MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

EL CONTENIDO DE ESTE ARCHIVO NO PODRÁ SER ALTERADO O MODIFICADO TOTAL O PARCIALMENTE, TODA VEZ QUE PUEDE CONSTITUIR EL DELITO DE FALSIFICACIÓN DE DOCUMENTOS DE CONFORMIDAD CON EL ARTÍCULO 244, FRACCIÓN III DEL CÓDIGO PENAL FEDERAL, QUE PUEDE DAR LUGAR A UNA SANCIÓN DE **PENA PRIVATIVA DE LA LIBERTAD** DE SEIS MESES A CINCO AÑOS Y DE CIENTO OCHENTA A TRESCIENTOS SESENTA DÍAS MULTA.

DIRECION GENERAL DE
IMPACTO Y RIESGO
AMBIENTAL

H. AYUNTAMIENTO
XICOHTZINCO
2024 - 2027

MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN

MODALIDAD PARTICULAR

“PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE”

Municipio de Xicohtzinco Tlaxcala

Dirección: Calle Francisco I. Madero Palacio Municipal, Colonia Centro, CP 90780, Xicohtzinco, Tlaxcala

Contenido

1 DATOS GENERALES DEL PROYECTO, DEL PROMOVENTE, DEL RESPONSABLE DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 1
1.1 DATOS GENERALES DEL PROYECTO 1
1.1.1 Nombre del proyecto 1
1.1.2 Ubicación del proyecto 1
1.1.3 Duración del proyecto 3
1.2 DATOS GENERALES DEL PROMOVENTE 3
1.2.1 Nombre o razón social 3
1.2.2 Registro Federal de Contribuyentes del promovente 3
1.2.3 Nombre y cargo del representante legal 3
1.2.4 Dirección del promovente o de su representante legal para recibir u oír notificaciones 3
1.2.5 Nombre del responsable técnico de la elaboración del estudio 3
1.2.6 RFC del Responsable Técnico de la elaboración del estudio 3
1.2.7 Colaboradores en el estudio 3
1.2.8 Dirección del responsable del estudio 3
1.2.9 Protesta de Decir verdad 4
1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 5
1.3.1 INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO 5
1.3.2 Objetivos y justificación 5
1.3.3 Antecedentes 8
1.3.4 Ubicación física y dimensiones del proyecto 8
1.3.5 Inversión requerida 9
1.3.6 Urbanización del área y descripción de servicios requeridos 10
1.4 Características particulares del proyecto 11
1.4.1 Programa de trabajo 15
1.4.2 Representación gráfica regional 16
1.4.3 Dimensiones del proyecto 19
1.4.4 Características del área del proyecto 20
1.4.5 Programación 23

1.4.6 Estudios de campo y gabinete 23
1.4.7 Preparación del sitio y construcción 26
1.4.8 Memoria de Cálculo 30
1.4.9 Operación y mantenimiento 32
1.4.10 Etapa de abandono del sitio 35
1.4.11 Utilización de explosivos 35
1.4.12 Generación, manejo y disposición de residuos sólidos, líquidos y emisiones a la atmosfera 35
1.4.13 Generación de gases de efecto invernadero 36
2 VINCULACIÓN CON LOS ORDENAMIENTOS JURÍDICOS APLICABLES EN MATERIA AMBIENTAL Y, EN SU CASO, CON LA REGULACIÓN SOBRE USO DEL SUELO 39
2.1 Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio (POEGT) 40
2.2 Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Tlaxcala (OET) 44
2.3 Programa de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano para Estado de Tlaxcala (PEOTDUT) 51
2.4 Áreas de Importancia Ambiental 55
2.5 Planes y Programas de Desarrollo Urbano Municipales 63
2.5.1 Plan Nacional de Desarrollo 2025-2030 63
2.5.2 Plan Estatal de Desarrollo 2021-2027 64
2.5.3 Plan Municipal de Desarrollo de Xicohtzinco 2024-2027 66
2.5.4 Normas Oficiales Mexicanas 70
2.6 Leyes y/o Reglamentos 73
2.6.1 Leyes y/ o reglamentos federales 73
2.6.2 Leyes y/o reglamentos estatales 77
3 DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN ECOLÓGICA Y SEÑALAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DETECTADA 80
3.1 Elementos utilizados para la delimitación de la Región o Regiones Ecológicas de acuerdo con las características y alcances del Proyecto 80
3.1.1 Criterios para delimitación 80
3.1.2 Área de influencia 80
3.1.3 Descripción del proceso de delimitación de la RE 82

3.1.4 Superficie de la Región Ecológica 88
3.2 Componentes Ambientales 92
3.2.1 Abióticos 92
3.2.2 Medio socioeconómico 102
3.2.3 Paisaje 105
3.3 Descripción de los tipos de uso de suelo y vegetación presentes en la Región o Regiones Ecológicas 110
3.4 Especies potenciales 112
3.5 Resumen y metodología de muestreos en el Área del Proyecto (AP), Área de Influencia (AI) y Región Ecológica (RE) 114
3.5.1 Caracterización de la vegetación 115
3.5.2 Especies identificadas en campo endémicas o que se encuentren en alguna categoría de riesgo conforme a la NOM-059-SEMARNAT-2010 123
3.6 Diagnóstico ambiental 123
3.6.1 Análisis del grado de conservación o deterioro de la región ecológica. 123
3.6.2 Diagnóstico integral de la situación de la región ecológica, conforme a la información analizada en las secciones anteriores. 123
3.6.3 Escenario a futuro de la región ecológica. 124
3.7 Problemáticas ambientales en la Región Ecológica 124
4 IDENTIFICACIÓN, DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES Y LA DETERMINACIÓN DE LAS ACCIONES Y MEDIDAS PARA SU PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y COMPENSACIÓN 125
4.1 Metodología 125
4.2 Indicadores de Impacto 126
4.2.1 Criterios y metodologías de evaluación 128
4.2.2 Identificación de acciones del proyecto susceptibles de producir impacto (ASPI) 131
4.2.3 Identificación y evaluación de impactos ambientales del proyecto . 133
4.2.4 Valoración de los impactos 135
4.3 Impactos ambientales del proyecto y medidas de prevención, mitigación, compensación y restauración 146
4.4 Resumen del análisis de los impactos ambientales significativos, acumulativos, sinérgicos y residuales 152

4.4.1 Impactos significativos....152
4.4.2 Impactos acumulativos....153
4.4.3 Impactos sinérgicos....153
4.4.4 Impactos residuales....154
4.5 Programa de Vigilancia Ambiental....154
4.6 Conclusiones Generales....163
4.7 Anexos de proyecto....165
4.7.1 Documentos Legales del promovente....165
4.7.2 Documentos del responsable del Estudio....165
4.7.3 Planos del proyecto....165
4.7.4 Reporte Fotográfico....165
4.7.5 Cartografía....165
4.7.6 Información Técnica....165
4.7.7 Archivos KMl del proyecto....165
4.8 Glosario de términos....165
4.9 Referencias bibliográficas....169

