
4. Datos geológicos y de suelos
5. Datos existentes de la presa / represa
6. Información sobre el estudio de la ubicación de la presa

DATOS DE CLIMA E HIDROLOGÍA DE LA CUENCA

El Estudio Hidrológico del ITESM de octubre de 2010 proporciona una gran cantidad de datos sobre el clima y la hidrología, y estos datos han sido revisados en el memorándum técnico de la Tarea A1-2. Se realizaron investigaciones adicionales para aportar información para ayudar en la evaluación de las condiciones de inundación del diseño.

Las tormentas tropicales y los huracanes pueden ser grandes sistemas regionales con distribuciones variantes en cuanto al tiempo de la precipitación. Los datos publicados disponibles del Servicio de Predicción Hidrológica Avanzada (Pasch, 2011) indican que el centro de la tormenta se localiza al sur de la cuenca (Figura 1); sin embargo, la mayor precipitación en las cercanías cayó sobre la cuenca del Río Santa Catarina. La precipitación más pesada (más de 35 pulgadas) parece haberse producido en un área muy localizada justo aguas abajo de la Presa Rompepicos. Como se ha descrito anteriormente, aproximadamente el 65 por ciento de la cuenca alta del Río Santa Catarina está controlada por la Presa Rompepicos. Los beneficios del control de inundaciones de la presa pueden reducirse si la intensidad máxima de la precipitación ocurre aguas abajo de la presa y/o en una subcuenca no controlada. Aunque la intensidad de la tormenta ocurrió cerca de Monterrey, una mayor extensión espacial de la precipitación máxima por debajo de la presa pudo haber resultado en un aumento de la inundación en Monterrey.

Esta discusión sobre la variabilidad de las tormentas y la discusión previa en este memorándum técnico sobre la exactitud de las estimaciones de la inundación refuerzan la incertidumbre en el establecimiento de cualquier valor para una inundación de diseño.

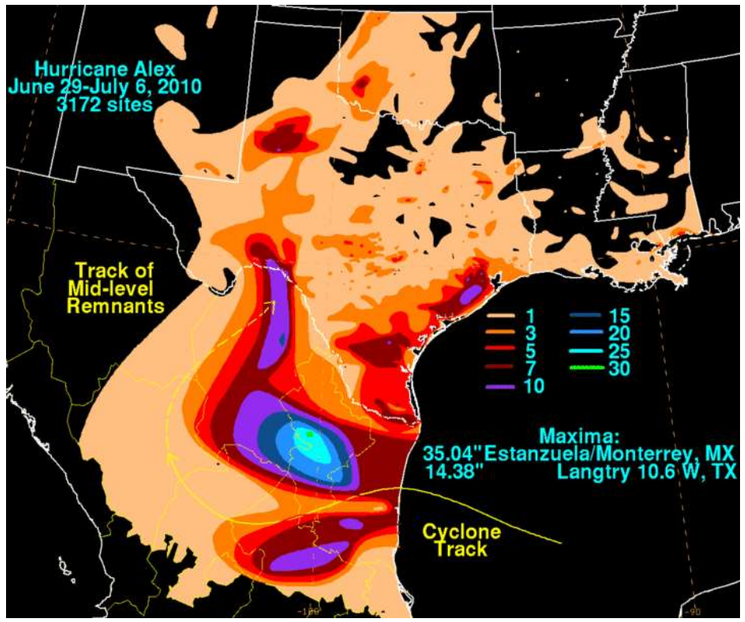


Figura 1. Totales estimados de precipitación del Huracán Alex (pulgadas)

DATOS HIDRÁULICOS Y GEOMÓRFICOS DEL RÍO

El Proyecto de Estudio Hidráulico del ITESM de enero de 2011 proporciona datos hidráulicos y geomórficos de los 7ríos y algunos de estos datos han sido revisados en el memorándum técnico de la Tarea A1-2. De las discusiones con el Dr. Ramírez en el ITESM, entendemos los modelos hidráulicos finales y el informe contarán con información sobre transporte de sedimentos, erosión y deposición. Estos procesos son críticos para la comprensión de los procesos geomórficos del río.

DATOS DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

REVISIÓN DE DATOS

La Tabla 1 resume los datos de SIG proporcionados a AECOM como shapefiles. El nombre de cada archivo está en español y los nombres fueron traducidos al inglés. Por lo tanto, la identificación de cada archivo se realizó con base en una traducción sugerida y una evaluación visual de los datos. Las muestras de los datos de SIG que se revisaron se proporcionan a continuación en las Figuras 2 a 37; se proporcionan descripciones breves de los datos con cada figura.

RESULTADOS

Muy pocos de los shapefiles de SIG tienen un sistema de coordenadas definido y cuando se importan a ArcMap no se alinean espacialmente de manera adecuada. Los shapefiles indefinidos se mostraron espacialmente muy cerca, pero no exactamente donde estarían si se definieran correctamente. Esto sugiere que es muy probable que el sistema de coordenadas correcto sea muy similar a los shapefiles que ya están definidos.

Existen dos planos de referencia horizontales, Plano de Referencia de América del Norte 1927 y 1983. Estos planos de referencia son un proponente utilizado con el sistema de coordenadas. Sólo se recibieron dos shapefiles con un sistema de coordenadas definido de NAD_1983_UTM_Zone_14N. Los restantes shapefiles mostraron cercanía pero no exactitud espacial con los dos con el plano de referencia NAD 83. Los restantes shapefiles se definieron usando el plano de referencia NAD 27, NAD_1927_UTM_Zone_14N, que permitió a ArcMap volver a proyectar los datos y mostrar todos los archivos de manera correcta espacialmente. Los shapefiles están ahora todos en una proyección definida consistente usando UTM NAD 1983 y están alineados espacialmente con todos los demás datos.

Además de las inconsistencias en los sistemas de coordenadas, se encontró que varios shapfiles

RECOMENDACIONES

Con base en esta revisión inicial de los datos de SIG que se nos han proporcionado, tenemos varias recomendaciones para mejorar la calidad de los datos y aumentar la utilidad de los mismos para fines de planificación y diseño maestral. Los datos y aplicaciones de SIG pueden desempeñar un papel importante en los esfuerzos técnicos y visuales para analizar los aspectos espaciales de las alternativas entre los especialistas en diseño y presentar estas alternativas de manera ilustrativa al público o a los encargados de formular políticas para facilitar la disponibilidad al y la participación del público. Las siguientes recomendaciones se generalizan y pueden explorarse o eliminarse más a medida que se proporcione más información sobre los inventarios y aplicaciones existentes y previstos de los datos de SIG.

1. Los datos de SIG pueden ser inventariados y organizados en una base de datos geográficos, con atributos "normalizados"

   • Los campos y atributos con puntos en común pueden enlazarse entre sí, organizados por nombres de campos, tipos y registros de atributos estandarizados

   • Los valores "válidos" dentro de una base de datos pueden ser reforzados mediante el uso de dominios, eliminando errores humanos (errores tipográficos, errores de ortografía, registros de atributos erróneos sin darse cuenta)

2. Las proyecciones, datos, sistemas de coordenadas, escala (es decir, metros/km, pies/millas, etc.) pueden estandarizarse a lo largo de los datos; el análisis completo de los datos se realizaría bajo normas comunes, eliminando posibles errores introducidos por proyecciones mixtas, sistemas de coordenadas, planos de referencia y escalas

   • Puede hacerse referencia a todos los datos específicos de elevación (por ejemplo, elevaciones base de la inundación, contornos, etc.) al mismo plano de referencia, eliminando los cálculos entre NAD27/83 y/o NGVD29/NAVD88.

   • Pueden presentarse todos los datos en el mismo sistema de coordenadas, eliminando los problemas de alineación espacial.

3. Los datos de SIG inventariados/organizados/normalizados pueden vincularse fácilmente a los conjuntos de datos de servicios públicos o municipales existentes

   • Gestión de emergencias: identificar ubicaciones de escuelas, hospitales, instalaciones de emergencia, vías de evacuación durante una inundación u otros incidentes relacionados con datos de inundaciones o cualquier otro dato municipal/ambiental disponible

   • Desarrollo/Planificación: inventario, identificar las ubicaciones de la comunidad que necesitan mejoras, desmantelamiento, uso estratégico de la tierra y relacionarlas espacialmente con datos de servicios públicos u otros datos municipales (¿construcción de espacio de cobertura?).

   • Aplicar la base de datos geográficos a través de imágenes (que pueden organizarse en su propio conjunto de datos / base de datos geográficos)

   • Incrustar imágenes, fotografías dentro de la base de datos geográficos (como fotos de arroyos específicos para H&H, para propósitos de estudio)

4. Data can be distributed to the public (and community staff/officials) through a Web or GIS portal

   • NC website: http://floodmaps.nc.gov/fmis.

Tabla 1. Resumen de los datos de SIG revisados

Nombre de archivo (En Español)	En Inglés	Descripción	Tipo Archivo	Sistema de coordenadas
afluentes de agua	tributaries	Corrientes afluentes - no conectadas al Río Santa Catarina	polilínea	NAD_1927_UTM_Zone_14N
AMM	Monterrey Metropolitan Area	Caminos de doble carril	polilínea	NAD_1927_UTM_Zone_14N
areas de retencion	retention areas	En las áreas de retención / detención de la corriente	polígono	NAD_1927_UTM_Zone_14N
areas urbana (15, 16, 25, 26, 36)	urban areas	?	polígono	NAD_1927_UTM_Zone_14N
baldios	uncultivated	Sin desarrollar - 3 clases - sin atributos	polígono	NAD_1927_UTM_Zone_14N
bordos		¿Presas de Control?	polilínea	NAD_1927_UTM_Zone_14N
cause del escurrimiento	cause runoff	¿Tubería de suministro de agua? Sólo 2 áreas aisladas lejos del río	polilínea	NAD_1927_UTM_Zone_14N
cañadas	glens	Cañadas - Sólo 2 áreas aisladas lejos del río	polilínea	NAD_1927_UTM_Zone_14N
conflictos puntuales	specific conflicts		Punto	NAD_1927_UTM_Zone_14N
conflictos	specific		Punto	NAD_1927_UTM_Zone_14N

puntuales-nuevos	conflicts - new			
cuencas	basins		polígono	NAD_1927_UTM_Zone_14N
cumbres_2002_poly	summits		polígono	NAD_1927_UTM_Zone_14N
curvas amm	contours	Intervalos de 10 metros - cubre toda la zona	polilínea	NAD_1927_UTM_Zone_14N
ductos ammm	products	Parece tubería	polilínea	NAD_1927_UTM_Zone_14N
esdafologia amm	pedology	Suelos	polígono	NAD_1927_UTM_Zone_14N
estaciones c	stations		punto	NAD_1927_UTM_Zone_14N
fotos a seco	dry photos	Enlace a una carpeta	polígono	NAD_1927_UTM_Zone_14N
fotosbrisas	photos in Las Brisas	no datos en archivo	punto	NAD_1927_UTM_Zone_14N
infraestructura real	real infrastructure	Parece tubería	polilínea	NAD_1927_UTM_Zone_14N
invasiones y estrechamientos	invasions and narrowings		polígono	NAD_1927_UTM_Zone_14N
microcuencas	watersheds		polígono	NAD_1927_UTM_Zone_14N
monterrey	Monterrey	Límite político	polígono	NAD_1983_UTM_Zone_14N
proyectos	projects	Se parece a la mayoría de las vías fluviales	polilínea	NAD_1927_UTM_Zone_14N
proyectos apodaca	projects in Apodaca	Apodaca es una ciudad	polilínea	NAD_1927_UTM_Zone_14N
proyectos propuestos	proposed projects		polilínea	NAD_1927_UTM_Zone_14N
proyectos simap	SIMAP projects	Sistema Inteligente de. Monitorización de Alertas Personales	polilínea	NAD_1927_UTM_Zone_14N
represas	dams		punto	NAD_1927_UTM_Zone_14N
riosfinal	rivers		polilínea	NAD_1927_UTM_Zone_14N

secciones	sections		punto	NAD_1927_UTM_Zone_14N
subcueaseco	?	Parecen subcuencas - creo que está mal escrito	polígono	NAD_1927_UTM_Zone_14N
subcuencasf	all subbasins		polígono	NAD_1927_UTM_Zone_14N
ubicacion de fotos	photo locations		punto	NAD_1927_UTM_Zone_14N
uso de suelo actual	current land use		polígono	NAD_1927_UTM_Zone_14N
vados y puentes	fords and bridges		punto	NAD_1927_UTM_Zone_14N
zonas afectadas por eventos	areas affected by events		polígono	NAD_1927_UTM_Zone_14N
zonas de conflictoamm	conflict zones		polígono	NAD_1927_UTM_Zone_14N
zonas de riesgo	risk zones		polígono	NAD_1983_UTM_Zone_14N

Figura 2- Afluentes de Agua (Afluentes)

Los afluentes en este archivo se limitan principalmente a la zona occidental de la ciudad y no se conectan con el Río Santa Catarina. Este archivo tenía un sistema de coordenadas no definido y ahora se define como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Figura 3 – AMM (Área Metropolitana de Monterrey - Carreteras)

Las líneas en este archivo sugieren una red de doble línea de carreteras. No hay atributos en la tabla que identifiquen las líneas. Este archivo tenía un sistema de coordenadas no definido y ahora se define como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Figura 4 – Áreas de Retención

Estas en las áreas de retención de corriente se encuentran en la parte sureste de la ciudad. Esta es la extensión de los datos. Este archivo tenía un sistema de coordenadas no definido y ahora se define como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Figura 5 – Areas Urbana 15, 16, 25, 26, 36

Hay 5 shapefiles del área urbana que se componen de polígonos. Estos polígonos no tienen datos asociados con ellos. Están superpuestos sobre lo que parecen ser parques o tierras no urbanizadas dentro de la ciudad. Esta no es la extensión espacial completa de los datos. Este archivo tenía un sistema de coordenadas no definido y ahora se define como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Figura 6 – Baldios (No Cultivados)

El archivo parece representar tierras no urbanizadas con 2 clases posibles, Baldios y Cerros, este último significa colina o altiplano. Las clases denominadas como Baldios se localizan principalmente dentro de la ciudad o de las tierras bajas. No hay otros atributos para estos datos. Este archivo tenía un sistema de coordenadas no definido y ahora se define como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Figura 7 – Bordos (Presas de Control)

Mientras que una búsqueda de la traducción de "Bordo" arrojó principalmente temas náuticos, se cree que éstos pueden ser Presas del Control en corrientes afluentes. La extensión de este archivo es grande y esta figura muestra algunas presas de control ubicadas cerca del Río Santa Catarina. Este archivo tenía un sistema de coordenadas no definido y ahora se define como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Figura 8 - Cause del Escurrimiento (Escorrentía)

Se cree que este archivo de líneas son sistemas de tuberías de suministro de agua. Existen dos sistemas localizados en áreas que están aisladas del Río Santa Catarina. Hay nombres asociados con algunos de los datos y parece ser un nombre de una calle o colonia. Este archivo tenía un sistema de coordenadas no definido y ahora se define como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Figura 9 – Cañadas (cañadas o barrancos)

Este archivo de líneas que muestra la ubicación de las cañadas o barrancos está aislado en 2 áreas lejos del Río Santa Catarina. No hay atributos para este archivo. Este archivo tenía un sistema de coordenadas no definido y ahora se define como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Figura 10 - Conflictos Puntuales

Este es un archivo de puntos que muestra la ubicación de los conflictos. La tabla para este archivo está completa con atributos. El alcance de los conflictos está dentro de los límites de la ciudad. Este archivo tenía un sistema de coordenadas no definido y ahora se define como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Figura 11 - Conflictos Puntuales-Nuevos

Estos puntos representan ubicaciones de conflicto que son nuevos. No hay datos que definan la definición de "nuevo" en este caso. Los atributos incluyen una colonia que se traduce a un área de la ciudad. Este archivo tenía un sistema de coordenadas no definido y ahora se define como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

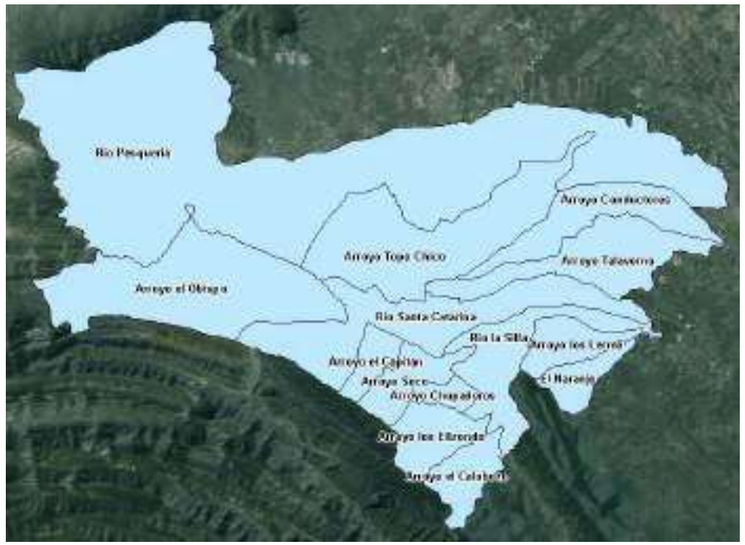


Figura 12 – Cuencas

Estos son los polígonos de la cuenca. Se nombran después del río principal que fluye a través de cada uno. Este archivo tenía un sistema de coordenadas no definido y ahora se define como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Figura 13 – Cumbres 2002 Poli (Cumbres)