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del proyecto 2
Figura 2. Vías de acceso al proyecto 11
Figura 3 Mapa de Macrolocalización 17
Figura 4 Mapa de Microlocalización 18
Figura 5 Sitio de Proyecto (Estado actual del puente "La Torrecilla") 22
Figura 6 Sitio de Proyecto (Vista hacia el río desde el puente) 22
Figura 7 Sitio de Proyecto (Vegetación presente en el área) 23
Figura 8 Diagrama de flujo de actividades 23
Figura 9 Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio (POEGT). 41
Figura 10 Reg. 16.10 (Unidad ambiental biofísica No 57). 42
Figura 11 UGA 40 Clave Ag3-40. 50
Figura 12 Orientaciones estratégicas y políticas 53
Figura 13 Orientaciones Estratégicas y Políticas 54
Figura 14 Áreas Naturales Protegidas 56
Figura 15 Regiones hidrológicas prioritarias 57
Figura 16 Regiones terrestres prioritarias 58
Figura 17 Áreas de importancia para la conservación de aves 59
Figura 18 Sitios prioritarios para la restauración 60
Figura 19 Sitios de atención prioritaria para la conservación de la biodiversidad 61
Figura 20 Sitios prioritarios acuáticos epicontinentales para la conservación de la biodiversidad 62
Figura 21 Sitios RAMSAR 63
Figura 22 Área de influencia 81
Figura 23 Resumen de Criterios y Métodos para la Delimitación de la Región Ecológica 85
Figura 24 Carta Hidrología superficial 86
Figura 25 Carta Uso de suelo y vegetación 87
Figura 26 Carta de Edafología 87
Figura 27 Carta Geología 88
Figura 28 Polígono de la Región Ecológica (RE) delimitada para el proyecto de construcción del puente vehicular, municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala. 89
Figura 29 Clima 93
Figura 30 Geología 95
Figura 31 Subprovincias 96
Figura 32 Edafología 97
Figura 33 Hidrología superficial 100
Figura 34 Hidrología subterránea (acuíferos) 101
Figura 35 Poblacion masculina y femenina agregada por ambito urbano y rural 103
Figura 36 Distribucion de localidades por tipo 104

Figura 37 Infraestructura y equipamiento por categoria 105
Figura 38 Uso de suelo y vegetación.....111
Figura 39 Condición actual de las especies arbóreas a retirar 116
Figura 40 Vegetación presente en el sitio del proyecto 118
Figura 41 Vegetación presente en el sitio del proyecto.....118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coordenadas del eje del proyecto. 1
Tabla 2 Costos de inversión 9
Tabla 3 Características particulares del proyecto 12
Tabla 4 Características Geométricas del Puente 19
Tabla 5 Dimensiones del proyecto. 19
Tabla 6 Tabla Resumen de Características del Proyecto (Formato SEMARNAT) 31
Tabla 7 Estimación y Manejo de Residuos Generados 35
Tabla 8 Características Región Ecológica 16.10. 43
Tabla 9 Estrategias Ecológicas de la Región 16.9. 43
Tabla 10 Criterios de selección de políticas 47
Tabla 11 Criterios de Regulación Ecológica. 49
Tabla 12 Alineación del Plan Municipal de Xicohtzinco 2024-2027 a los niveles superiores de planeación 67
Tabla 13 Ejes rectores del Plan Municipal de Desarrollo 2024-2027 68
Tabla 14 Coordenadas Región Ecológica 90
Tabla 15 Localidades con mayor población 103
Tabla 16 Infraestructura y equipamiento identificado dentro del polígono de la RE 105
Tabla 17 Evaluación paisajista. 106
Tabla 18 Valoración de calidad paisajística. 109
Tabla 19 Resumen y metodología de muestreos en el Área del Proyecto (AP), Área de Influencia (AI) y Región Ecológica (RE). 114
Tabla 20 Individuos arbóreos a remover 115
Tabla 21 Criterios de evaluación. 128
Tabla 22 Rangos de evaluación. 129
Tabla 23 Valores numéricos de impactos. 131
Tabla 24 ASPI. 131
Tabla 25 Lista de chequeo para identificación de impactos. 133
Tabla 26 Matriz de evaluación de impactos. 136
Tabla 27 Resumen de matriz de impactos. 141
Tabla 28 Total de impactos. 144
Tabla 29 Impactos negativos y positivos. 144
Tabla 30 Medidas de prevención, mitigación, compensación y restauración. 147
Tabla 31 Catálogo de Medidas Ambientales. 156

1 DATOS GENERALES DEL PROYECTO, DEL PROMOVENTE, DEL RESPONSABLE DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 DATOS GENERALES DEL PROYECTO

1.1.1 Nombre del proyecto

PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR "LA TORRECILLA" DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE

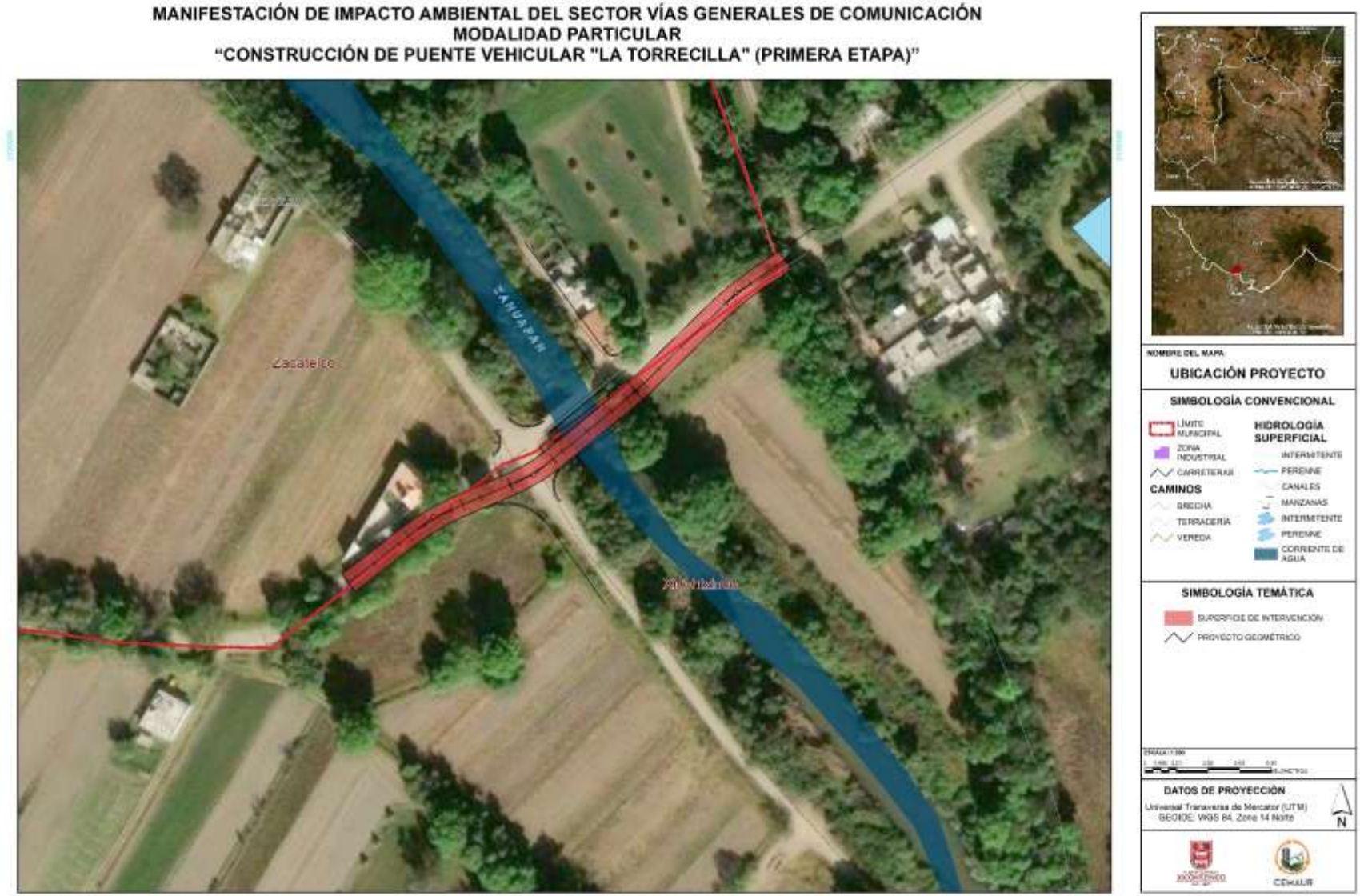
1.1.2 Ubicación del proyecto

El proyecto se encuentra en camino dolores-cruce rio Zahuapan/Barranca de Sánchez, Sección Tercera, Xicohtzinco.

TABLA 1 COORDENADAS DEL EJE DEL PROYECTO.

VÉRTICE	UTM X	UTM Y
8	578,733.9091	2,119,861.6700
9	578,752.8363	2,119,876.3202
10	578,760.7120	2,119,882.4162
11	578,769.8872	2,119,886.2893
12	578,785.1103	2,119,892.7153
13	578,792.5232	2,119,895.8445
14	578,798.7525	2,119,900.9374
15	578,821.9419	2,119,919.8961
16	578,824.7893	2,119,922.2241
17	578,827.4165	2,119,924.7981
18	578,850.9794	2,119,947.8838
19	578,856.5211	2,119,953.3132
20	578,862.9842	2,119,953.3132
21	578,873.2805	2,119,964.4418
LONGITUD= 174.366 M		

FIGURA 1 UBICACIÓN DEL PROYECTO



1.1.3 Duración del proyecto

Se tiene contemplado un periodo de ejecución de 7 meses.

1.2 DATOS GENERALES DEL PROMOVENTE

1.2.1 Nombre o razón social

Municipio de Xicohtzinco Tlaxcala

1.2.2 Registro Federal de Contribuyentes del promovente

MXT850101MT5

1.2.3 Nombre y cargo del representante legal

C. Juan Ramírez Avalos

Promovente del proyecto

1.2.4 Dirección del promovente o de su representante legal para recibir u oír notificaciones

Calle Francisco I. Madero Palacio Municipal, Colonia Centro, CP 90780, Xicohtzinco, Tlaxcala

1.2.5 Nombre del responsable técnico de la elaboración del estudio

Mtro. [redacted]

1.2.6 RFC del Responsable Técnico de la elaboración del estudio

RFC: [redacted]

1.2.7 Colaboradores en el estudio

Biol. [redacted]

U.D.A. [redacted]

1.2.8 Dirección del responsable del estudio.

[redacted]

1.2.9 Protesta de Decir verdad

Gobierno Municipal
XICOHTZINCO
2024 - 2027

Xicohtzinco, Tlaxcala, a 16 de julio de 2026

ASUNTO: DECLARACIÓN BAJO PROTESTA DE DECIR LA VERDAD

Declaro bajo protesta de decir verdad que los resultados de la Manifestación de Impacto Ambiental del Proyecto se obtuvieron a través de la aplicación de las mejores técnicas y metodologías comúnmente utilizadas por la comunidad científica del país y del uso de la mayor información disponible, y que las medidas de prevención, mitigación, compensación y restauración sugeridas son las más efectivas para atenuar los impactos ambientales (Artículo 36 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental). Nombre y firma electrónica digital del responsable de la elaboración del estudio de impacto ambiental.

[redacted]

C. JUAN RAMÍREZ AVALOS
PROMOVENTE DEL PROYECTO

RESPONSABLE DE LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

Nota: La responsabilidad respecto del contenido del presente documento corresponderá a quien lo elabore. Si se comprueba que en la elaboración de los documentos en cuestión la información es falsa, el responsable será sancionado de conformidad con el Capítulo IV del Título Sexto de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), sin perjuicio de las sanciones que resulten de la aplicación de otras disposiciones jurídicas relacionadas.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.3.1 INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El proyecto se clasifica como una obra de infraestructura de transporte terrestre, específicamente un puente vehicular y peatonal de claro corto, cuya naturaleza técnica consiste en la edificación de una nueva estructura paralela a la existente con el fin de incrementar la capacidad de carga y de conducción hidráulica en la zona, destacando que la infraestructura actual se mantendrá en operación sólo para peatones y con la finalidad de preservar una línea activa de conducción de agua potable que cruza en su parte inferior.

La obra se localiza en el Camino a Dolores, en el punto de cruce sobre el Río Zahuapan y la Barranca de Sánchez, en la Sección Tercera de dicho municipio, en las coordenadas geográficas 19°10'15.3" N y 98°15'02.2" O. El proyecto comprende una longitud total de intervención de 174.366 metros, distribuida en 29.95 metros de tramo de cruce sobre el cauce (con un claro estructural de diseño de 30.00 metros), 76.248 metros de acceso vial oeste y 68.168 metros de acceso vial este; la sección transversal contará con un ancho total de 9.60 metros que alojará una calzada vehicular de 7.00 metros para dos carriles de circulación, banquetas peatonales laterales, guarniciones y dispositivos de seguridad vial.

La infraestructura estará conformada por cimentaciones profundas mediante pilas perforadas coladas en sitio a 13.00 metros de profundidad, subestructura de estribos, cabezales y columnas de concreto reforzado, superestructura de trabes pretensadas prefabricadas tipo AASHTO IV con losa de rodamiento de concreto, así como obras de drenaje pluvial, disipadores y señalética horizontal y vertical. Esta obra se desarrollará para mejorar la movilidad local y la conectividad entre las zonas agrícolas, comunitarias y la cabecera municipal, garantizando el tránsito seguro de vehículos y peatones al tiempo que se asegura el flujo natural y sin obstrucciones del cauce.

1.3.2 Objetivos y justificación

1.3.2.1 Justificación

La construcción de un nuevo puente vehicular paralelo a la estructura existente responde a necesidades críticas de ingeniería, seguridad y operatividad hidráulica:

- Deterioro y limitaciones de la estructura actual: El puente existente presenta un deterioro estructural avanzado, una sección vehicular reducida que impide el cruce simultáneo de vehículos y carece de elementos de seguridad adecuados, como parapetos funcionales.
- Conservación por viabilidad de servicios: La demolición del puente actual no es viable debido a que una línea de conducción de agua potable

atraviesa la estructura. Por lo tanto, se plantea una sustitución funcional: el puente nuevo absorberá la carga vehicular, mientras que la estructura existente se conservará y destinará exclusivamente para uso peatonal.

- Insuficiencia hidráulica: La estructura actual no cumple con los requisitos hidráulicos necesarios, incrementando el riesgo de socavación y vulnerabilidad ante crecidas repentinas durante la temporada de lluvias.
- Solución estructural propuesta: El nuevo puente será de concreto reforzado y contará con una cimentación profunda mediante pilotes de fricción a 13 metros de profundidad, garantizando su estabilidad ante las condiciones estratigráficas y la presencia del nivel freático.
- Vida útil: La nueva infraestructura está diseñada para ofrecer una vida útil superior a 50 años sin requerir mantenimiento mayor, restituyendo además la geometría del cauce para un mejor comportamiento hidráulico.

1.3.2.2 Justificación Económica

El proyecto representa una inversión altamente rentable para el municipio, evaluada mediante un análisis de Costo-Beneficio (ACB), que generará retornos tangibles e intangibles a corto y largo plazo:

- Reducción de Costos de Operación Vehicular (COV): La eliminación del actual "cuello de botella" y la mejora de la superficie de rodamiento (que actualmente es de terracería con alta rugosidad) disminuirán significativamente los tiempos de traslado, las detenciones y el desgaste de los vehículos.
- Impulso al desarrollo regional: La obra optimizará el traslado de insumos, mercancías y productos de primera necesidad, beneficiando directamente a comerciantes, productores agrícolas y prestadores de servicios de la zona.
- Generación de empleo: Durante su etapa de construcción, estimada en 180 días (6 meses), el proyecto dinamizará la economía local mediante la creación de empleos directos e indirectos.
- Plusvalía y valor territorial: La modernización de esta infraestructura urbana y la adecuación de los caminos de acceso incrementarán el valor del entorno urbano y fortalecerán la integración territorial del municipio.

1.3.2.3 Justificación Social

La intervención está directamente orientada a mejorar la calidad de vida, la seguridad y la movilidad comunitaria de los habitantes de Xicohtzinco:

- Conectividad estratégica: El proyecto garantizará una comunicación continua y eficiente a través del Camino a Dolores, el cual es la vía principal

que enlaza a los habitantes de la Sección Tercera con las áreas agrícolas y los servicios de la cabecera municipal.

- Protección y seguridad vial: Se eliminará el alto riesgo de accidentes asociado a la estrechez del puente antiguo y al riesgo de caídas laterales. El nuevo diseño incluye señalamiento, dispositivos de seguridad y un ancho adecuado para el tránsito seguro.
- Resiliencia climática: Se garantizará un cruce seguro e ininterrumpido para instituciones educativas, familias y trabajadores, incluso durante eventos pluviales intensos que actualmente limitan el tránsito por el incremento en el nivel del cauce.
- Movilidad inclusiva: Al separar el tránsito vehicular (nuevo puente) del flujo peatonal (puente existente), se protegerá la integridad de los transeúntes, brindando un espacio exclusivo y más seguro para la movilidad no motorizada de la comunidad.

La obra se ubica en el Camino a Dolores, en la Sección Tercera del Municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala, fungiendo como un nodo de conectividad vital entre las zonas agrícolas, la comunidad de Santo Toribio, las parcelas ejidales y la cabecera municipal. La intervención responde a una necesidad urgente de mejoramiento de la infraestructura vial e hidráulica, dado que el cruce actual sobre el Río Zahuapan y la Barranca de Sánchez presenta un ancho reducido de un solo carril, superficie de rodamiento de terracería con severa irregularidad y deformaciones (con un Índice de Rugosidad Internacional estimado en 11.0 m/km), parapetos deteriorados y ausencia de elementos de seguridad vial. Además, existe una restricción técnica: el puente existente no puede ser demolido, debido a que por debajo de su estructura cruza una línea activa de conducción de agua potable que abastece a la comunidad por lo que el puente actual se someterá únicamente a un proceso de rehabilitación para su uso como paso peatonal. Por esta razón, la construcción del nuevo puente debe ejecutarse de forma paralela y adyacente, garantizando la continuidad ininterrumpida del servicio de agua potable y elevando sustancialmente la seguridad de la zona.

La justificación primordial del proyecto reside en la seguridad hidráulica y la reducción de riesgos por inundación. La cuenca aportante (subcuenca Río Atoyac-Zahuapan) presenta un comportamiento de crecientes rápidas durante la temporada de lluvias (junio a septiembre). El análisis hidráulico mediante modelación en HEC-RAS demuestra que la estructura actual actúa como un cuello de botella, provocando que ante avenidas extraordinarias el agua alcance un tirante máximo de hasta 3.45 m aguas arriba. Esta condición supera la altura libre disponible del puente existente, generando un efecto de remanso que incrementa

el riesgo de desbordamiento, erosión de taludes y afectaciones directas a parcelas agrícolas y viviendas rurales colindantes, además de interrumpir por completo el tránsito local.

"NOTA ACLARATORIA SOBRE LA DENOMINACIÓN Y ALCANCE DEL PROYECTO: Se hace la precisión técnica y jurídica de que el término 'Sustitución' empleado en el nombre oficial del presente proyecto hace referencia estricta a una sustitución funcional y de servicio vehicular, y no a una sustitución física destructiva. El puente existente presenta daños estructurales que limitan su capacidad de carga, por lo que el nuevo puente asumirá el 100% del aforo vehicular. Por motivos de utilidad pública (el puente actual aloja una línea de conducción de agua potable vital para la comunidad), la infraestructura existente no será demolida, sino que será conservada, intervenida superficialmente y destinada de manera exclusiva como paso peatonal seguro. Por lo tanto, las obras a evaluar en la presente MIA consisten en la construcción de una nueva estructura paralela y el cambio de vocación de la estructura actual, sin generación de impactos por demolición total en el cauce."

1.3.2.4 Objetivos generales y específicos

Construir una nueva infraestructura de transporte terrestre mediante la edificación del Puente Vehicular y Peatonal "La Torrecilla" sobre el Camino a Dolores (en el cruce con el Río Zahuapan y la Barranca de Sánchez, Sección Tercera de Xicohtzinco, Tlaxcala) de manera paralela a la estructura existente, con la finalidad de garantizar un paso seguro, permanente y con adecuada capacidad hidráulica y estructural ante avenidas extraordinarias, mejorando la conectividad vial entre las zonas agrícolas, comunitarias y la cabecera municipal sin interrumpir el suministro del sistema de agua potable local, el proyecto cuenta con los siguientes objetivos:

- Elevar el puente con el fin de evitar que el nivel del rio lo supere (inunde) en temporada de lluvias.
- Mejorar la integridad estructural del puente frente a las crecidas del rio.
- Brindar a la población usuaria del puente seguridad para cruzar el rio.