Cumbre se traduce en cumbres. Este polígono se encuentra en las montañas. El límite de Monterrey se indica en rojo. Los atributos no son traducibles. Este archivo tenía un sistema de coordenadas no definido y ahora se define como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

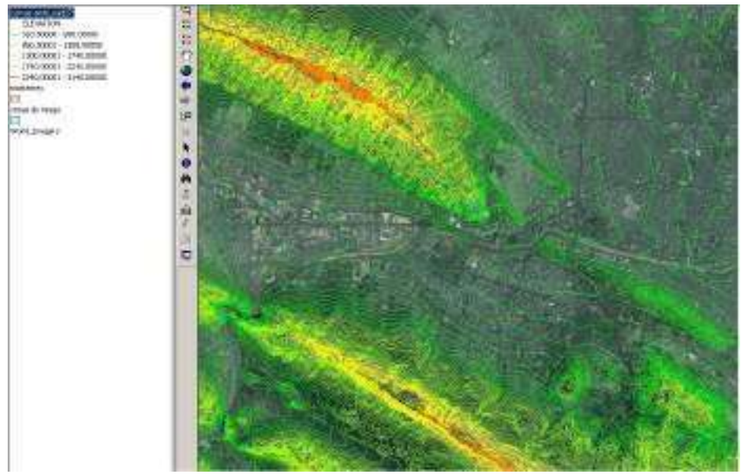


Figura 14 - Curvas AMM (contornos)

Estos son contornos de intervalos de 10 metros. Se extienden cubriendo toda la ciudad de Monterrey. Este archivo tenía un sistema de coordenadas indefinido y queda ahora definido como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Figura 15 – Ductos AMMM (Líneas)

Este es un archivo de línea que aparentemente es una tubería para aguas torrenciales. Hay un campo en la tabla denominado Capacidad que muestra la equivalencia en términos de capacidad. Todas las líneas tienen una capacidad de 0. Este archivo tenía un sistema de coordenadas indefinido y queda ahora definido como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

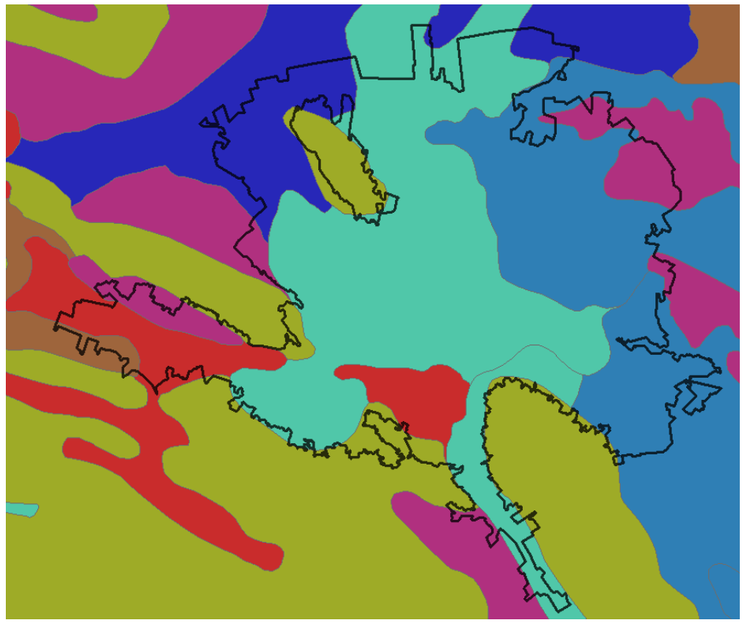


Figura 16 - Edafología AMM (Pedología/suelos)

Este es un archivo de polígonos de suelos. Hay 8 tipos y se clasifican con números 1-8. Este archivo se extiende en buena medida más allá de la ciudad de Monterrey, representada con contorno negro. Este archivo tenía un sistema de coordenadas indefinido y queda ahora definido como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Figura 17 – Estaciones C

Estos puntos representan estaciones. No queda claro qué tipo de estaciones son. Con excepción de un punto por debajo de la línea negra que aquí se muestra, todos los puntos de estación se encuentran dentro del límite de la ciudad (representada en negro). Este archivo tenía un sistema de coordenadas indefinido y queda ahora definido como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Figura 18 – Fotos Arroyo Seco

Este archivo se compone de los polígonos rojos que se muestran en la parte de arriba. Están a lo largo del arroyo Seco. El Río Santa Catarina aparece con un grosor de línea más grueso y azul. En la tabla de este archivo, cada polígono tiene una ruta de acceso de archivo para un .bmp. El enlace para los .bmp es inválido y no se muestran fotos. Este archivo tenía un sistema de coordenadas indefinido y queda ahora definido como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Nota: El siguiente archivo es Fotosbrisas (Fotos en Las Brisas). Es un archivo de punto y no hay datos en él, está vacío.

Figura 19 – Infraestructura real

Este parece ser un sistema de tuberías. Están localizadas al norte del Río Santa Catarina y fluyen hacia el norte, lejos de éste. No hay atributos para estas líneas. Este archivo tenía un sistema de coordenadas indefinido y queda ahora definido como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Figura 20 - Invasiones y Estrechamientos

Este es un archivo de polígonos que identifica áreas de invasión a lo largo del Río la Silla. Ninguno de los datos de este archivo identifica áreas a lo largo del Río Santa Catarina. Los atributos contienen una descripción para la mayoría de las formas. Este archivo tenía un sistema de coordenadas indefinido y queda ahora definido como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Figura 21 – Micro cuencas

Este archivo sólo contiene dos formas que no tienen datos asignados a ellos. Este archivo tenía un sistema de coordenadas indefinido y queda ahora definido como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Figura 22 – Monterrey

Este es un polígono de la delimitación de la ciudad de Monterrey, México. Contiene algunos datos de población y kilómetros cuadrados. Este archivo tiene un sistema de coordenadas definidas NAD_1983_UTM_Zone_14N. No se realizaron cambios en la proyección de este archivo.

Figura 23 - Proyectos

Este es un archivo de línea que aparentemente muestra secciones de ríos, arroyos y tuberías que tienen un proyecto asociado con ellos. Hay algunos datos proporcionados en la tabla de archivos. Este archivo tenía un sistema de coordenadas indefinido y queda ahora definido como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Figura 24 - Proyectos en Apodaca

Este es un archivo de línea que identifica las ubicaciones del proyecto en Apodaca, que es ciudad dentro de Monterrey. Todos los sitios del proyecto en verde claro están al norte del Río Santa Catarina. Este archivo tenía un sistema de coordenadas indefinido y queda ahora definido como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Figura 25 - Proyectos Propuestos

Este es un archivo de líneas para los proyectos propuestos dentro y alrededor de la ciudad de Monterrey. Hay campo de descripción en la tabla de atributos de archivos pero no hay otros datos. Este archivo tenía un sistema de coordenadas indefinido y queda ahora definido como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Figura 26 - Proyectos SIMAP

Este archivo de línea muestra los sitios del proyecto SIMAP (Sistema Inteligente de Monitoreo de Alertas Personales). La tabla proporciona un nombre, tipo y estado para el sitio. Este archivo tenía un sistema de coordenadas indefinido y queda ahora definido como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Figura 27 – Presas

Estos puntos representan las ubicaciones de presa a lo largo de Arroyo Los Elizondo. Estos son los dos únicos puntos en este archivo y no hay información adicional asignada a ellos en la tabla. Este archivo tenía un sistema de coordenadas indefinido y queda ahora definido como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Figura 28 – Rios Final

Estas líneas representan los ríos en la vecindad de Monterrey. El Río Santa Catarina se representa en azul intenso. Sólo se nombran los principales ríos. Los arroyos y afluentes más pequeños carecen de nombres. Este archivo tenía un sistema de coordenadas indefinido y queda ahora definido como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Figura 29 – Secciones

Este es un archivo de puntos que tiene cuatro puntos localizados en Arroyo Los Elizondo y un punto en Rio la Silla. No hay datos en esta tabla de archivos. Este archivo tenía un sistema de coordenadas indefinido y queda ahora definido como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

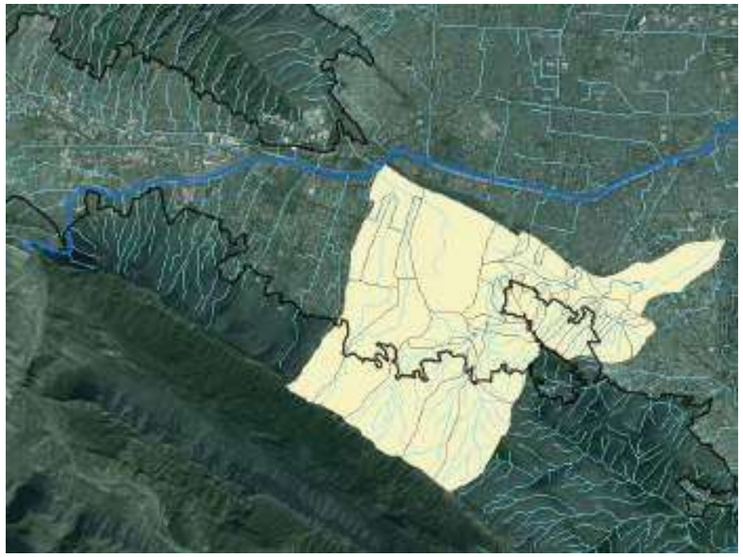


Figura 30 – Subcueaseco

Estos polígonos conforman lo que aparentemente es conjunto parcial de subcuencas. Es probable que la ortografía del archivo sea incorrecta. Es muy similar al caso de la ortografía a las Subbases mostradas en la Figura 29. Hay un nombre de secuencia asignado a cada forma en este archivo. Este archivo tenía un sistema de coordenadas indefinido y queda ahora definido como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

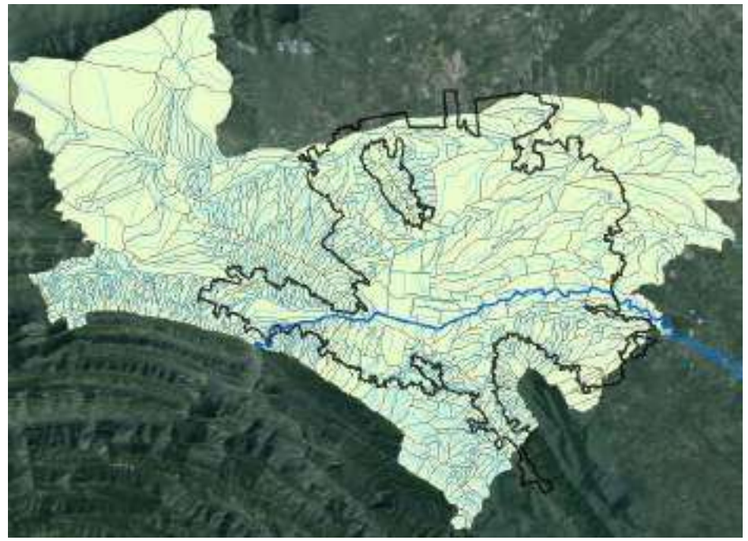


Figura 31 – Subcuencas

Este es un archivo de polígono de todas las subcuencas. El nombre de un afluente se asigna a cada subcuenca. Este archivo tenía un sistema de coordenadas indefinido y queda ahora definido como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Figura 32 - Ubicación de Fotos

Estos puntos son la ubicación de las fotos. Están a lo largo del Arroyo Seco. Hay una breve descripción y una ruta de acceso de archivo a un archivo .gif en la tabla. No se proporcionaron fotos y la ruta del archivo no muestra contenido. Este archivo tenía un sistema de coordenadas indefinido y queda ahora definido como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

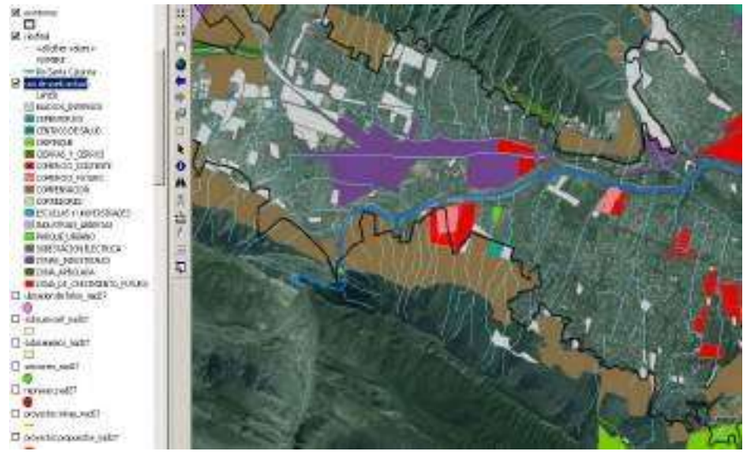


Figura 33 - Uso de Suelo Actual

Aquí se muestran algunos de los usos actuales de terrenos. En la columna de la izquierda hay un desglose de todos los usos de tierra. No se muestra ningún otro dato en este archivo. Este archivo tenía un sistema de coordenadas indefinido y queda ahora definido como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Figura 34 - Vados y Puentes

Estos puntos representan la ubicación de vados o puentes a lo largo del Río Santa Catarina y Arroyo El Obispo. Los únicos datos de la tabla son un número de identificación. Este archivo tenía un sistema de coordenadas indefinido y queda ahora definido como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Figura 35 - Áreas Afectadas por Sucesos

Estos polígonos se encuentran a lo largo del Arroyo Chupaderos en la Colonia Las Brisas. Este archivo tenía un sistema de coordenadas indefinido y queda ahora definido como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

Figura 36 - Zonas de Conflictoamm

Estos polígonos muestran áreas de conflicto potencial durante una tormenta. A cada uno se le atribuye un tipo de numeración del 1-5. Cada número de tipo se muestra en un tono diferente de rojo aquí. Este archivo tenía un sistema de coordenadas indefinido y queda ahora definido como NAD_1927_UTM_Zone_14N.

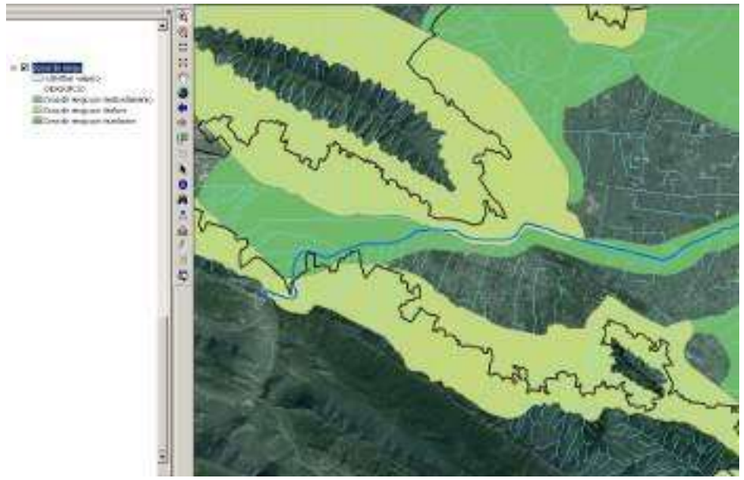


Figura 37 - Zonas de Conflictoamm

Estos polígonos representan las zonas de riesgo asociadas con un caso de inundación. Hay tres tipos descritos aquí: desbordamiento, deslave e inundación. Este archivo tiene un sistema de coordenadas definidas NAD_1983_UTM_Zone_14N. No se realizaron cambios en la proyección de este archivo.

DATOS LIDAR DEL TERRENO

Se realizaron revisiones cuantitativas y cualitativas de los datos LiDAR 2010. Los resultados de estas revisiones se resumen a continuación:

1. Revisión cualitativa de LiDAR:
   - Se utilizaron 35 puntos de control para probar la exactitud de la LiDAR.
   - El objeto era lograr 0.1 metros RMSEz
   - Alcanzado 0,06 metros RMSEz
   - ASPRS Clase 1 intervalo de contorno alcanzable de 0.2 metros
   - ASPRS Clase 1 intervalo de contorno alcanzable de 0.3 metros
2. Revisión cualitativa de LiDAR:
   - Muestra pequeña de mosaicos procesados
   - Estima un espaciamiento posterior de 1 metro
   - Archivo LiDAR de formato LAS legible/utilizable
   - 3d líneas de quiebre legible / utilizable
   - El resultado de TIN y el raster de DEM parecen tener valores suficientes

Dentro del conjunto de datos LIDAR existen dos bases de datos geológicas que contienen un TIN compilado para lo que aparentemente son dos corredores de fuentes de inundación; Río Pesquería y el Río Santa Catarina (Figura 38). Se desconoce la forma cómo se determinaron las extensiones, la metodología del desarrollo del NIN, o el propósito del gdb. La Figura 38 muestra los contornos gráficos (en negro) de los dos TINs de gdb y el área rosada representa la Ciudad de Monterrey.

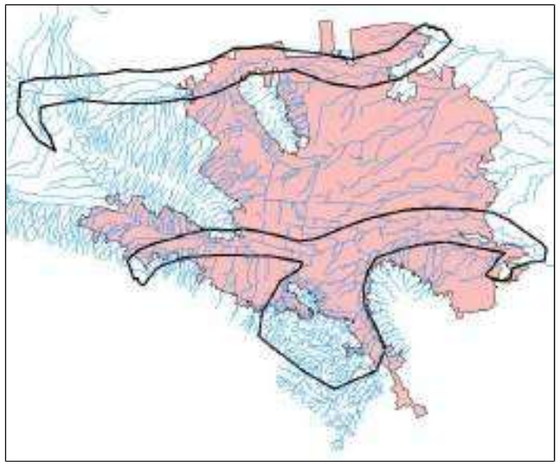


Figura 38. Desarrollo de TIN en el conjunto de datos LIDAR

La Figura 39 muestra una pequeña muestra de los archivos LiDAR procesados para inspección visual (revisión cualitativa).

Figura 39. Muestra del conjunto de datos 2010 LIDAR

La figura 40 muestra una muestra de un DEM que AECOM procesó dentro de la ciudad que tiene un tamaño de celda de 10 metros.

Sigue habiendo estructuras en los datos (por ejemplo, casas, edificios, etc.). Estos archivos LiDAR tienen etiqueta que indica que fueron filtrados automáticamente, lo que significa que el proveedor probablemente hizo una revisión manual del conjunto de datos y no corrigió los errores de la herramienta de clasificación automatizada.

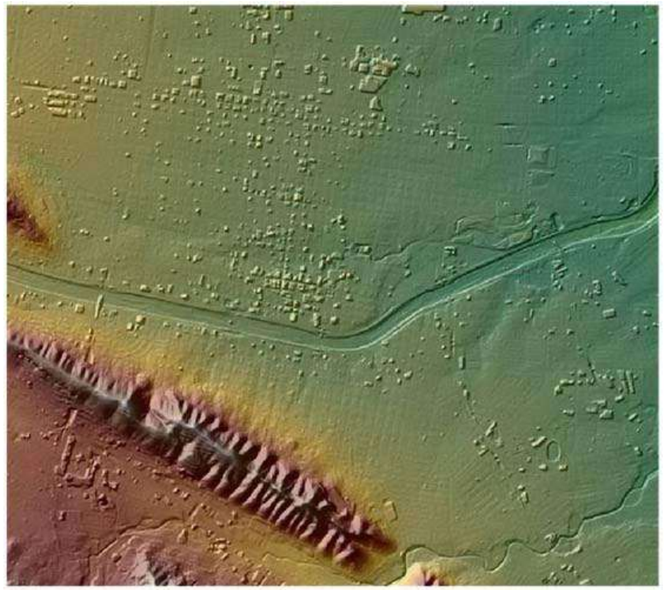


Figure 40. Ejemplo de Modelo Digital de Elevación de 10 Metros (MDE) de Monterrey

DATOS EXISTENTES DE RESERVA PRESA G

Los datos que se revisaron en la Presa Rompepicos (Figuras 41 y 42) incluyeron reportes y dibujos CAD proporcionados a AECOM. Se analizaron los datos relacionados con la presa existente en cuanto a la cantidad de datos disponibles y su calidad para proporcionar una comprensión de las características existentes de la presa. Los datos no fueron revisados en lo que respecta a su racionalidad, su adherencia a estándares específicos, o a efectos de generar recomendaciones para trabajos futuros ya que la presa existente ya está construida. En general, los datos revisados son de buena calidad y proporcionan una comprensión a profundidad sobre la ubicación actual de las presas, su diseño y sus características operativas.

Figura 41. Vista afluente abajo de la presa Rompepicos

Figura 42. Vista afluente arriba de la presa Rompepicos

INFORMES

La fuente principal de datos sobre la presa existente se proporcionó en dos documentos:

1. Octubre 2010 Informe del ITESM "Estudio Hidrológico de la Cuenca del Río Santa Catarina".
2. Febrero 2002 Informe del Secretario de Desarrollo Urbano y Obras Públicas «Sitios del Proyecto Presa Rompepicos Corral de Palmas".

El Informe del ITESM de octubre de 2010 "Estudio Hidrológico de la Cuenca del Río Santa Catarina" tiene como objetivo efectuar una evaluación hidrológica de la cuenca del Río Santa Catarina, específicamente para determinar las inundaciones en el diseño a razón de 5, 10, 20, 50, 500 y 1000, y en ubicaciones definidas por los años en los sitios cercanos a la represa de Rompepicos, a la entrada de las estaciones de calibración Monterrey, Lerman y Cadereyta.

La Sección 4.6 proporciona mapas de las cuencas hidrográficas regionales que contribuyen a la confluencia de los ríos Santa Catarina y San Juan, como queda en evidencia en la Figura 43 a continuación. Esta sección proporciona una tabla del área y mapas de la topografía, cobertura de vegetación e información de suelos para cada subcuenca, lo cual es de suma importante para comprender las características del drenaje de las cuencas hidrográficas de la presa existente.

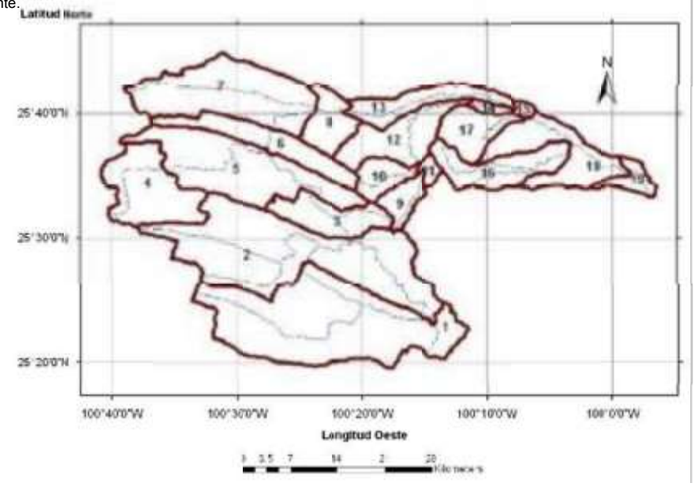


Figura 43. Cuencas regionales que contribuyen a la confluencia de los ríos Santa Catarina y San Juan

La Sección 5.1 provee las localizaciones de estaciones meteorológicas en las subcuencas (Figura 44), necesarias para entender el nivel de precipitaciones que contribuyen a la hidrología a la presa existente.

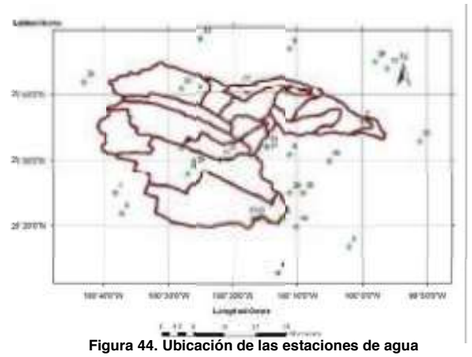


Figura 44. Ubicación de las estaciones de agua

La Sección 5.3 proporciona información fundamental de diseño y operaciones asociada con la presa existente.

La presa de Rompepicos fue construida en 2004 para proveer control de inundaciones a los municipios afluente abajo junto al río de Santa Catarina. Esta presa se encuentra aproximadamente a 22 kilómetros al suroeste de Monterrey (25 ° 33 '23 " latitud norte y 100 ° 23' 51" longitud oeste) en la zona denominada Corral De Palmas y controla aproximadamente 731.000 kilómetros cuadrados (70% de la parte superior Rio Santa Catarina) mostrado en la Figura 45.

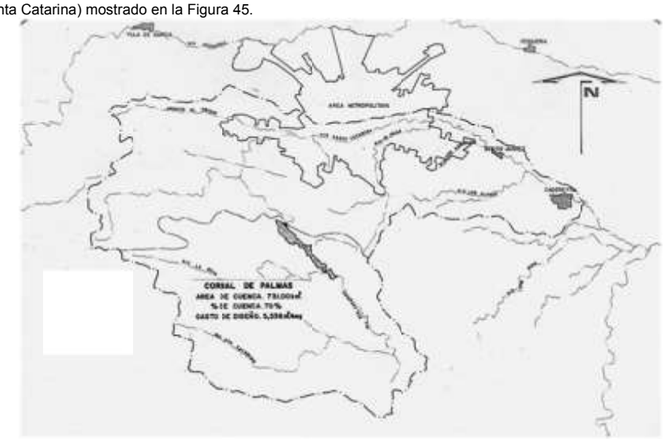


Figura 45. Cuenca de Río Santa Catarina controlada por la Presa Rompepicos

La presa es una estructura de hormigón compactado con rodillos gravitatorios (RCC) con una altura de 107.4 metros y una longitud máxima de 238.2 metros. La presa almacena aproximadamente 156 millones de metros cúbicos de agua a una altitud de 930
(Figura 46).

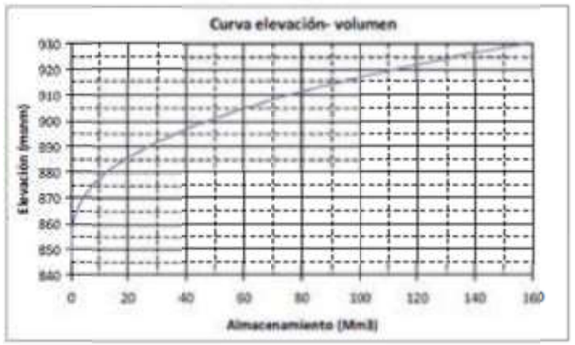


Figura 46. Curva de volumen-elevación de la Presa Rompepicos

La descarga de la presa es facilitada por un túnel primario de 6 metros por 6 metros con una capacidad máxima de 838 metros cúbicos por segundo y un tubo de desagüe inferior con capacidad de 3.3 metros cúbicos por segundo y un vertedero abierto tipo Creager con una longitud de cresta de 60 Metros y capacidad máxima de 3376 metros cúbicos por segundo. En conjunto, las salidas de la presa tienen una capacidad de descarga máxima conjunta de aproximadamente 4.090 metros cúbicos por segundo (Figura 47).

Figura 47. Curva de Descarga de Elevación-Capacidad para la Presa Rompepicos

Según la información presentada por CONAGUA, la operación de la presa durante el huracán Alex dio como resultado un nivel máximo de agua de aproximadamente 2.5 metros por debajo de la cresta del vertedero y un pico de descarga de aproximadamente 650 metros cúbicos por segundo a una elevación máxima de aproximadamente 905 metros. (Figura 48).

Figura 48. HEC-HMS Resultados de Modelo de las Operaciones a Valores Máximos de Rompepicos durante la Tormenta ALEX

El Informe de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas de febrero de 2002 "Sitio del Proyecto de la Presa de Rompepicos Corral de Palmas" proporciona información sobre la selección del sitio para la presa de Rompepicos incluida la geología subyacente de las secciones de presas mostradas en la Figura 49. La base de la presa está conformada por una formación geológica de piedra caliza con estratificación bien definida y tectónica de estructura anticlinal regional que crear una estructura estable. El informe también proporciona el enfoque y los resultados de la evaluación estática y sísmica del sitio de la presa y las consideraciones de construcción.

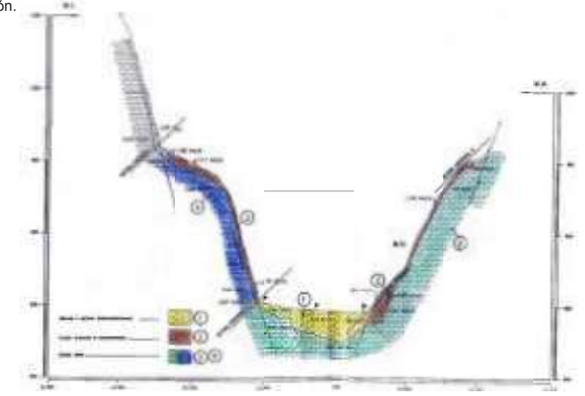


Figura 49. Zonificación de tipos de rocas en la presa de Rompepicos

DIBUJO CAD

Se tuvo a disposición muchos dibujos CAD asociados con la presa Rompepicos para su revisión. Los dibujos incluyeron mapas topográficos de vista del plano del área de inundación de la presa como se muestra en la Figura 50. A 920 metros de altitud, el área de inundación es de aproximadamente 3.9 kilómetros cuadrados, y la capacidad volumétrica es de aproximadamente 108 millones de metros cúbicos.

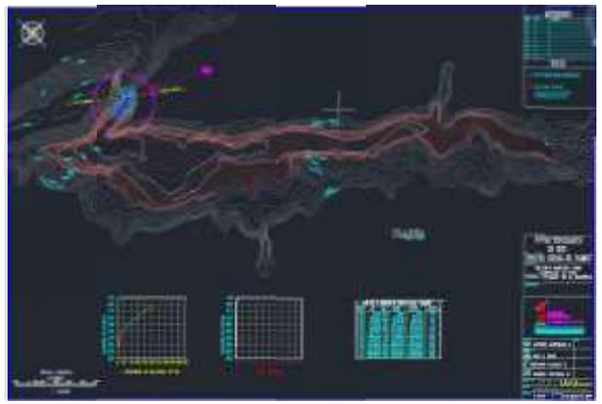


Figura 50. Dibujo CAD topográfico del área de inundación de Rompepicos

La Figura 51 proporciona 19 cortes transversales por las área de inundación de la presa.

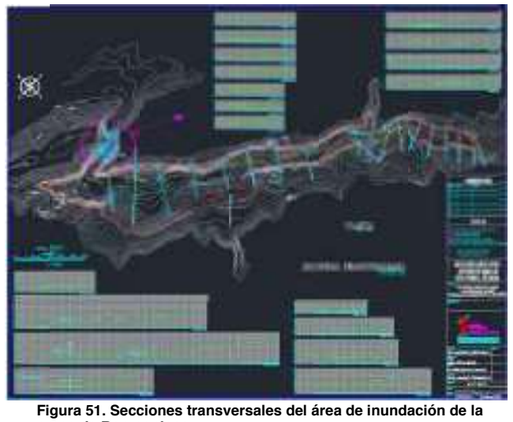


Figura 51. Secciones transversales del área de inundación de la presa de Rompepicos

Se tenía a disposición muchos otros diseños CAD incluidas vista en planta, vista en sección, secciones longitudinales, secciones estructurales, planes de excavación, obras de salida y planes de capacidad de área. En la Figura 52 se muestran dibujos representativos que muestran vistas en planta, perfil y sección transversal de la presa.

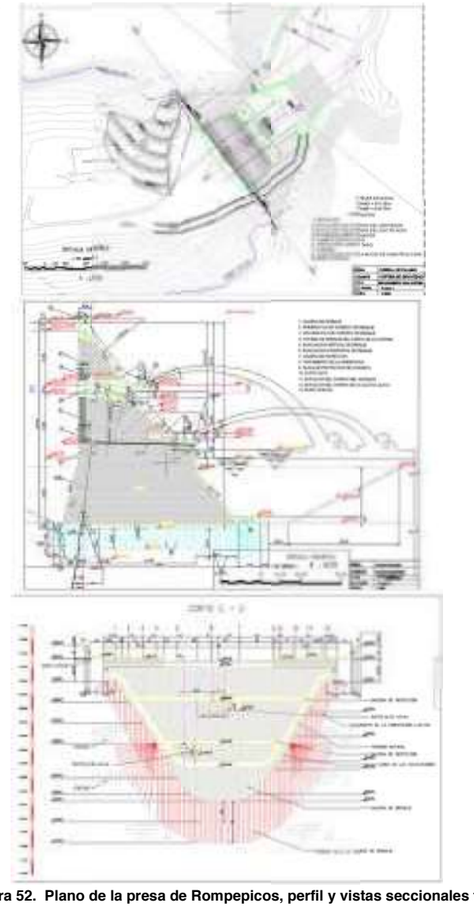


Figura 52. Plano de la presa de Rompepicos, perfil y vistas seccionales transversales

ESTUDIOS DE UBICACIÓN DE LA PRESA

Había pocos datos disponibles sobre estudios de ubicación de presas. Las fuentes de datos principales incluyeron algunas presentaciones de PowerPoint y algunos dibujos CAD. No se proporcionaron informes a AECOM que describieran el proceso de ubicación en detalle. Los datos existentes asociados con los estudios de ubicación de presas fueron revisados a efectos de saber cuántos datos estaban se tenían a disposición y por su calidad para proporcionar comprensión de las actividades de ubicación que se han completado. Por la escaza cantidad de datos disponibles y a las descripciones limitadas disponibles, no se revisaron los datos revisados en cuanto a su racionalidad, adhesión a estándares específicos o con el propósito de generar recomendaciones para trabajos futuros puesto que entendemos que la ITESM se encuentra proceso de generar una estudio detallado de ubicación de presas que reemplazará la información presentada a continuación. Recomendamos que se realice una revisión del estudio del ITESM para proporcionar una comprensión durante el proceso de planificación maestra del trabajo más reciente de ubicación de presas.