Aunado a ello, con la construcción del puente se pretende mejorar la conectividad vial en las colonias aledañas.

1.3.3 Antecedentes

No existen antecedentes para el proyecto en materia de gestión ambiental.

1.3.4 Ubicación física y dimensiones del proyecto

El sitio del proyecto se localiza en las coordenadas geográficas 19°10′15.3″ N y 98°15′02.2″ O (19.170947° N, −98.250576° O), sobre el Camino a Dolores, dentro de la Sección Tercera del Municipio de Xicohtzinco, Estado de Tlaxcala.

Políticamente y a nivel de movilidad local, la infraestructura conecta dos sectores de importancia socioeconómica y productiva dentro del municipio:

- Margen izquierda (Oeste): Zona urbana de la Sección Tercera y áreas habitacionales de la cabecera municipal.
- Margen derecha (Este): Comunidad de Santo Toribio, el Ejido de Xicohtzinco y parcelas de uso agrícola.

La obra se sitúa dentro de la Región Hidrológica No. 18 (RH18 - Balsas), en la Cuenca del Río Atoyac y dentro de la Subcuenca del Río Atoyac-San Martín Texmelucan (RH18Ad) / Subcuenca Atoyac-Zahuapan, la cual drena sus escurrimientos hacia la presa Manuel Ávila Camacho (RH18Ac).

La orografía del área de emplazamiento corresponde a terrenos ligeramente ondulados con pendientes suaves que descienden hacia el cauce, características del Altiplano Central dentro del Eje Neovolcánico Transversal. La zona registra una altitud promedio de entre 2,200 y 2,260 m s. n. m., ubicándose la cota de fondo del cauce en el sitio del cruce a 2,175.45 m s. n. m.. El cuerpo de agua que atraviesa la infraestructura es el Río Zahuapan en su intersección con la Barranca de Sánchez, un escurrimiento de régimen permanente/intermitente con crecientes rápidas durante la época de lluvias.

1.3.5 Inversión requerida

El monto estimado de inversión para la ejecución del proyecto asciende a $21,613,815.74 M.N.

TABLA 2 COSTOS DE INVERSIÓN

Etapa	Costo de inversión del Proyecto ($)	Costo de medidas de prevención, mitigación, compensación y/o restauración ($)	Duración estimada del Proyecto	Total ($)
Preparación del sitio y construcción	$ 19,070,520.44	$ 2,543,295.30 *(Monto incluido dentro de la inversión del proyecto)* \	7 meses	$21,613,815.74
Operación y/o mantenimiento	Costo con cargo al gasto corriente municipal	Costo con cargo al gasto corriente municipal	50 años	N/A

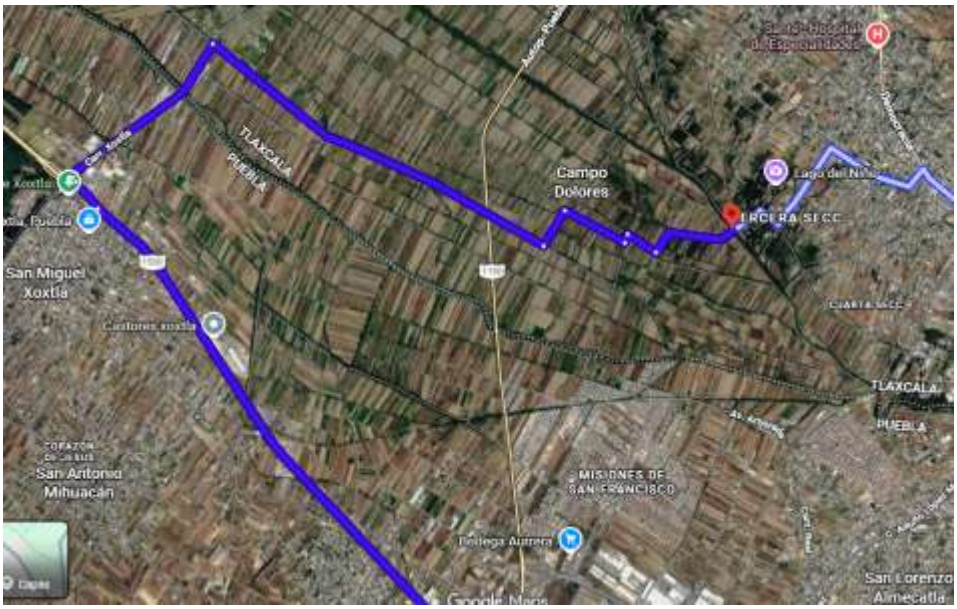
Etapa	Costo de inversión del Proyecto ($)	Costo de medidas de prevención, mitigación, compensación y/o restauración ($)	Duración estimada del Proyecto	Total ($)
Cierre y abandono de sitio	N/A	N/A	N/A	N/A

1.3.6 Urbanización del área y descripción de servicios requeridos

1.3.6.1 Vías de acceso

Para acceder al sitio de la obra desde la red vial regional (tramo Puebla - México), el trayecto inicia circulando por la carretera México-Puebla para tomar la vía de acceso en dirección a la Autopista México - Puebla (México 150D) hacia Tlaxcala y México. Se continúa por este corredor arterial principal incorporándose de manera breve a la Av. 28 de noviembre/Lateral del Periférico para reincorporarse a la Autopista México - Puebla (México 150D), sumando un recorrido aproximado de 15.3 km sobre esta vía rápida. Posteriormente, se toma la salida hacia Miguel Xoxtla para incorporarse a la derecha sobre la Carretera Xoxtla y avanzar durante 1.8 km. Desde esta arteria principal, se continúa hacia el Camino a Dolores a través de la red de vialidades secundarias y locales en un tramo aproximado de 5.7 km, realizando los giros de interconexión local que enlazan con el Camino a Ocotlán (82 m) y la calle Antigua Dolores (300 m), hasta incorporarse finalmente al Camino a Dolores, donde a la izquierda se localiza el punto de emplazamiento del proyecto en el cruce sobre el Río Zahuapan y la Barranca de Sánchez.

FIGURA 2. VÍAS DE ACCESO AL PROYECTO



1.3.6.2 Servicios públicos

En el área del proyecto, localizada en la Sección Tercera del Municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala, la zona semiurbana cuenta con servicios públicos básicos como red de telefonía y electrificación a cargo de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), evidenciada por la presencia de postes de tendido eléctrico en las inmediaciones del Camino a Dolores y el cauce. Respecto a la infraestructura hídrica, destaca la presencia de una línea principal de conducción de agua potable en operación que cruza por debajo de la estructura del puente existente y abastece de forma continua a los habitantes de la comunidad. Por esta razón estratégica de servicio público, el proyecto contempla la preservación integral de la infraestructura hidráulica actual, edificando el nuevo paso vehicular de manera paralela para evitar cualquier afectación o suspensión en el suministro de agua potable a la población.

1.3.6.3 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

En la zona del proyecto o inmediaciones no se localiza ni opera ninguna Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

1.4 Características particulares del proyecto

El proyecto consiste en la construcción del puente vehicular y peatonal "La Torrecilla", ubicado en el Camino a Dolores, en el tramo comprendido entre el Río Zahuapan y la Barranca de Sánchez, en la Sección Tercera (comunidad de Santo Toribio) del municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala. La obra tiene como propósito conectar la zona agrícola de la propiedad ejidal y pequeña propiedad con el ejido

y la zona urbana de Xicohtzinco, mejorando la movilidad local y regional, facilitando el transporte de personas y productos agrícolas, y garantizando un cruce seguro sobre el cauce natural durante todo el año.

El proyecto surge debido a que la estructura existente presenta un ancho reducido, deterioro estructural e insuficiencia hidráulica en temporada de lluvias. Cabe destacar que el nuevo puente se construirá de manera paralela al actual, conservando la estructura previa únicamente porque aloja una línea de conducción de agua potable que abastece a la comunidad y cuya demolición o afectación no es viable.

El proyecto contempla la ejecución de obras de infraestructura, subestructura, superestructura y trabajos complementarios

Las principales características son:

TABLA 3 CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DEL PROYECTO

Tipo de estructura	• Cimentación profunda: Pilas perforadas coladas en sitio de concreto reforzado. • Subestructura: Cabezales, pilas, muros de estribo y caballetes de concreto reforzado. • Superestructura: Seis (6) trabes prefabricadas pretensadas tipo AASHTO IV y losa de concreto reforzado ($f'c = 300\ kg/cm^2$) con capa de rodadura de carpeta asfáltica. • Accesos viales: Accesos este y oeste conformados por terracerías compactadas. • Elementos de seguridad y señalamiento: Parapetos laterales de concreto, guarniciones, bordillos y señalamiento vial horizontal y vertical.
Dimensiones	• Longitud total del proyecto (puente y accesos): 174.366 m. - *Tramo de cruce sobre el Río Zahuapan (Puente):* 29.95 m (claro de diseño aproximado de 30.00 m). - Acceso vial oeste: 76.248 m. - Acceso vial este: 68.168 m. • Ancho total de la sección transversal: 9.60 m a 9.80 m. • Ancho útil de calzada: 7.00 m (alojando dos carriles vehiculares). • Espesor de losa de concreto: 0.20 m (20 cm). • Espesor de carpeta asfáltica de rodamiento: 0.05 m (5 cm).
Tipo de soportes	La estructura se apoya en: • Pilas de cimentación profunda: Pilas perforadas coladas en sitio desplantadas a 13.00 m de profundidad dentro de

	un estrato competente de arena arcillosa (SC), con diámetros de diseño entre 0.80 m y 1.50 m. • Subestructura de concreto: Estribos, caballetes y cabezales de concreto reforzado diseñados para resistir las acciones verticales y solicitaciones sísmicas. • Apoyos estructurales: Dispositivos de elastómero tipo neopreno colocados entre las trabes pretensadas y la subestructura para la correcta transmisión de cargas. • Elementos de contención: Parapetos de concreto reforzado con peso de 0.55 ton/m en los costados exteriores.
Resumen del Procedimiento constructivo	El procedimiento constructivo se desarrollará en varias etapas programadas: Preparación del sitio: • Limpieza y desmonte por medios mecánicos (tala, roza, desenraice y limpia de capas herbáceas y arbolado existente, donando el producto vegetal sobrante a los vecinos). • Trazo topográfico y nivelación mediante estación total, GNSS RTK y fotogrametría con dron. • Delimitación de zonas de trabajo y colocación de medidas de protección y control de escurrimientos en el cauce. Movimiento de tierras y cimentación: • Despalme de la capa vegetal en capas de 10 cm y excavación en caja (60 m³) para el desplante de terraplenes. • Perforación mecánica de pilas hasta 13.00 m de profundidad, utilizando ademe metálico recuperable entre los 0 y 10.80 m para contener los estratos sueltos. • Limpieza del fondo del barreno, colocación de la canasta de acero de refuerzo $f_y = 4200$ kg/cm^2 y colado continuo de concreto mediante el método *Tremie*. • Acarreo y retiro del material sobrante de excavación y despalme hacia un banco de desperdicio autorizado, transportado en camiones cubiertos con lona. Estructura (Subestructura y superestructura): • Armado y colado de muros de estribo, pilas, caballetes y cabezales de concreto reforzado. • Colocación de los apoyos de neopreno. • Montaje e hincado de las 6 trabes pretensadas prefabricadas tipo AASHTO IV.

	• Armado y colado de la losa de compresión de concreto reforzado de 20 cm ($f'c = 300$ kg/cm^2), vibrado, curado y descimbrado controlado. Obras complementarias: • Formación del cuerpo de terracerías para los accesos norte y sur en capas de 30 cm con compactaciones al 90%, 95% y 100% en subrasante, empleando compactador pata de cabra (815), vibro-compactador, motoconformadora y riegos de agua con pipa (~4,000 litros por aplicación). • Tendido de la carpeta asfáltica de rodadura de 5 cm de espesor. • Construcción de guarniciones, bordillos, cunetas, protección de taludes y obras de disipación hidráulica. Acabados y limpieza: • Aplicación de pintura vial, marcas en el pavimento y colocación de señalamiento vertical y horizontal. • Retiro de concreto contaminado en la cabeza de las pilas y descabece manual de los últimos 20 cm. • Pruebas de integridad estructural en pilas, limpieza general del área de trabajo y entrega final de la obra.
Otros servicios auxiliares para la operación	Para la correcta operación y seguridad del puente se contemplan los siguientes servicios auxiliares: • Señalamiento vial: Señalamiento horizontal (pintura sobre carpeta de rodamiento) y vertical (placas informativas y preventivas). • Dispositivos de seguridad: Guarniciones y parapetos laterales de concreto reforzado que confinan los carriles y protegen la circulación. • Sistemas de drenaje pluvial: Cunetas, bordillos y drenes pluviales sobre la plataforma que conducen el agua hacia obras de disipación para evitar encharcamientos y erosionar los taludes de acceso. • Protección del cauce: Obras de protección de taludes y manejo de flujo para prevenir la socavación alrededor de la cimentación durante crecientes del río. • Servicios e instalaciones provisionales durante la obra: Suministro de agua mediante pipas desde pozos autorizados, energía eléctrica generada por plantas portátiles para el corte de acero y madera, y retretes portátiles con limpieza periódica para el personal.

Superficie de ocupación total, especificando la superficie de zona federal de cuerpos de agua	La superficie de ocupación total del proyecto se extiende a lo largo de un corredor geométrico de 174.366 m de longitud por un ancho promedio de 9.60 m a 9.80 m, cubriendo una superficie proyectada aproximada de 1,673.91 m² que contempla la estructura del puente y la adecuación de los accesos viales este y oeste. Zona federal de cuerpos de agua: El proyecto realiza una intervención directa sobre el cauce superficial del Río Zahuapan / Barranca de Sánchez (subcuenca Atoyac-Zahuapan, RH18Ad). La ocupación dentro del cauce y su zona federal corresponde al tramo central del puente con un ancho de cruce de 29.95 m (aproximadamente 287.52 m² de proyección sobre el cauce).