PRESENTACIONES DE POWERPOINT

Una presentación en PowerPoint proporciona una diapositiva titulada Alternatives Study que muestra un esbozo a grandes rasgos de tres posibles sitios de represas y áreas de reserva correspondientes: El Huasteco, Los Garcia, Corral De Palmas (Figura 53).

Figura 53. Tres sitios alternativos de represas, áreas de drenaje y volumen de descarga

El Huasteco incluye una zona de drenado de 1.198 kilómetros cuadrados y un flujo máximo de 8.266 metros cúbicos p/segundo. El Huasteco incluye una zona de drenaje de 1.050 kilómetros cuadrados y un flujo máximo de 7.268 metros cúbicos p/segundo. Corral De Palmas se muestra con una zona de drenaje de 731 kilómetros cuadrados y un flujo máximo de 5.058 metros cúbicos p/segundo. Corral De Palmas representa el área asociada con el sitio actual de la presa Rompepicos. No se encontró información adicional sobre la racional detrás de esos lugares o su propósito, si se han identificado problemas de diseño o construcción.

Una propuesta del ITESM de septiembre de 2010 titulada "Impactos y Mitigación a lo largo del Río Santa Catarina - Huracán Alex", sección 2.6, brinda una breve muestra de trabajo sobre la revisión de la operación de la represa existente de parte de la universidad. La propuesta indica que el ITESM evaluará la operación de la presa para un caso extraordinaria de tormenta y preparará un modelo de simulación de lluvia - escorrentía de la cuenca del río Santa Catarina para considerar el control alternativo de tormentas para otra posible presa en La Huasteca. La propuesta pasa a indicar que esta actividad requerirá que CONAGUA proporcione información de carácter final en cuanto al diseño de la presa, incluyendo geometría completa, capacidad y cualquier información adicional de interés.

Otra presentación en PowerPoint proporcionó cinco diapositivas (Figuras 54 a 58) en cuanto al mapeo topográfico y geológico de la región que puede para ubicar las presas. La cartografía geológica aparentemente es sólo geología superficial.
Se incluyen legendas en los mapas que acompañan las diapositivas en el PowerPoint.

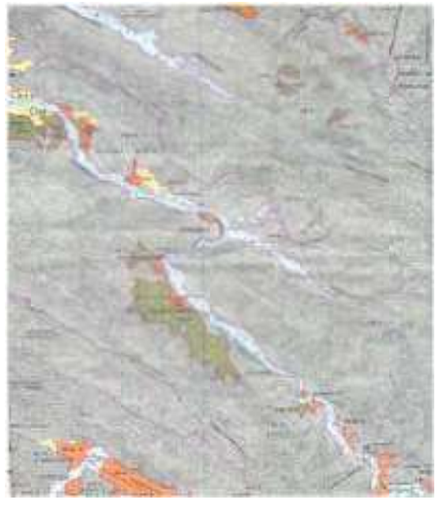


Figura 54. Estudio Pedológico de INEGI Sección G14C25 Garza García

Figura 55. Estudio topográfico INEGI Sección Garza Garcia G14C25

Figura 56 Uso de terrenos Garza Garcia G14C25 INEGI

Figura 57. Sección del Mapa Geológico Sección G14-7 INEGI Monterrey

Figura 58. Estudio hidrológico sección G14-7 de INEGI Monterrey

DIBUJO CAD

Se encontraron dos dibujos CAD que aportan ciertos conocimientos sobre los planes de diseño de la presa de Los García.

La Figura 59 muestra una vista en planta del mapa topográfico del área de inundación de la presa. A 780 metros de altitud, el área de inundación es de aproximadamente 5.5 kilómetros cuadrados, y la capacidad volumétrica es de aproximadamente 116 millones de metros cúbicos.

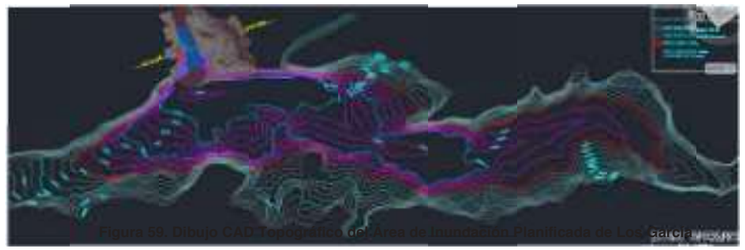


Figura 59. Dibujo CAD Topográfico del Área de Inundación Planificada de Los García

La Figura 60 es un dibujo CAD que muestra las vistas de planta y sección y volúmenes de excavación planeados, elevaciones clave, capacidad de volumen, capacidad de descarga y curva de capacidad de área para el sitio de la presa de Los García.

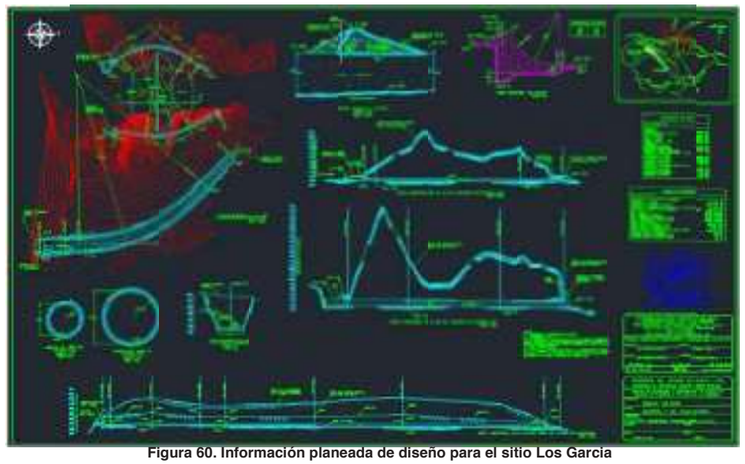


Figura 60. Información planeada de diseño para el sitio Los Garcia

No se encontró información detallada en la presa de El Huasteco. Recomendamos consultar el estudio ITESM para entender el trabajo de ubicación de presas más reciente que se está completando.

REFERENCIAS

Pasch, R.J., 2011. Tropical Cyclone Report Hurricane Alex (AL012010) 25 June–2 July 2010 National Weather Service, Advanced Hydrologic Prediction Service, Diciembre 15 http://www.nhc.noaa.gov/pdf/TCR-AL012010_Alex.pdf [last accessed July 13, 2011].

Memorándum

PARA:	Secretaría de Desarrollo Sustentable Gobierno del Estado de Nuevo León
DE:	AECOM + Nelson\Nygaard
PROYECTO	Plan maestro metropolitano del corredor integral de movilidad sustentable Constitución - Morones Prieto
TAREAS(S)	ETAPA A - Tareas A1-3, A3-3 (Transporte)
FECHA DE CONCLUSIÓN	Julio 20 de 2011
PROPÓSITO	Registro de datos existente que incluye información de transporte revisada. Memorándum que resume los objetivos de desarrollo regional recogidos de los documentos de planificación

Se dejó intencionalmente esta página en blanco.

Tareas A1-3, Tareas A3-3 (Transporte)

INTRODUCCIÓN

Monterrey pretende convertirse en una ciudad multimodal sustentable en donde, en definitiva, el uso de un automóvil para la movilidad en la ciudad será una opción y no la necesidad actual. No obstante, de manera histórica, la ciudad ha carecido de una consideración holística en cuanto a todo el transporte y otras necesidades de la ciudad y los usos múltiples de las calles urbanas. Por ejemplo, un enfoque especializado en el tráfico de vehículos ha dado como resultado un acentuado crecimiento en el uso del automóvil, un serio deterioro en la calidad de los servicios de transporte público y considerables aumentos en la congestión vehicular.

Una serie de planes (a saber, el Plan Sectorial de Transporte y Vialidad) reconocen estos temas y proponen estrategias para abordarlos, no obstante las recientes decisiones de inversión en infraestructura de transporte que fueron forzadas por la emergencia del huracán Alex no han apoyado esta dirección. Estas decisiones son, en retrospectiva, comprensibles (y, afortunadamente, se pueden corregir). Cuando Alex destruyó gran parte de la red a lo largo del río era lógico pedir que la secretaria de carreteras que reparara el daño. Motivado porque no se tuvo la oportunidad de reconsiderar todo el corredor del río para todas las necesidades -incluido el tránsito mejorado, protección contra inundaciones y necesidades recreativas- durante el período de reparación de emergencia, se estableció una solución particularmente centrada en el automóvil.

Lo que ha ocurrido como resultado es que el tráfico de automóviles por ambos lados del río ha aumentado significativamente desde las condiciones previas a Alex y más de los modelos proyectados. Más capacidad de tipo "carretera" ha creado o inducido más tráfico automotriz mediante una "triple convergencia" de conductores que cambian rutas, modos de transporte y tiempos para conducir en el corredor durante los periodos pico. Como resultado, ambas autopistas están muy congestionadas y las intersecciones parcialmente implementadas que conectan con el resto de la ciudad padecen una considerable congestión.

Esto ha creado un conflicto entre la visión de perseguir un futuro multimodal más sostenible y el comportamiento presente de los recorridos. Si Monterrey pretende contener el aumento del uso del automóvil y aumentar el uso de modos no automotrices mediante el desarrollo de un sistema de transporte público moderno y confiable, mejoras en las instalaciones de bicicletas y peatones y la gestión de la demanda de transporte, necesitará una dirección nueva contundente.

Si la meta sigue siendo una ciudad sostenible y multimodal, entonces el diseño de la carretera de un solo sentido para Morones Prieto y Constitución se debe entender como una medida temporal. La copla de autopista unidireccional aumenta la dependencia vehicular, acentúa los problemas de tráfico actuales y, de hecho, ya ha incrementado el tráfico automovilístico.

La magnitud de este cople, que se aproxima a veinte carriles de vehículos en algunos casos, es una gran parte del problema a largo plazo. Esto en total representa más de 70 metros de espacio de vehículo - más de 35 metros en cada lado del río. Una dedicación tan grande con respecto a los vehículos privados fomenta su uso y los atrae hacia el corredor, y esto entra en conflicto con los planes a largo plazo para la ciudad.

Los mejores planes de transporte se cimentan en un plan de uso de la tierra debidamente equilibrado -los dos deben prepararse en estrecha coordinación unos con otros. A efectos de que Monterrey lleve a cabo sus planes futuros, la visión adecuada es mucho mayor que los corredores Morones Prieto y Constitución. Por esta razón, este proyecto considera soluciones de diseño a corto plazo para el corredor en el marco de un nuevo enfoque de la movilidad a escala de la ciudad en el largo plazo.

INFORMACIÓN DE TRANSPORTE REVISADO

El equipo de AECOM + Nelson / Nygaard con su revisión y análisis de estudios y planes existentes ha adquirido una comprensión de las características del transporte, uso de la tierra, forma urbana y las demográficas en la ciudad. Si bien los datos de transporte y uso de la tierra disponibles presentan una escasez de detalles, hemos venido obteniendo un cuadro más claro de las necesidades de transporte y problemas de la red de calles en la Ciudad, a mediante visitas a sitios, reuniones con autoridades municipales y estatales y el análisis de la relación entre el uso de la tierra, el desarrollo urbano y la demanda de transporte. No se cuentan con los datos completos sobre el estudio de origen y destino, por lo que hemos basado nuestro análisis de la demanda de recorridos bajo una comprensión más agregada (descrito en estudios y planes existentes) de dónde existen actualmente importantes flujos de tránsito y tránsito.

En particular, hemos revisado la información relacionada con los planes y estudios de toda la ciudad, así como las estrategias de proyectos y diseño del corredor, incluido:

A nivel metropolitano:

- Planes de transporte y la infraestructura de la red de carreteras para gestionar el crecimiento de la demanda de desplazamientos vehicularas y congestión del tráfico vehicular.
- Las nuevas políticas y directivas estatales y locales sobre la movilidad sostenible para contener el crecimiento en el uso de vehículos privados y reducir la congestión de tráfico.
- Revisión de la estructura del sistema de transporte público y la red de rutas para entender los flujos actuales y las condiciones de operación.
- Plan de desarrollo urbano y proyecciones de crecimiento para el área metropolitana

de Monterrey Nivel Corredor

- Proyecto de diseño de cople vial del proyecto para modificar operación de tráfico vehicular en Constitución y Morones Prieto
- Adiciones de carriles a los puentes actuales y nuevos proyectos de viaductos sobre el río Santa Catarina para ajustar las operaciones de tráfico vehicular al nuevo diseño de cota de carretera
- en las conexiones de Constitución y Morones Prieto con el sistema de red de calles y sistema de carreteras estatal y nacional.

Bitácora de datos

El equipo del proyecto ha estado llevando control de toda la información y datos recibidos mediante un registro de datos o una lista. Las listas que se muestran a continuación resumen los estudios y planes más relevantes revisados, las bases de datos específicas y las capas de información de SIG que hemos recibido, así como las informaciones más relevantes que desearíamos obtener para desarrollar un panorama más completo de la demanda de recorridos y viajes Problemas en la ciudad.

Los estudios y planes más relevantes examinados han incluido:

- Plan Metropolitano del Área de Monterrey
- Plan Sectorial de Transporte y Vialidad
- Plan Maestro de Transporte Público Metro Rey
- Plan Vial de Contingencia Post-Emergencia
- Plan de Reconstrucción Infraestructura Vial - Constitución y Morones Prieto
- Propuesta de Recuperación Cauce Río Santa Catarina

- Propuesta de Vialidad Ciclo-inclusiva de Monterrey

Los datos recibidos y revisados incluyen:

- Morones Prieto y Constitución Volúmenes de Tráfico (Synchro & Vissim)
- Proyecto Par Vial Constitución y Morones Prieto (CAD Files)
- Proyectos de Viaductos sobre Morones Prieto y Constitución (CAD, PDF and JPEG)
- Capas GIS
    - Áreas urbanas y delimitaciones políticas
    - Límites de propiedad
    - Contornos de topografía (curvas)
    - Uso de tierra (datos incompleto)
    - Ríos, arroyos y escorrentías
    - Zonas de conflicto (agua e inundación)

Saltos relevantes en datos:

- Datos de uso de tierra
    - Capa completa de SIG incluyendo detalles sobre áreas residenciales y de empleo
- Red de transporte público
    - Capas de GIS incluido Metro, enlaces de Metro, Transmetro y rutas regulares de autobús
    - Conteos de tráfico actual en Morones Prieto y Constitución
- Red de vialidades
    - Líneas centrales de la calle en formato GIS
- Encuesta Origen Destino 2005 (anexo estadístico de resultados)
    - Zonas de análisis
    - Bases de datos del hogar, persona y viaje
    - Base de datos de destinos (viajes entre zonas)

ESCALA METROPOLITANA

METAS A ESCALA METROPOLITANA

Basado en una revisión de los principales estudios y planes de transporte realizados en los últimos años para la Ciudad de Monterrey y el área metropolitana, nos hemos enterado de que Monterrey ha establecido una visión clara para adoptar un modelo de ciudad multimodal sustentable donde un automóvil será finalmente una opción opcional, no una necesidad para viajar en la ciudad. Específicamente, la ciudad propone lograr lo siguiente:

-
- Mejorar la movilidad y calidad de vida
- Crea un sistema de transporte multimodal de alta calidad
- Forjar los cimientos para un transporte público moderno
- Mejorar el desempeño del sistema de autobuses públicos (por ejemplo, velocidades de operación, competitividad con los tiempos de viaje automáticos) e incrementar su modo de dividir áreas de desempleo y reducciones

Mejorar las condiciones para el tránsito en bicicleta y a pie

- Contener y reducir la duplicación del parque vehicular

Estos objetivos formarán la base de toda nuestra política de transporte y propuestas de diseño para el corredor a nivel metropolitano. La finalidad de este proceso de planificación es ilustrar los pasos necesarios para lograr que Monterrey transite de las condiciones actuales hacia esta visión futura.

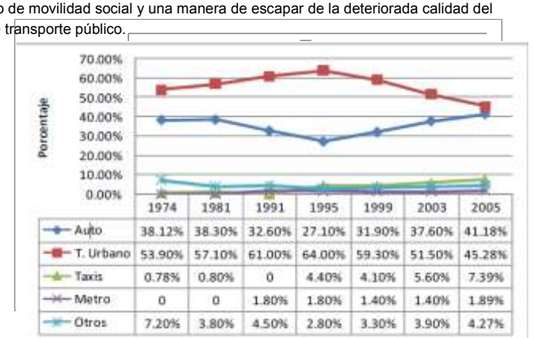
La ciudad de Monterrey parece mostrar el compromiso de adoptar el diseño de un sistema de transporte orientado a mover personas, no automóviles. Sin embargo, para llevar verdaderamente la visión a largo plazo se requerirá una fuerte orientación política para hacer el cambio de los patrones y políticas de inversión centradas en los automóviles de manera histórica a nuevas políticas que apoyen un futuro multimodal.