1.4.1 Programa de trabajo

Se ha determinado un periodo de ejecución de 7 meses. Este plazo se considera necesario y suficiente para garantizar la correcta ejecución de las maniobras técnicas dentro del cauce del Río Zahuapan / Barranca de Sánchez, permitiendo el manejo adecuado de los escurrimientos pluviales, el desplantamiento de la cimentación profunda y el fraguado óptimo de los elementos de concreto reforzado y pretensado.

A continuación, se indican actividad a realizar y el plazo de ejecución:

		LOCALIDAD:	XICOHTZINCO
OBRA:	CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR "LA TORRECILLA" (PRIMERA ETAPA)	MUNICIPIO:	XICOHTZINCO
CONSISTE EN:	PRELIMINARES Y TERRACERÍAS, PUENTE VEHICULAR, TRABAJOS COMPLEMENTARIOS Y SEÑALAMIENTO.		
CALENDARIO DE EJECUCIÓN DE OBRA Y ADMINISTRACIONES DE RECURSOS			

ACTIVIDAD	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7
TERRACERÍAS							
Preliminares							
Despalme							
Terraplenes							
Acarreos							
PAVIMENTOS							
Concreto hidráulico							
Riegos con emulsiones asfálticas							
Subbases y bases							
Carpetas asfálticas							
SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD							
Marcas en el pavimento							

ACTIVIDAD	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7
Señales verticales bajas							
SUB-ESTRUCTURA							
Pilotes							
SUPERESTRUCTURA							
Parapeto y banqueta							
Superestructura losas y diafragmas							
Juntas de dilatación							
Losas de accesos							
Superestructura trabes y postensadas Asshto tipo VI							
Apoyos de neopreno							
Cabezal, muro ménsula, bancos y topes laterales							
Marcas en el pavimento							

1.4.2 Representación gráfica regional

El proyecto se ubica en el Municipio de Xicohtzinco, en el Estado de Tlaxcala, además de mejorar la estructura del puente, se mejorará la conectividad vial local al contar con una mejora en la infraestructura. En la siguiente figura se muestra el proyecto en el contexto regional:

FIGURA 3 MAPA DE MACROLOCALIZACIÓN

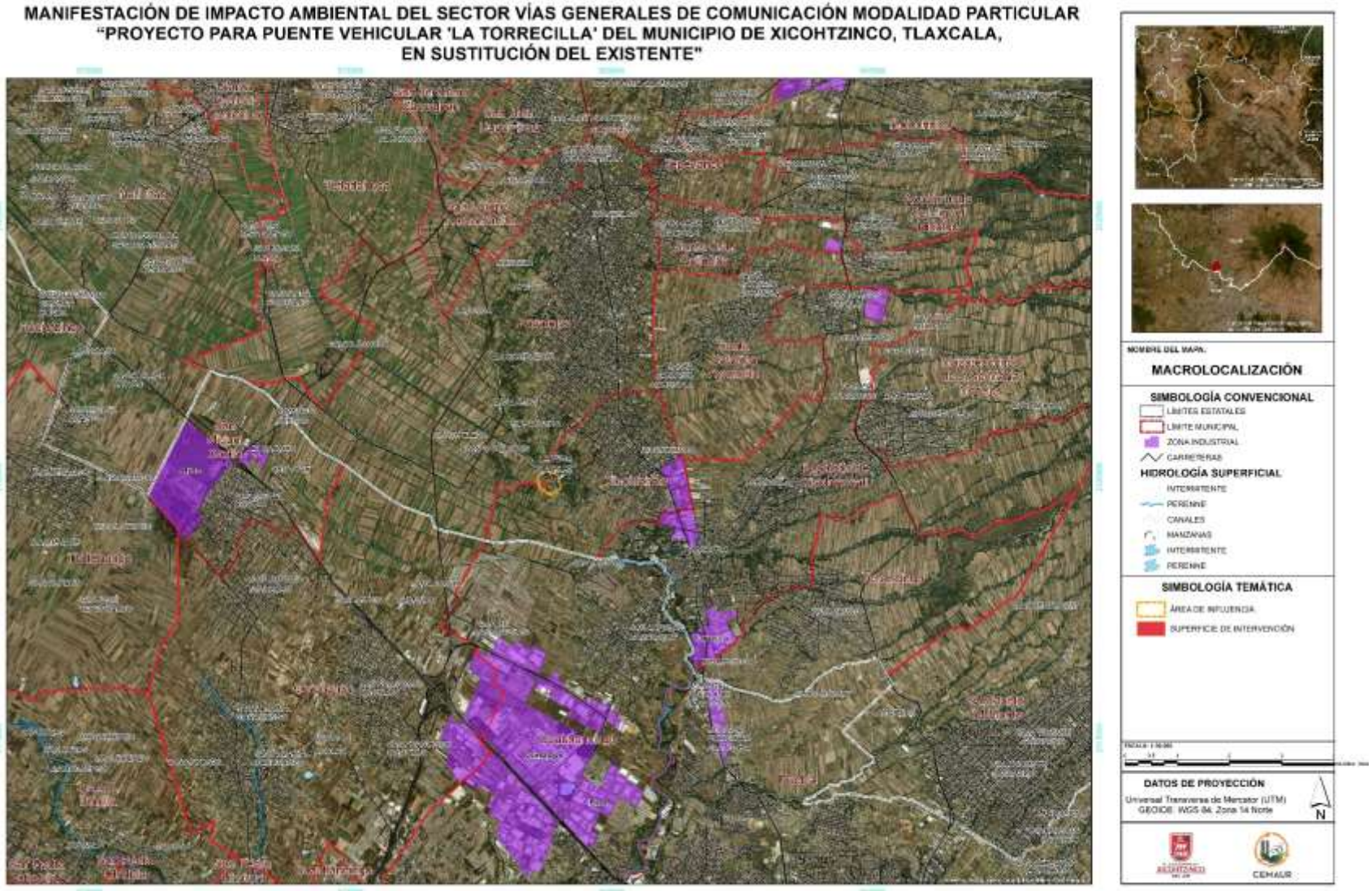
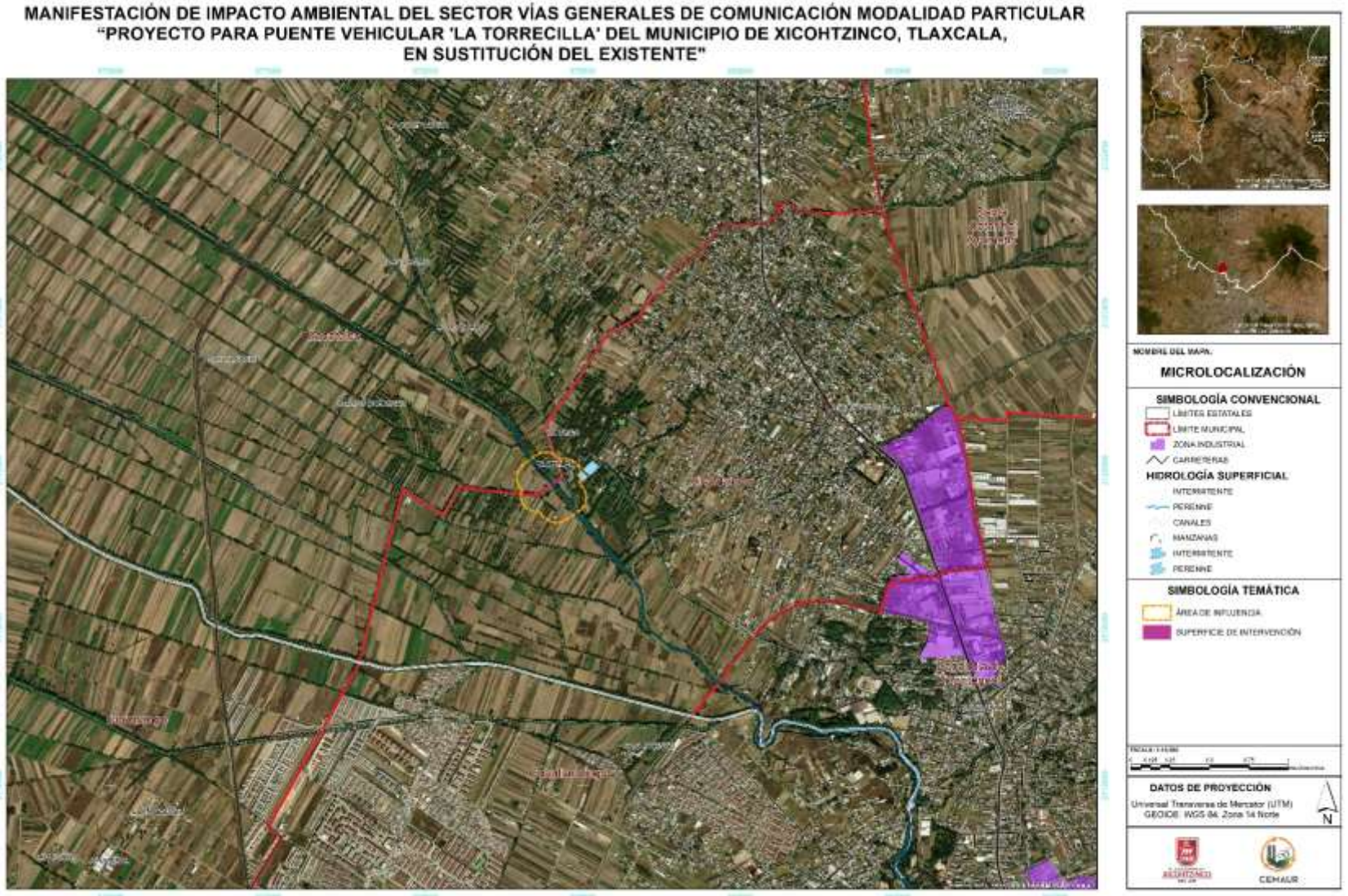