RESUMEN DE LOS PROBLEMAS DE IDENTIFICADOS A NIVEL METROPOLITANO

Los principales problemas de transporte que se identificaron en nuestra revisión son:

- **Pérdida en la densidad, expansión de la mancha urbana:** en los últimos 30 años la ciudad se ha extendido a lo largo de los principales corredores de autopistas y ha perdido progresivamente densidad, residentes y negocios en su zona central.

- **Crecimiento de la congestión del tráfico**: expansión, desarrollos aislados y de uso único, como esta imagen, han generado la necesidad de viajar a más distancia en la ciudad de los suburbios al centro de la ciudad, del centro a los suburbios y de suburbio a suburbio.
  Esto ha dado como resultado un crecimiento acelerado en el uso del automóvil privado y la congestión del tráfico en las principales arterias de la ciudad.
- **Aumento del uso el automóvil privado**: los "regiomontanos" han adoptado el coche como el medio de transporte principal para superar los efectos negativos de la expansión y la congestión del tráfico (recorridos de mayor distancia y tiempos de recorridos más largos). Poseer un coche también se ha convertido en un símbolo de movilidad social y una manera de escapar de la deteriorada calidad del servicio en el sistema de transporte público.
- **Deterioro de Transporte Público:** la expansión de la mancha urbana ha dado lugar a un deterioro de los resultados económicos del sistema de autobuses. Nuevo trazado residencial y en la densidad en el área central (debido a que tanto los residentes como las empresas se mudan)



	1974	1981	1991	1995	1999	2003	2005
Auto	38.12%	38.30%	32.60%	27.10%	31.90%	37.60%	41.18%
T. Urbano	53.90%	57.10%	61.00%	64.00%	59.30%	51.50%	45.28%
Taxis	0.78%	0.80%	0	4.40%	4.10%	5.60%	7.39%
Metro	0	0	1.80%	1.80%	1.40%	1.40%	1.89%
Otros	7.20%	3.80%	4.50%	2.80%	3.30%	3.90%	4.27%

Figura 1 Deterioro de servicio de compartición de tránsito público

ha resultado en un menor número de pasajeros por viaje u hora de servicio en promedio. Como consecuencia, los operadores privados del sistema de autobuses han ajustado su servicio (han extendido las rutas) para intentar mantener a los pasajeros, pero las rutas prolongadas han dado como resultado un rendimiento inferior. Al mismo tiempo, el sistema ha sido lento o no puede adaptarse a las nuevas condiciones creadas por la expansión. El sistema depende en gran medida de las rutas entre ciudades que atraviesan la zona central con el fin de captar los pasajeros que entran y salen del centro de la ciudad. Además de los recorridos que cruzan la ciudad, los usuarios ven que sus viajes aumentan en tiempo por causa de las lentas velocidades en el centro y por las la transferencia a otra ruta en el centro de la ciudad. Como resultado, los regiomontanos han venido abandonando el sistema de transporte público en favor de la flexibilidad del automóvil privado. Esto a su vez aumenta la congestión del tráfico y deteriora aún más el rendimiento del sistema público. Si bien la compartición del modo de transporte público sigue siendo alta, ésta sigue disminuyendo rápidamente a razón de al alrededor del 40 por ciento.

- **Alto índice de accidentes**: conducir en Monterrey es peligroso, las estadísticas de accidentes actuales muestran altas tasas de accidentes por conductor. Pero caminar en la ciudad y cruzar las calles es aún más peligroso, hay muchos accidentes que resultan en lesiones y muertes, con una alta incidencia de muertes de peatones.
- **Problemas de estacionamiento:** Es difícil encontrar estacionamiento y vehículos estacionados que invaden las zonas peatonales.
- **Mala calidad de los espacios peatonales y espacio público**: hay una falta general de espacios públicos de alta calidad y áreas recreativas en la ciudad. El río Santa Catarina proveyó muchas de estas necesidades mediante el uso de su cauce para actividades recreativas. En las calles de la ciudad, el espacio peatonal ha sido reducido a un mínimo o completamente eliminado a lo largo de los corredores principales (es decir, Gonzalitos y Morones Prieto), y las banquetas son a menudo invadidas por vehículos estacionados y otras invasiones como vendedores callejeros y mobiliario urbano. Los estudios también muestran que es difícil para los peatones abrirse paso en la ciudad. Por último, cruzar el río Santa Catarina ha sido siempre una aventura y una necesidad no atendida en la ciudad, a juzgar por las numerosas conexiones de puentes peatonales y los pasos elevados que existían en el lecho del río y que fueron destruidos por Alex.
- **Desafíos de conectividad:** en general, la red de calles fuera de la zona central muestra muchas brechas y falta de enlaces que crean discontinuidades entre vecindarios, que luego alimentan todo el tráfico vehicular hacia los principales corredores y exacerban la congestión del tráfico. Las conexiones por el río son diseñadas sólo para tráfico de vehículos e impiden. toda conectividad para otros modos de transporte entre el norte y el lado sur del río; Las conexiones con la red histórica vial también necesitan una investigación adicional (imagen a la derecha).

- **Mala calidad del aire**: el polvo en las calles y alrededores crea una gruesa capa de contaminación (según se informa, compuesto mayoritariamente de partículas). La congestión de tráfico contribuye al esparcimiento de polvo que se acumula en las calles y en calles sin pavimentar.

- **Problemas de equidad en la inversión de infraestructura de transporte:** Los grupos de menores ingresos usan más el transporte público, y el deterioro del desempeño en el sistema ocasiona a aumentos de tarifas que les afectan más. Los grupos de ingreso medios-altos usan el automóvil más,
  por lo tanto, las inversiones en la capacidad de la calle les benefician más. El desarrollo de baja densidad de un solo uso y la movilidad basada en el incremento de la capacidad del vehículo favorecen el transporte individual en detrimento del transporte público. La expansión urbana y la infraestructura de automóviles privados afectan negativamente la productividad del transporte público (rutas más largas y menor rentabilidad por unidad de distancia). Esto afecta más a los pobres, aumenta su tiempo de viaje, la distancia recorrida y los gastos de viaje.

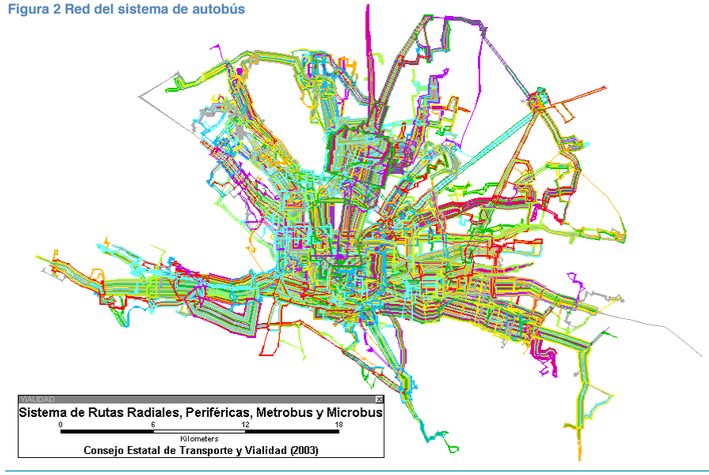
TRANSPORTE

El sistema de transporte público en Monterey se compone de un sistema de operación público que incluye el Metro, enlaces del sistema del metro y la red Transmetro, y un sistema de operación privada que incluye todas las otras rutas de autobús en la ciudad.

El sistema de autobuses muestra altos niveles de duplicación y concentración en algunos corredores importantes de la ciudad como se muestra en la Figura 2 a continuación. Como se resume en los estudios existentes, los niveles de servicio en el sistema de autobuses han disminuido el tiempo adicional debido al empeoramiento de la congestión del tráfico y la pérdida de rendimiento económico. Esto ha llevado a una mayor competencia de los pasajeros en la calle entre los operadores y a conductas de manejo que exacerban la congestión del tráfico (por ejemplo, cambiar de carril y cortar otros vehículos, disminuir la velocidad en semáforos o paradas de alta demanda) y reducir la seguridad de los pasajeros las calles). Por esta razón, los planes actuales de transporte requieren una modernización de todo el sistema de transporte público para ofrecer un sistema integrado con el Metro que transporte a las personas de manera más rápida, eficiente y segura. Se han identificado una serie de estrategias principales para lograr este objetivo, que incluyen:

- Extensión del sistema del metro
- Desarrollo de los corredores BRT
- Racionalización de la red de ruta de autobús e
- Integración física de los modos y estructuras de tarifas

Figura 2 Red del sistema de autobús



PROYECCCIONES DE TRÁFICO

El "Plan Sectorial de Transporte y Vialidad" analizó las condiciones existentes y el crecimiento futuro de la demanda de transporte en la ciudad. Para ilustrar los retos que enfrenta Monterrey, el plan desarrolló dos escenarios de crecimiento de la demanda: uno basado en la tendencia actual: aumentar la capacidad de los vehículos privados y uno basado en principios de movilidad sustentable: reducir la capacidad de los vehículos privados, incrementar el uso del autobús, bicicleta, el desplazamiento a pie), y cambiar los incentivos de costo de cambio que favorecen el automóvil privado (estacionamiento gratuito o asequible, apreciación del congestionamiento, etc.). Estos escenarios fueron evaluados con un modelo de demanda de transporte para el área metropolitana con los siguientes resultados.

Escenarios de tendencias actuales

- Una población estimada de la ciudad de 5 millones de personas en 2030
- Deterioro de las velocidades de transporte público y división de modo de transporte
- Disminución de las velocidades de los automóviles privados, pero

aumento de la división de modos Escenario Alternativo «Sustentable».

- Mejora y mantenimiento de las velocidades operativas del transporte público; competitividad con respecto al auto; aumento en la división de modo de transporte
- Reducción de las velocidades de operación de automóviles

privados; disminución en la división de modo. Los escenarios se ilustran a continuación.

Figura 3: Escenario de tendencia actual

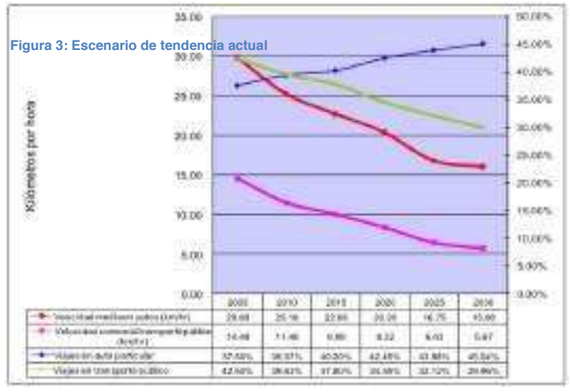
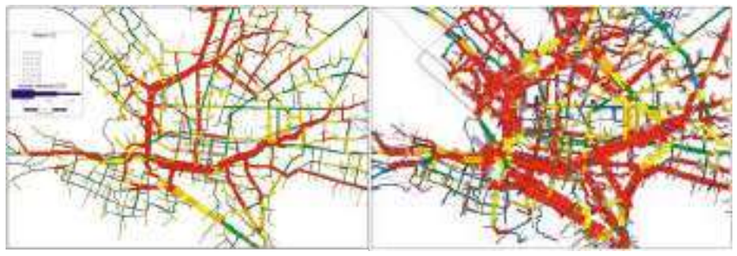


Figura 4: Escenario alternativo «sustentable»

Bajo la tendencia actual, se proyecta que el tráfico empeore hasta condiciones de congestión severa para 2020 como se muestra a continuación.

Figura 5 Condiciones de tráfico proyectadas para 2010 y 2020



ESCALA DE CORREDR

OBJETIVOS PARA LOS CORREDORES MORONES-PRIETO Y DE CONSTITUCIÓN

Uno de los propósitos iniciales de este estudio de transporte fue evaluar los diversos proyectos propuestos para hacer el corredor totalmente funcional conectando al cople de carretera a la red de calles circundante. Tras una serie de charlas con el personal de la ciudad, una visita preliminar al sitio, y una revisión exhaustiva de los planes y estudios pasados, se ha obtenido una visión más matizada de las metas de la Ciudad para el corredor.

Hemos identificado los siguientes objetivos de transporte para el diseño del corredor Constitución y Morones Prieto:

- Reducir la congestión vehicular y mejorar la movilidad de las personas en el corredor
- Desarrollar un sistema de tren de transporte colectivo rápido a lo largo del corredor para facilitar las conexiones entre el centro de la ciudad y áreas periféricas como Santa Catarina
- Diseñar un sistema funcional de carril compartido en el corredor que proporcione ventajas tangibles con respecto a los carriles de tráfico genera
- Desarrollar instalaciones de bicicletas a lo largo del río y mejorar la conectividad de la bicicleta por el río y con vecindarios circundantes
- Mejorar las condiciones peatonales a lo largo del corredor y mejorar la conectividad a lo largo del río y con vecindarios circundantes
- Conectar las instalaciones multimodales del corredor con la red local de vialidades para aumentar la accesibilidad y el alcance del mercado en el tejido urbano.
- Mejorar la conexión entre los viaductos de tráfico vehicular y la red de vialidades circundantes, asegurando al mismo tiempo la continuidad de las nuevas instalaciones multimodales a lo largo del corredor.

SUMARIO DE CUESTIONES RELATIVAS AL TRANSPORTE DEL CORREDOR

El huracán Alex provocó la destrucción de porciones significativas tanto de Constitución como de Morones Prieto a lo largo del río Santa Catarina. En el período de planificación de emergencia en tiempo posterior al huracán Alex, la Ciudad de Monterrey optó por convertir todos los carriles en el área de estudio a una sola vía a ambos lados del río, creando así una copla de una sola vía. Uno de los propósitos iniciales de este estudio de transporte fue evaluar los múltiples proyectos propuestos para hacer que la copla sea totalmente funcional conectándola de carretera a la red de calles circundantes. Sin embargo, la decisión de crear esta copla de un solo sentido y de alta velocidad ha creado un conflicto entre la visión para alcanzar un futuro multimodal más sustentable y presentar el comportamiento del recorrido.

Desde que se tomó esta decisión, el tráfico de automóviles a lo largo de ambos lados del río ha aumentado de forma considerable, por encima de las condiciones anteriores a Alex. Los modelos de tráfico habían previsto que el tráfico aumentaría, aproximadamente en un 20%, dado que las calles de un solo sentido atraerían más tráfico. No obstante, la ciudad ya ha medido volúmenes un 18% por encima de esas proyecciones. Una mayor capacidad de tipo "autopista" ha generado o inducido más tráfico automóvil mediante un principio de "triple convergencia": los nuevos conductores han optado por las carreteras reconstruidas y reconfiguradas más que las rutas que tomaron antes; Los conductores usaban un modo diferente anteriormente, como el tránsito, ahora optando por conducir; y otros conductores que anteriormente viajaban en tiempos menos congestionados del día ahora están conduciendo estas carreteras durante las horas pico. Como resultado, el par de autopistas sufre de gran congestión, y las intersecciones donde estas nuevas autopistas de un solo sentido muy utilizadas se han reconectado con la ciudad, con sólo un éxito parcial, están particularmente congestionadas.

En retrospectiva, estas decisiones son comprensibles. Cuando Alex destruyó gran parte de la red a lo largo del río, era lógico solicitar que la secretaria de carreteras reparara el daño. Dado que no se tuvo la oportunidad de reconsiderar todo el corredor del río para todas las necesidades -incluso el tránsito mejorado, protección contra inundaciones y necesidades recreativas- durante el período de reparación de emergencia, se implementó una solución particularmente centrada en los automóviles.

Sin embargo, si Monterrey pretende contener el crecimiento del uso del automóvil y aumentar el uso de modos de transporte no automotrices mediante el desarrollo de un sistema de transporte público moderno y confiable, las decisiones de las políticas públicas y las infraestructuras tendrán que tomar una nueva dirección. El diseño de un solo sentido de la carretera para Morones Prieto y Constitución, que incrementa la dependencia del automóvil y exacerba los problemas actuales de tráfico, se debe considerar como una medida temporal, eventualmente será reemplazado por un diseño de corredor que fomente modos de transporte no automotrices.

Además, las decisiones de diseño del corredor deben hacerse en el contexto de los objetivos más extendidos de la ciudad a largo plazo para una ciudad multimodal sustentable, un lugar donde el automóvil es una opción, mas no una necesidad como lo es hoy en día. Los patrones de uso de terreno en toda la ciudad dictarán cómo la gente usa el corredor y son fundamentales para su éxito a largo plazo. Del mismo modo, el corredor tiene importancia central para el sistema de transporte de la región. Las decisiones de diseño sostenible tomadas para Morones Prieto pueden ser una plataforma de lanzamiento para restablecer la Ciudad en un curso de movilidad más sostenible. Por otro lado, una mayor inversión en la institucionalización del cople de la carretera sólo coloca a la ciudad en una ruta más arraigado a la dependencia de automóviles, la congestión vehicular, la mala calidad del aire, y el deterioro asociado en la calidad de vida en general.

Nuestras soluciones de diseño se centrarán en soluciones al corto plazo que pueden optimizar un sistema de transporte rápido de autobuses y mejorar considerablemente las condiciones para bicicletas y peatones. Sin embargo, en el largo plazo, los bulevares urbanos de dos sentidos a ambos lados del río, y /u otras soluciones más urbanas, cumplirán mejor los objetivos de movilidad de la ciudad.

La Ciudad de Monterrey se encuentra en una encrucijada...

El cople de carretera de sentido único tiene ventajas a corto plazo:

- Mayor capacidad de calles para vehículos
- Simplifica los enlaces con los puentes y reduce los cuellos de botella
- Permite BRT o carril exclusivo para transporte público
- Mueve el tráfico vehicular a velocidades más altas

No obstante, las desventajas superan estas ventajas.

- El aumento de la velocidad de los vehículos repelen a los peatones
- El uso adicional de automóviles inducido no va conforme a los planes a largo plazo
- Incrementa la dependencia del auto
- Incrementa los kilómetros recorridos del vehículo
- Disminuye la calidad del aire
- Establece efectivamente una política pública a favor de los automóviles

CONCLUSIÓN

En el largo plazo y a una escala metropolitana, la ciudad de Monterrey pretende avanzar hacia un futuro en el que uso del coche sea opcional. Las decisiones de diseño a corto plazo para el corredor Constitución-Morones Prieto son los primeros pasos fundamentales en dirección a este futuro.

En última instancia, esta visión se logrará mediante el diseño de un sistema de transporte que se centra en el movimiento de personas y no de automóviles. La ciudad también debe comenzar a pensar en sus calles desde una perspectiva de "calles completas" (ver imagen de la parte de abajo), donde se pueden implementar todos los modos -especialmente aquellos que no dependen de los vehículos privados-.

Por fortuna, se ha establecido una base sólida, ya que se han recomendado varias estrategias en planes previos de transporte y estudios que harán que Monterrey transite hacia un futuro más sustentable. En particular, las mejoras importantes del transporte público, incluido el otorgamiento de mayor prioridad al servicio de autobuses de tránsito en los grandes corredores de alta capacidad; demanda de transporte, estacionamiento y gestión del tráfico; mejoras en las instalaciones para bicicletas y peatones; y la promoción del uso mixto y el desarrollo de mayor densidad. Los cambios en el uso de terreno son uno de los pasos más sustantivos que la ciudad puede tomar para avanzar hacia un futuro más multimodal. La ciudad tiene una oportunidad significativa para lograr mejores resultados de movilidad mediante la densificación del núcleo del centro de la ciudad, que contiene la expansión urbana y el control del crecimiento hacia afuera de la ciudad. Paralelamente, Monterrey puede crear un moderno sistema de transporte público y comenzar un programa integral para manejar la demanda de transporte para comenzar a abordar sus problemas.

El desarrollo de estas estrategias es un enfoque clave de este proceso de planificación. Sin embargo, para que la visión a largo plazo verdaderamente alcance resultados, se requerirá una directiva sólida a nivel de políticas para comenzar a cambiar de los patrones y políticas históricas de inversión a nuevas políticas que apoyen un futuro multimodal. En particular, la copla de carretera unidireccional se debe considerar como una solución a corto plazo. A continuación se resumen las oportunidades y limitaciones que guiarán el diseño para el corredor.

RESUMEN DE OPORTUNIDADES Y RESTRICCIONES PARA EL CORREDOR DE CONSTITUCIÓN-MORONES PRIETO

Oportunidades

- **Amplio espacio para todos los modos:** Si bien el ancho de la vialidad genera distancias más largas para el desplazamiento de los peatones, el derecho de paso ancho significa que hay suficiente espacio para albergar un bulevar que cumpla con todos los objetivos del corredor: amplio espacio para un parque ribereño, espacio para el río para manejar una inundación de 1000 años, y una carretera urbana multipropósito que satisface las necesidades de todos los usuarios de las carreteras.
- **Oportunidad a corto plazo para BRT:** Si bien al largo plazo el cople de carriles de un solo sentido presenta un desafío que entra en conflicto de los objetivos de división de la ciudad, en el corto plazo el aumento de la capacidad de las calles para vehículos puede permitir una integración más sencilla de carriles exclusivos para el transporte público y proporciona una forma de forjar los cimientos un servicio de tránsito moderno de alta calidad en el corredor que en última instancia podría ser la pieza central de un bulevar de dos sentidos de tipo urbano.
- **Buena conectividad de red:** La red urbana urbana de cuadras pequeñas y de carácter histórico, pequeña, del centro de la ciudad, ilustrada a la derecha, es ideal para la conectividad del tráfico peatonal; El corredor está bien conectado a esta red y por lo tanto tiene potencial para una excelente accesibilidad a los destinos locales.

•**Oportunidad para la densificación**: Los actuales patrones de uso de terreno en el centro ofrecen la oportunidad para el redesarrollo y la densificación. El terreno tiene un alto valor inmobiliario debido a la ubicación en el centro, la proximidad al río y las vistas a las montañas, sin embargo, hay lotes vacantes, algunos terrenos con plaga y parcelas con utilización por debajo de su capacidad en la actualidad. La creación de un bulevar urbano de alta calidad junto a un parque fluvial con un diseño urbano mejorado, una mejor infraestructura de tránsito y conectividad crearía un espacio urbano por completo diferente y podría aumentar aún más el valor inmobiliario en la zona.
Esto podría desatar el interés de los inversionistas a comenzar a reconstruir parcelas subutilizadas a mayores densidades. Más densidad requeriría nuevas soluciones de movilidad, generando un círculo virtuoso de un uso disminuido del auto y la revitalización urbana. La gestión del estacionamiento y el mantenimiento de un servicio de tránsito de alta calidad serían críticos en este escenario.

- **Oportunidad para el desarrollo el número de usuarios en tránsito** Si el corredor se rediseñada para convertirlo en un bulevar más urbano, con la mejora de las condiciones para peatones, la revitalización del centro representa una gran oportunidad para desarrollar el tránsito de pasajeros, que actualmente no existe, creando más destinos en el centro que la gente monta en el autobús y facilita el tránsito peatonal desde el corredor a las áreas circundantes para los automovilistas también.
- **Apertura de la carretera de cuota** La carretera circundante de la ciudad central es actualmente una carretera de cuota. Se prevé quitar la cuota de la carretera de circunvalación, para este año, esto alentará a los usuarios regionales a utilizar esta ruta alternativa en lugar de viajar por el centro de la ciudad en Constitución o Morones Prieto. La creación de una ruta de costo equivalente y potencialmente más fácil por Monterrey en la carretera de circunvalación para el tráfico regional crea la oportunidad de diseñar Constitución y Morones Prieto como bulevares auténticamente multipropósito frente al río para el movimiento de personas, no automóviles. Si el corredor no se debe diseñar para movilizar tráfico regional, lo que requiere un movimiento a alta velocidad a través de la ciudad, los carreteras se pueden diseñar para el tráfico local y el acceso óptimo a los destinos del centro y la capacidad de la carretera se pueden convertir para que ofrezca facilidades para tránsito, ciclistas y peatones

Limitaciones

- «**Hábito del vehículo**» Los residentes de Monterrey se han acostumbrado a desplazarse usando el automóvil.
  Además, andar en automóvil ha ganado cierto prestigio social comparado con el transporte público por lo deteriorado de la calidad del servicio de autobuses. Este no es un obstáculo insuperable, los comportamientos pueden cambiar, pero requerirá un programa robusto de gestión de la demanda que ofrezca verdaderos incentivos financieros para utilizar otros modos y la creación de alternativas viables, de alta calidad y competitivas en el tiempo para viajar en automóvil.
- **Orientación sistemática en torno al automóvil:** La implantación fallida del modelo estadounidense orientado al automóvil desde hace más de treinta a cuarenta años y un sistema enfocado principalmente en aumentar la capacidad de tráfico para mover automóviles es un paradigma con bastante arraigado que podría ser complicado de revertir.
- **El cople de autopistas plantea un reto para las operaciones de tránsito, los conductores y peatones:** El cople de autopista unidireccional a lo largo del río está diseñado para suplir tráfico de alta velocidad. Impone desafíos operacionales y de seguridad para viajar a pie y en autobús, al tiempo que alienta el uso del automóvil. Como tal, reduce la probabilidad de alcanzar los objetivos de sustentabilidad a largo plazo y de división de modalidades de la ciudades.
  - Una carretera de 6 a 10 carriles de un solo sentido no permite cruces de peatones adecuados. También aumenta la velocidad de los vehículos, creando graves peligros de seguridad para los peatones por el corredor.
  - Los intercambios separados por grado crean espacios de terreno de gran tamaño diseñados para los desplazamientos en automóvil a expensas de terrenos susceptibles a ser desarrollados y espacio para modos de transporte de tipo no automotor.
  - Los coples unidireccionales son un obstáculo para las operaciones de tránsito y la accesibilidad para los pasajeros de tránsito.
    Si bien puede permitir viajes de tránsito de mayor velocidad, esto entra en conflicto con el hecho de que el autobús se detenga en las estaciones y permita que los pasajeros suban y bajen. Además, la operación unidireccional requiere que el BRT funcione en un carril de flujo contrario para que los conductores no tengan que cruzar el río para su viaje de regreso.
  - La mayor capacidad, las instalaciones automáticas de mayor velocidad inducen el uso adicional del automóvil, refuerzan la dependencia del vehículo, aumentan las millas recorridas del vehículo, y empeoran la calidad del aire, contrariando directamente las metas a largo plazo de la ciudad. La operación de un sólo sentido es más funcional para el tráfico y no está adecuadamente diseñada para fomentar el acceso al primer cuadro que podría sustentar su revitalización

.

- **Las distancias largas son un obstáculo para los viajes peatonales:** Lo ancho del río y de la vialidad crean largas distancias que los peatones deben recorrer para cruzar de la ciudad al río y de un lado del río a otro. Además, los puentes existentes tienen una gran separación (~ 1 milla/1.6 km) para los peatones, quienes tendrían que caminar de 15-30 minutos entre las oportunidades de cruce.

La Ciudad de Monterrey se encuentra en una encrucijada. El paradigma histórico de la inversión exclusiva en infraestructura automovilística y la creciente capacidad automovilística claramente no está funcionando ya que la red de calles se está colapsando y todos los otros modos están sufriendo. Los modelos de tráfico muestran que las condiciones seguirán deteriorándose con el tiempo. Es poco probable que los pequeños cambios tengan un impacto notable en estas tendencias. Monterrey necesita un nuevo paradigma para restablecer la forma en como la ciudad prevé e invierte en su infraestructura de transporte. Esto requerirá un fuerte liderazgo político y un cambio institucional. Sin embargo, se ha hecho antes. Ejemplos como Seúl, Vancouver y Abu Dabi demuestran que el cambio de paradigma real genera resultados de división de modo y condiciones de tráfico mejoradas.

AECOM
333 SW Fifth Avenue
Suite 225
Portland OR 97204
www.aecom.com

503 227 1042 tel
503 227 1048 fax

AECOM

Memorándum

Para	Jose De Jesus Ruiz Velasco PMO Reconstrucción de NL Página 1
CC	Alma Du Solier, Manuel Sánchez, Patricia Fonseca ANTEPROYECTO CONFIDENCIAL - Evaluación hidrológica preliminar del Río
Asunto	Reforestación de la Cuenca Alta de Santa Catarina
Por	Kevin Coulton, P.E., CFM y Benjamin Pope, P.E., CFM
Fecha	2 de abril, 2013

1. Introducción

Este memorándum técnico proporciona un resumen de las conclusiones de un estudio independiente realizado por AECOM en cuanto al análisis de la frecuencia de las crecidas descrito en el proyecto de informe: "Informe final Hidrología Oct20" (el estudio hidrológico de la ITESM), por Dr. Aldo Iban Ramírez, Profesor investigador del Centro de Agua para América Latina y el Caribe del Tecnológico de Monterrey. Esta revisión se realizó en apoyo de la Tarea A1-2 descrita en la propuesta AECOM del 31 de mayo de 2011 titulada "Plan Maestro de Movilidad Integral Metropolitana Sostenible - Corredor Morones Prieto". Esta revisión evalúa los datos y los métodos utilizados por las entidades locales y el ITESM a efectos de desarrollar estimaciones en cuanto a la descarga del período de retorno que se utilizarán para determinar la descarga máxima de diseño para el plan maestro conceptual del Río Santa Catarina en Monterrey. Nuestros resultados de la revisión también incluyen un enfoque alternativo recomendado para el análisis de la frecuencia de inundación y las descargas recomendadas para el período de descargas.

2. Revisión del Análisis de Frecuencia de Inundaciones del ITESM de Octubre de 2010

El Estudio Hidrológico del ITESM proporcionó estimaciones de los flujos de inundación de diseño para los períodos de retorno de 5, 10, 20, 50, 100, 500 y 1.000 años para el caso del Río Santa Catarina en la ciudad de Monterrey en Nuevo León Estado de México. Los flujos calculados del período de retorno fueron desarrollados para su uso en el diseño del proyecto de reconstrucción de la Ciudad de Monterrey. El Estudio Hidrológico del ITESM presenta dos métodos independientes para calcular las descargas máximas de períodos de retorno seleccionados en estas ubicaciones en el Río Santa Catarina. Los métodos son:

1. Análisis de frecuencia de las descargas máximas anuales de un registro compuesto de la descarga máxima anual en una estación de medición en Monterrey
2. Conversión de las estimaciones de la precipitación del período de retorno a los flujos pico del período de retorno usando el modelo computarizado HEC-HMS de lluvia-escurrimiento.

Los flujos máximos del período estimado de retorno del período de retorno estimado del ITESM se basan en el enfoque lluvia-escorrentía, y se sustentan en los resultados del análisis de frecuencia del registro de flujo máximo anual. No obstante, se considera que el análisis de frecuencia de las descargas máximas anuales reditúa mayor confiabilidad para las cuencas de drenado de tamaño mayor por la variación espacial y la incertidumbre en las estimaciones de precipitación del período de retorno para toda la cuenca del río Santa Catarina. Como tal, nuestra revisión se basa en

AECOM

sobre la evaluación del análisis de frecuencia de las altas máximas anuales. Además, el enfoque y los resultados alternativos recomendados también se basan en el análisis de frecuencia de las descargas máximas anuales.

3. Revisión del Análisis de Frecuencia de las Descargas Máximas Anuales

Revisión de los datos

El análisis de la frecuencia de las inundaciones descrito en el Estudio Hidrológico del ITESM se basa en un registro compuesto de los datos anuales estimados y observados del flujo máximo, derivados de las siguientes fuentes:

1. 1896 -1927: flujos máximos derivados de los datos estimados de lluvia para el área de Monterrey (proporcionados por GASIR)
2. 1928 -1940: caudales máximos derivados de los estimados a partir de los caudales de la presa de El Cuchillo (suministrados por GASIR)
3. 1941-1986; 1988; 1991-1995: caudales máximos observados en la cala de Monterrey proporcionados por CAN
4. 1989-1990; 1996-2009: caudales máximos derivados de los caudales observados en la cala Cadereyta II
5. 2005, 2010: se desarrollaron flujos de pico alternos para los huracanes Emily y Alex; Utilizando los insumos de precipitación observados y el modelo de lluvia-escorrentía (calculado para este estudio)

Estos datos anuales máximos han sido trazados con el fin de comprender mejor las interrelaciones entre los datos (Figura 1].

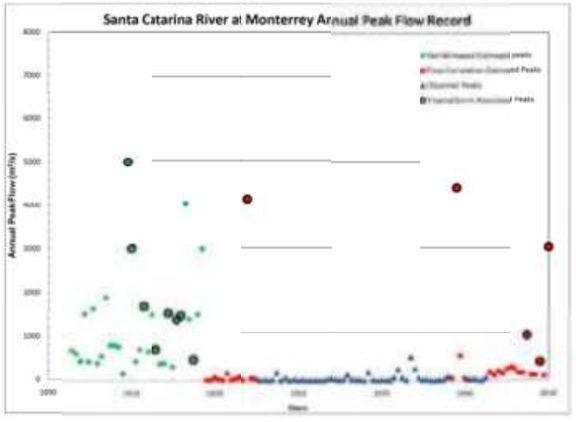


Figura 1. Río Santa Catarina en Monterrey - Registro anual de caudal máximo

El registro de flujo máximo para el río Santa Catarina, como se puede ver en la Figura 1, es característico de un río de medio ambiente árido, con máximos anuales frecuentes, muy bajos, intercalados con sucesos de inundación extremos poco frecuentes. La revisión de los datos anuales de flujo máximo indica que los máximos anuales estimados asociados con las condiciones de flujo base para el período de 1896 a 1927 no son característicos del período restante registrados y pueden sobreestimarse. Como resultado, las estimaciones anuales del flujo máximo o

las condiciones de flujo de base durante el período de 1896 a 1927 se consideran poco confiables y recomendamos que se excluyan del análisis. Sin embargo, de acuerdo con la revisión independiente de AECOM de la información histórica de las tormentas de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), se identificaron los flujos máximos anuales que ocurrieron en 1909, 1910, 1913, 1916, 1919, 1921, 1922 y 1925 Con huracanes o tormentas tropicales que ocurrieron en esos años y se consideraron para su incorporación en el análisis AECOM.

Si bien la exactitud de las estimaciones de flujo de 1896-1927 es debatible, es interesante observar que el flujo máximo de 5.000 m3 / seg estimado por GASIR para 1909 es validado en cierta forma por una estimación independiente de 6.650 m3/s para el mismo caso de inundación, como figura publicado en una revista arbitrada de ASCE en diciembre de 1910 (Conway, 1910).

Revisión de los métodos

El Estudio Hidrológico del ITESM utiliza la distribución extrema de doble Gumbel para realizar el análisis de frecuencia de inundación. La distribución de doble Gumbel es un análisis de probabilidad dividida, en el que la probabilidad de eventos ciclónicos y no ciclónicos se calculan por separado y luego se combinan para determinar la distribución de probabilidad general. Este enfoque es razonable y tiene buen sustento en la literatura (López, 2004); sin embargo, aparentemente en el Estudio Hidrológico del ITESM la segregación de las inundaciones máximas anuales en eventos ciclónicos o no ciclónicos se realizó con base en un procedimiento estadístico diseñado para evaluar la distribución de los máximos anuales en lugar de revisar el registro climático e identificando y separando las crecidas máximas anuales asociadas únicamente a eventos ciclónicos históricos. Por razón de que los eventos de inundación de magnitud similar pueden resultar de eventos ciclónicos o no ciclónicos, la segregación basada desde el punto de vista estadístico en el registro puede conducir a una segregación errónea del registro.

El Estudio Hidrológico del ITESM presenta y evalúa un análisis de frecuencia de inundación basados en 10 escenarios, cada uno representando una combinación diferente del registro de flujo máximo. Estos escenarios presuponen errores en la estimación de los grandes flujos máximos y excluyen varios flujos máximos anuales del registro basados en los errores supuestos. El informe del estudio presenta el Escenario 5 como el más apropiado, lo que arrojó como resultado un flujo máximo estimado de 1.000 años de 4.718 metros cúbicos por segundo (m3 /seg). Este escenario excluye los caudales máximos estimados de más de 4.000 m3/seg, que en efecto elimina del análisis de frecuencia el más crucial de los flujos calculados, por ejemplo, los asociados con los principales sucesos de inundación de 1909, 1923, 1938 y 1988. Aunque el valor exacto de los flujos máximos de estos eventos puede ser desconocido, la magnitud relativa y el carácter histórico de estos eventos están bien documentados.
Por tanto, nuestra opinión es que la exclusión de estos registros de flujo máximo anual conducirá a una subestimación de los resultados finales de la frecuencia de inundaciones.

4. Evaluaciones independientes

Basado en nuestra revisión de los datos y métodos presentados en el Estudio Hidrológico del ITESM, se realizaron evaluaciones independientes adicionales para comprender mejor las inundaciones en el diseño que caracterizan las inundaciones pasadas y casos potenciales futuros de inundación en Monterrey.

Se utilizó la distribución extrema de doble Gumbel descrita en el estudio ITESM para realizar análisis de frecuencia adicionales del registro de flujo máximo. El software AX utilizado en el estudio ITESM se obtuvo y se utilizó para verificar los resultados provistos en el estudio ITESM, es decir, los 10 escenarios de análisis de frecuencia descritos en el estudio ITESM se realizaron utilizando el programa de software AX. A pesar de que no nos fue posible reproducir las cifras exactas presentados en el estudio, nuestros valores estimados de flujo de

1000 años estaban dentro del 1% de los estimados por el ITESM, excepto para los escenarios 7 y 8, que difieren en -26% y 10% , respectivamente. Se considera que estas diferencias son el resultado de ajustes en los parámetros de distribución de Double Gumbel que no estaban documentados en el informe del ITESM. Después se utilizó el software AX para adaptar la distribución extrema de Double Gumbel a tres escenarios alternativos que representan el enfoque analítico recomendado por AECOM para el análisis de frecuencia del registro de flujo máximo anual para el río Santa Catarina en Monterrey. A continuación se describen estos escenarios de revisión recomendados.

- **Escenario de Revisión 1** - Excluir todos los flujos tras 2004 (flujos de la presas post-Rompepicos). Además, se excluyeron los flujos estimados antes de 1927 salvo por los flujos altos por encima de los 3.000 m3/seg. Se utilizó el umbral de 3.000 m3 /s para eliminar del análisis todos los flujos calculados antes de 1927, excepto por los máximos históricamente significativos. Se utilizó el umbral de 3.000 m3 /s para eliminar del análisis todos los flujos estimados antes de 1927, con excepción de los máximos históricamente significativos. El ajuste de la distribución extrema de doble Gumbel a este conjunto de caudales máximos anuales dio como resultado un flujo de 1.000 años de 6.306 m3 /seg.
- **Escenario de Revisión 2** - Excluir todos los flujos tras 2004 (posterior a los flujos de la presas Rompepicos). Además, se excluyeron los flujos estimados antes de 1927 excepto los flujos altos por encima de los 3.600 m3/seg. Se utilizó el umbral de 3.600 m3 /s para eliminar del análisis todos los flujos calculados antes de 1927, excepto por los máximos históricamente significativos. El valor de 3.600 se calculó utilizando la metodología del ~~umbral de pico alto~~ o histórico del Boletín 17B (Comité Asesor Interagencial sobre Datos del Agua, 1982). El ajuste de la distribución extrema de doble Gumbel a este conjunto de caudales máximos anuales dio como resultado un flujo de 1.000 años de 6.215 m3 /seg.
- **Escenario de revisión 3** - Ejecutar dos análisis separados, dividiendo los datos ciclónicos y no ciclónicos en dos conjuntos de datos diferentes basados en la revisión de datos de huracanes y tormentas tropicales, y eliminando los picos de eventos no ciclónicos antes de 1927. El ajuste de la distribución extrema de Double Gumbel a estos conjuntos de caudales máximos anuales dio como resultado un flujo de 1.000 años de 8.601 m3 /seg.

Hay un grado de incertidumbre asociado con los resultados de cualquier análisis de frecuencia de inundación. Esta incertidumbre es exacerbada en el análisis de frecuencia del río Santa Catarina por la incertidumbre inherente a los eventos anuales estimados de caudal máximo en los registro, así como por la gran variación en el registro de caudal máximo característico de un río de un medio ambiente árido. Esta incertidumbre queda representada por los tres escenarios de revisión presentados anteriormente que resultan en estimaciones del caudal máximo del período de retorno de 1.000 años que oscila entre 6.215 m3/seg y 8.601 m3/s (Tabla 1).

Como resultado, se recomienda que la mejor estimación de la descarga de picos de inundación de 1.000 años esté representada por el promedio de estos resultados. Como tal, el flujo máximo recomendado para el período de retorno de 1.000 años es de 7.000 m3/s (simplificado del promedio actual de 7.040 m3 / seg).

5. Conclusiones y Recomendaciones

AECOM ha realizado una revisión de los datos y los métodos analíticos utilizados para realizar el análisis de frecuencia de inundación descrito en el Estudio de Hidrología del ITESM. Partiendo de esta revisión, nuestra opinión profesional es que las descargas del período de retorno presentados en el estudio del ITESM subestiman los flujos potenciales extremos de inundación para el Río Santa Catarina en Monterrey. Específicamente, encontramos que esta subestimación resulta de los siguientes factores:

- Inclusión en el análisis de los flujos máximos anuales estimados para el período de 1896 a 1927. Los flujos máximos anuales para las condiciones de flujo de base parecen estar sobreestimados, lo que a su vez da como resultado una subestimación del período de retorno para las inundaciones extremas.

- Exclusión del análisis de varios eventos históricos de inundación extrema debido a la incertidumbre en los valores estimados. Si bien el valor exacto de los flujos máximos de estos eventos podría ser incierto, la magnitud relativa y el carácter histórico de estos eventos están bien documentados.
  Como tal, la exclusión de estos registros anuales de flujo máximo produce una subestimación de los resultados finales de la frecuencia de inundación.
- Usar los procedimientos estadísticos para segregar el registro en eventos ciclónicos y no ciclónicos en vez de una segregación basada en la revisión del registro climático para identificar las crecidas anuales asociadas con eventos ciclónicos históricos. Por razón de que los eventos de inundación de magnitud similar pueden resultar de eventos ciclónicos o no ciclónicos, la segregación basada desde el punto de vista estadístico en el registro puede conducir a una segregación errónea del registro.

Además de la revisión del análisis de frecuencias presentado en el estudio del ITESM, AECOM también ha desarrollado un enfoque alternativo recomendado para el análisis de frecuencia de inundaciones para el Río Santa Catarina en Monterrey. El enfoque recomendado incluye lo siguiente:

- Exclusión del análisis del ITESM de los valores máximos anuales estimados antes de 1927 excepto aquellos que representan grandes inundaciones asociadas con ocurrencias documentadas de huracanes o tormentas tropicales. Se recomienda el uso de un umbral de máximo histórico de 3.000 m3/seg o 3.600 m3/s para limitar aún más la inclusión de los máximos anuales estimados antes de 1927 sólo a los de importancia histórica.
- Inclusión en el análisis del ITESM de todos los grandes eventos de inundación estimados, a pesar de la incertidumbre asociada. La variación potencial introducida en los resultados finales debido a esta incertidumbre se soporta por el sesgo a la supervisión que resulta de su exclusión.
- Utilización del registro climático para identificar las crecidas anuales asociadas con eventos ciclónicos históricos y se basó el ajuste de la distribución de probabilidad en esta segregación en lugar del uso exclusivo en inferencias estadísticas como se hizo en el análisis del ITESM.
- Utilización de 3 escenarios para proporcionar una gama de estimaciones representativas para los flujos máximos de las inundaciones en el período de retorno. El promedio de estos cálculos se utiliza entonces para desarrollar el flujo máximo de inundación del período de retorno de 1.000 años de 7.000 pies cúbicos (198217.9 p/seg).

Location	DA (km2)	Emily (2005) Peak (cms)	Emily (2005) Return Period (yrs)	Alex (2010) Peak (cms)	Alex (2010) Return Period (yrs)	Rainfall Runoff Model Peak Flows (cms) 5-yr	10-yr	20-yr	50-yr	100-yr	200-yr	300-yr	1000-yr
ITESM Rainfall Runoff Model Peak Flows (cms)													
Monterrey Gage	1,327	1,035	5 - 10	3,085	50 - 100	887	1,160	1,553	2,100	3,278	3,834	4,549	5,953
ITESM Scenario 2 Frequency Analysis Results													
Monterrey Gage	1,327	1,035	20 - 50	3,085	100 -200	934	1,327	1,934	2,631	3,125	3,610	4,243	4,710
Review Scenario 1 Frequency Analysis Results													
Monterrey Gage	1,327	1,035	20 - 50	3,085	100 -200	159	271	3,276	4,240	4,759	5,239	5,850	6,300
Review Scenario 2 Frequency Analysis Results													
Monterrey Gage	1,327	1,035	20 - 50	3,085	100 -200	169	270	3,982	4,678	5,084	5,421	5,876	6,215
Review Scenario 3 Frequency Analysis Results													
Monterrey Gage	1,327	1,035	20 - 50	3,085	100 -200	3,922	4,702	5,347	6,136	6,714	7,264	8,034	8,901
Review Bulletin 17B Combined Probability Frequency Analysis Results													
Monterrey Gage	1,327	1,035	20 - 50	3,085	100 -200	3,500	4,600	5,200	7,000	8,075	9,015	10,200	11,220

Tabla 1 Río Santa Catarina en Estimaciones de valores máximos de 1.000 años en caudales en Monterrey

Memorándum

PARA:	Secretaría de Desarrollo Sustentable Gobierno del Estado de Nuevo León
DE:	AECOM + Nelson\Nygaard
PROYECTO	Plan maestro metropolitano del corredor integral de movilidad sustentable Constitución - Morones Prieto
TAREA(S)	ETAPA A – Tarea A0-2 (Inventario visual)
Fecha	21 de julio, 2011
PROPÓSITO	Inventario visual

Se dejó intencionalmente esta página en blanco.

Tarea A0-2

INVENTARIO VISUAL

Un inventario visual de Monterrey y el corredor del río Santa Catarina fue tomado en vuelos de helicópteros el 15 de abril de 2011 y el 10 de mayo de 2011, casi un año después de que el huracán Alex impactara la región en junio de 2010. Además de este inventario visual aéreo, se realizó un inventario visual a nivel de la calle usando Google Earth Street View a lo largo de Constitución y Morones Prieto entre los viaductos Gonzalitos y Azteca. Seleccionado Imágenes seleccionadas de este análisis en las siguientes páginas.

Se dejó intencionalmente esta página en blanco.

A Azteca / Constitución

B Azteca / Constitución + Morones Prieto

A 5 de mayo / Constitución

B Foresta / Constitución

A Parque España / Constitución

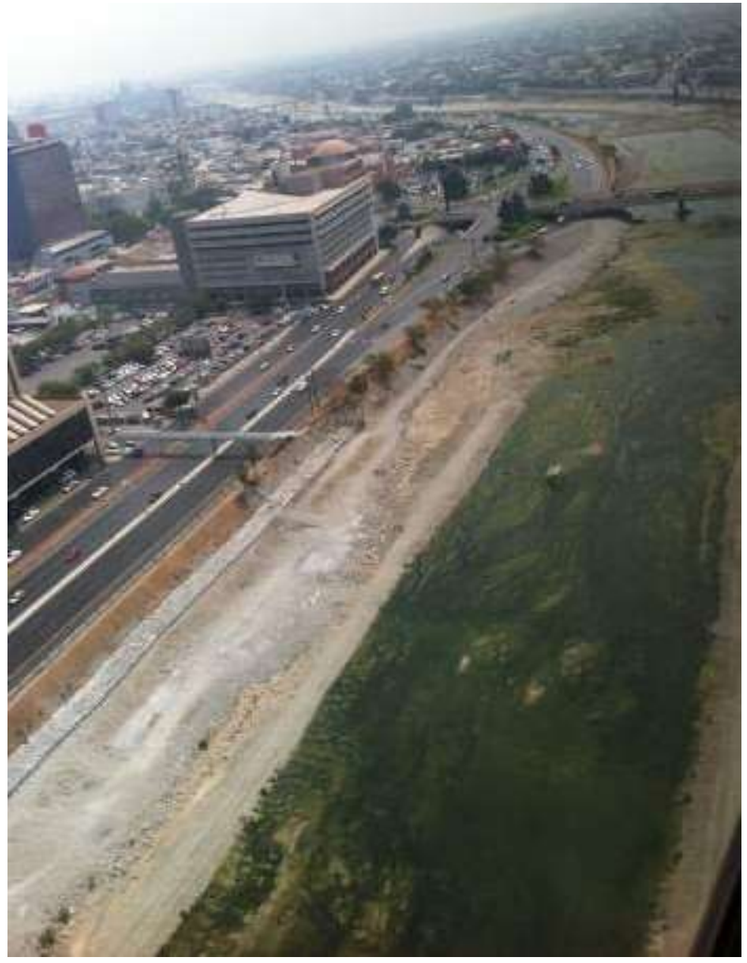
B Revolución / Constitución

A Parque Plaza Sésamo/ Constitución

B Parque Fundidora / Francisco Márquez

A Félix Arestil Gómez / Constitución

B Félix Arestil Gómez / Constitución



A Ignacio Zaragoza/ Constitución

A Ignacio Zaragoza/ Constitución

B I-85 / Francisco Márquez

A Ignacio Zaragoza - Félix Arestil Gómez / Constitución

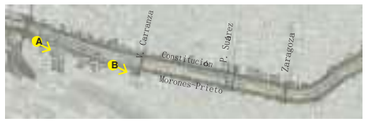
A Constitución

B Cerro de Picachos/ Constitución

A Gonzalitos / Constitución

B Cerro de Picachos / Constitución

A Morones-Prieto – Hacia el Este

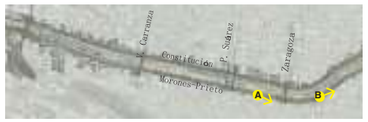


B Morones-Prieto – Hacia el Este

A Morones-Prieto – Hacia el Este

B Morones-Prieto – Hacia el Este

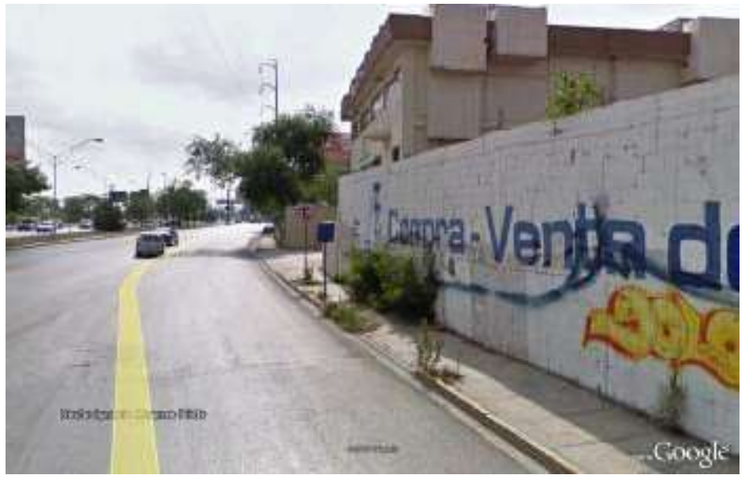
A Morones-Prieto – Hacia el Este



B Morones-Prieto – Hacia el Este

A Morones-Prieto – Hacia el Este

B Morones-Prieto – Hacia el Este



A Morones-Prieto – Hacia el Este

B Morones-Prieto – Hacia el Este

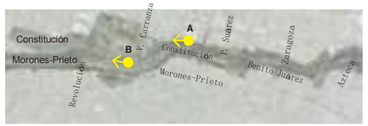
A Morones-Prieto – Hacia el Este

B Morones-Prieto – Hacia el Este

A Constitución – Hacia el Oeste

B Constitución – Hacia el Oeste

A Constitución – Hacia el Oeste



B Constitución – Hacia el Oeste

A Constitución – Hacia el Oeste

B Constitución – Hacia el Oeste

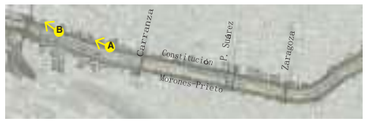
A Constitución – Hacia el Oeste

B Constitución – Hacia el Oeste

A Constitución – Hacia el Oeste

B Constitución – Hacia el Oeste

A Constitución – Hacia el Oeste



B Constitución – Hacia el Oeste

ESTUDIOS DE CASO

Tipología de Paisaje 01: Conexiones: Puentes Peatonales

Puente Millenium en Londres
Londres, Reino Unido

Location: Thames River, London, England
Total length: 320 metres (1,214 ft)
Width: 4 metres (13 ft)
Longest span: 144 metres (472 ft)

Características del Proyecto

- The first Pedestrian bridge on River Thames
- 2 Ramps from South bank area
- 1.2 m Handrail
- Free traffics
- Links the City of London near St Paul's Cathedral with the Tate Modern art gallery on Bank side.

Lecciones

- Become London's attraction and landmark
- Create the new cultural network
- Make high connection with two significant cultural elements
- Encourages human movement and communication - free of traffic and accessible to everyone

ESTUDIOS DE CASO

Tipología de Paisaje 01: Conexiones: Puentes Peatonales

Puente Bilbao Calatrava, El Zubizuri
Bilbao, España

Location: Nervion River, Bilbao, Spain
Total Length: 75m (246 ft)
Max. Span: 75m (246 ft)
Arch Height: 15.2m (50 ft)

Características del Proyecto

- A tied arch footbridge
- An inclined structural steel arch linking two platforms
- Accessible ramps and stairways on both banks.
- Link the Campo Volantin right bank and Uribitarte left bank of the river
- Offers pedestrians a convenient route from hotels to the nearby Bilbao Guggenheim Museum

Lecciones

- Become Bilbao's attraction and landmark
- Create a new and convenient route in tourism
- Unsuccessful parts in materiality and connection : glass bricks set into its floor, which can become slippery in the wet climate of the city. The bridge does not connect a higher street. The city need a temporary foot bridge between the city and the bridge.

ESTUDIOS DE CASO

Tipología de Paisaje 01: Conexiones: Puentes Peatonales

Puente Vlaardingse Vaart
Vlaardingen, Paises Bajos

Características del Proyecto

Location: Vlaardingen, South Holland, Netherlands
Total Length: 45 m

- A Pedestrian bicycle bridge 'The Twist'
- 400 steel tubes that were welded together and then galvanized and painted red to create a unique and dynamic structure
- The bridge to cross the Vlaardingse Vaart as it is a crucial link within the regional bicycle path network.

Lecciones

- Become the iconic bridge
- Provide beautiful sequential scenes and experiences with dynamic twisted frames
- Provide a social spot : A transparent cathedral of steel becomes a new met and meeting place along the footpaths and bicycle network.

ESTUDIOS DE CASO

Tipología de Paisaje 02: Eventos y Actividades: Parque al lado del Río

Madrid Río
Madrid España

Características del Proyecto

Location: River Manzanares, Madrid, Spain
Total Length: 6 km
Project Area: 80 hectares

- 47 subprojects
- Key projects : Salón de Pinos, Avenida de Portugal, Huerta de la Partida, Jardines de Puente de Segovia, Jardines de Puente de Toledo, Jardines de la Virgen del Puerto and Arganzuela Park
- Series of plazas, gardens, water features, playgrounds, lawn, iconic pedestrian bridges and trails

Lecciones

- Great connection between The river and local
- Create wide range of programs and activities
- Create new green, cultural, historical connections with human activities
- Provide dynamic experiences with sculptural and symbolic landscape
- Reflect identities of the city

ESTUDIOS DE CASO

Tipología de Paisaje 02: Eventos y Actividades: Parque al lado del Río

Olympic Sculpture Park
Seattle. WA. EE.UU.

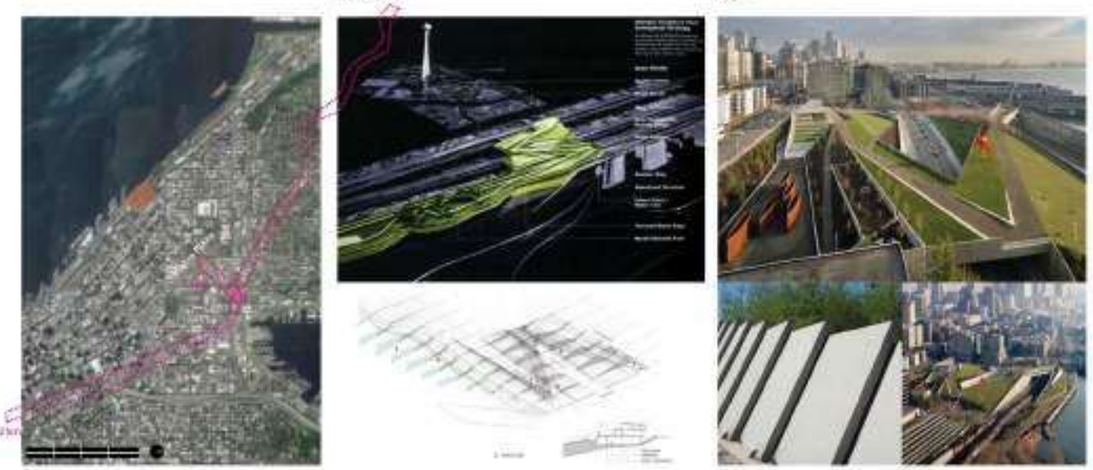
Características del Proyecto

Location: 2901 Western Ave, Seattle, WA, USA
Total Length: 670.56 meters (Z-shaped path)
Project Area: 36,000 m2

- Z-shaped landform and path for sculpture links the three separate parcels and offers multiple settings to view both city and sound
- Different vegetation zones: grove, valley,meadow, shore
- Art pieces with diverse settings in landscape
- The PACCAR Pavilion and Gates Amphitheater
- Two bridges
- Sea walls

Lecciones

- Create new connection between waterfront and the city : an innovative Z-shaped configuration connecting three parcels into a series of four distinct landscapes
- This design afforded a wide range of environmental restoration processes- brown field redevelopment, salmon habitat restoration, native plantings and sustainable design strategies
- Provide a unique setting for outdoor sculpture and public recreation.



ESTUDIOS DE CASO

Tipología de Paisaje 03: Circulación: Parque al lado del Río

Río Salado
Phoenix. AZ. EE.UU.

Características del Proyecto

Location: Phoenix, AZ, USA
Total Length: 5 miles(8.04672 km)
Project Area: 2.2 km2

- Mixed use paths- pedestrian/ bike path
- Habitat restoration area
- Picnic Area
- Sports field - Volleyball Courts, Outdoor Basketball Courts Tennis Courts, Outdoor 2 Racquetball/ Squash Courts Softball Diamond

Lecciones

- High accessibilities and collectivities
- Link new trails to existing trails
- Provide diverse programs and events for neighborhood

ESTUDIOS DE CASO

Hudson River Trall
Nueva York. NY. EE.UU.

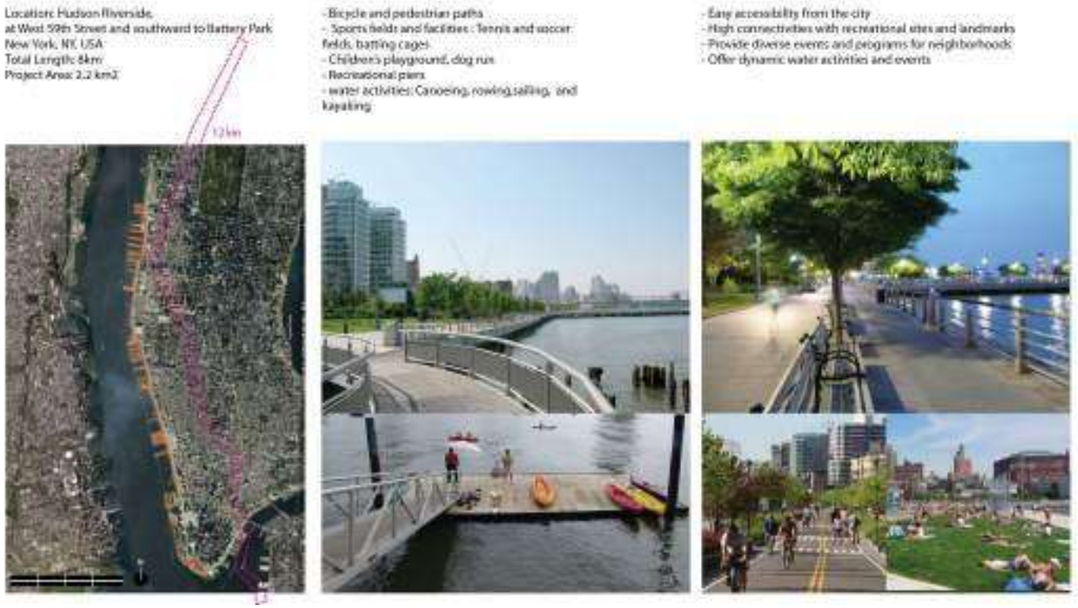
Tipología de Paisaje 03: Circulación: Parque al lado del Río

Características del Proyecto

- Bicycle and pedestrian paths
- Sports fields and facilities : Tennis and soccer fields, batting cages
- Children's playground, dog run
- Recreational piers
- water activities: Canoeing, rowing,sailing, and kayaking

Lecciones

- Easy accessibility from the city
- High connectivities with recreational sites and landmarks
- Provide diverse events and programs for neighborhoods
- Offer dynamic water activities and events



ESTUDIOS DE CASO

Río Salado
Phoenix. AZ. EE.UU.

Tipología de Paisaje 04: Control de Inundaciones/Restauración de Ecología

Características del Proyecto

- Terraced Banks
- Wetlands
- 200- foot-wide 10-foot deep low flow channel
- Research center

Lecciones

- Offer high habitat value within the Salt River corridor
- Restore native grasslands,trees and wildlife
- Improve flood management
- Provide Educational opportunities
- Offer high economic value in revitalization of urban development
- Provide cultural activities with restoration ecology

ESTUDIOS DE CASO

Tipología de Paisaje 04: Control de Inundaciones/Restauración de Ecología

Humedales Wadi Hanifa
Rivadh. Arabia Saudita

Location: The middle of the Najd Plateau of the Kingdom of Saudi Arabia, the Wadi Hanifa (or Hanifa valley)
Total Length: 120 km stretch
Project size: 4,000 km²

Características del Proyecto

- Waste water treatment facility
- Recreation areas: Plaza, playground,
- Restoration areas: Wetland, grassland, and trees
- Urban agriculture

Lecciones

- Provide additional water resource
- Offer landscape as ecological infrastructure
- Improve flood control
- Clean contaminated water
- Provide diverse habitats for biodiversity
- Create opportunities for recreational, educational and aesthetic experiences

ESTUDIOS DE CASO

Proyecto

"Windy Gap Firming"

Distrito de Conservación del Agua del Norte de Colorado Berthoud, CO, EE.UU.

Producción del Proyecto: 30,000 AFY

Características del Proyecto

- • Se evaluaron más de 180 sitios de represas en corriente y fuera de corriente
- • Modelo de Rendimiento Firme Desarrollado
- • Volumen de almacenamiento total requerido de 90,000+ AF
- • Alternativa preferida de presa de escollera de 300 pies de altura incluida en el Proceso de Permiso Federal en curso
- • Tubería de gran diámetro y sistema hidráulico de altura

Lecciones

- • Lista ampliada documentada de alternativas posibles
- • Diseño conceptual generado de múltiples alternativas
- • La documentación de selección del sitio fue aceptada por la agencia federal líder para la revisión ambiental
- • Proyección ambiental y técnica de más de 180 sitios

ESTUDIOS DE CASO

Investigación de Flujo Urbano

Proyecto - Falla de Tanque de Almacenamiento de Agua

Departamento de Agua y Energía de Los Angeles. Los Angeles, CA, EE.UU.

Características del Proyecto

- Impactos evaluados de fallas potenciales de un tanque propuesto de almacenamiento de agua de planta de refrigeración
- 110 pies de diámetro, 180 pies de alto, 10 millones de galones
- Datos de terreno LIDAR utilizados y modelado FLO-2D

Lecciones

- El modelado hidráulico indicó que el volumen del tanque inundaría un estimado de 15 acres durante un período de 6.5 horas
- Las profundidades máximas de inundación serían de 10 a 12 pies en un paso de bajo nivel de la autopista (área azul oscuro a continuación).
- Los creadores del modelo FLO-2D dijeron que esta era la primera aplicación de su modelo de esta manera.

ESTUDIOS DE CASO

Análisis de Oportunidades de Restauración de llanura de inundación

Programa de planificación de gestión de inundaciones en el Valle Central

Departamento de Recursos Hidrológicos

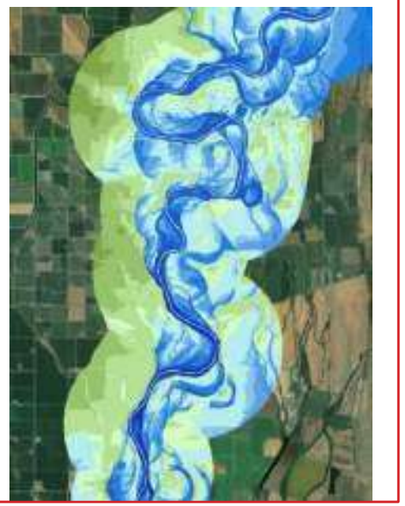
Sacramento, CA, EE.UU.

Características del Proyecto

- Análisis realizado en todo el Valle Central.
- Datos de terreno de LIDAR utilizados con nuevas técnicas de SIG.
- Profundidad relativa de las inundaciones dentro y fuera de los diques (líneas amarillas a continuación) mostradas en un SIG para la visualización de oportunidades de restauración.

Lecciones

- Nuevas técnicas de SIG proporcionaron una evaluación rápida de las oportunidades de restauración de llanuras de inundación.
- La cartografía de las inundaciones mostró áreas debajo (azul) y por encima (verde) del perfil de inundación y mostró características remanentes en las llanuras de inundación.



ESTUDIOS DE CASO Distrito Lloyd, Portland, Oregon, EE.UU.

Modo de Viaje	1997	2009	Change
Conductor solo	60%	40%	- 33%
Compartido/Van	16%	10%	- 38%
Autobus/MAX	21%	39%	+ 86%
Bicicleta	3%	6%	+ 100%
Caminando	2%	3%	+ 50%
Otro	1%	2%	+ 100%
Viajes Totales por Semana	**100%**	**100%**	**--**

ESTUDIOS DE CASO Seúl, Corea del Sur: Autopista Cheonggye

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente.

Equipo AECOM

Gerentes del Proyecto: Manuel Sanchez, Alma Du Solier

Equipo de diseño

Sang Woo Lee
Sarah Sha
Patricia Fonseca
Haein Lee
Mike Amadeo

Equipo de Ingeniería Hidrológica

Courney O'Neill
Brandon Banks
Kevin Coulton
Stephen Blanton
Brian Perry

AECOM San Francisco

300 California Street, Suite 400
San Francisco, CA
94104

Contacto:
Manuel Sanchez - manuel.sanchez@aecom.com
Erika Uribe - erika.uribe@aecom.com