FIGURA 4 MAPA DE MICROLOCALIZACIÓN



1.4.3 Dimensiones del proyecto

La estructura se apoya sobre una subestructura conformada por estribos, caballetes, pilas y cabezales de concreto reforzado, equipados con dispositivos de apoyo de elastómero tipo neopreno para la transmisión de cargas. Debido a la presencia de estratos superficiales de suelo blando y altamente compresible en los primeros metros del subsuelo (arcillas CH de alta plasticidad y rellenos), la cimentación es de tipo profunda, mediante pilas perforadas coladas en sitio desplantadas a 13.00 m de profundidad dentro del estrato firme tipo SC (arena arcillosa de compacidad media a densa).

TABLA 4 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL PUENTE

Componente	Especificación Técnica
Tipo de estructura	Puente vehicular con trabes pretensadas prefabricadas tipo AASHTO IV y losa de compresión de concreto reforzado sobre subestructura rígida.
Longitud total (Claro)	29.95 m de cruce sobre el cauce (claro de diseño de 30.00 m libres entre apoyos).
Ancho total	9.60 m a 9.80 m de sección transversal.
Ancho de calzada	7.00 m (Dos carriles de circulación vehicular).
Espesor de losa	0.40 m (Peralte constante).
Elevación de rasante	Cota de fondo de cauce en +2,175.45 m s. n. m., cota de intradós en +2,180.45 m s. n. m. y elevaciones medias de terreno entre +2,178.50 y +2,180.00 m s. n. m.
Superficie de rodamiento	Carpeta de concreto asfáltico de 0.05 m (5 cm) de espesor.
Carga de diseño	Camión de diseño HS-20 / Momento de carga viva IMT 66.5 (conforme a normativa SCT y AASHTO LRFD).

El proyecto cuenta con las siguientes dimensiones:

TABLA 5 DIMENSIONES DEL PROYECTO.

Longitud de proyecto (Puente y accesos):	174.36 m
Longitud de acceso vial oeste:	76.248 m
Longitud de tramo de puente (cruce):	29.950 m
Longitud de acceso vial este:	68.168 m

1.4.4 Características del área del proyecto

El sitio del proyecto se localiza en un entorno semiurbano y de transición rural altamente modificado por actividades agrícolas y asentamientos consolidados del municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala. El área de intervención comprende el cruce del Río Zahuapan / Barranca de Sánchez y sus accesos viales inmediatos sobre el Camino a Dolores.

A partir de los recorridos de campo, el levantamiento topográfico, el análisis hidrológico y los estudios de mecánica de suelos, se determinaron las siguientes características del sitio:

Uso de suelo y contexto urbano

El entorno inmediato del proyecto está conformado por una zona de transición semiurbana donde conviven viviendas de tipo rural y construcciones de mampostería (principalmente hacia el margen norte del camino) con áreas de cultivo, parcelas de riego, temporal y caminos de uso comunitario (hacia el sur y este). El Camino a Dolores constituye una Vía General de Comunicación y punto estratégico para la movilidad local, al conectar la zona agrícola de la propiedad ejidal y pequeña propiedad con el ejido de Xicohtzinco y la cabecera municipal. No es viable la demolición de la estructura previa debido a que por debajo de ella cruza una línea de conducción de agua potable que abastece a la comunidad, por lo que el uso real de la franja directa es de Zona Federal y vialidad de cruce.

Geomorfología y edafología:

Topográficamente, el sitio presenta un relieve ligeramente ondulado con pendientes suaves que descienden hacia el cauce del Río Zahuapan y la Barranca de Sánchez, los cuales forman un vaso receptor de escurrimientos pluviales con taludes erosionados. De acuerdo con el Estudio de Mecánica de Suelos (sondeos SPT-1 y SPT-2), el subsuelo presenta una estratigrafía heterogénea:

- En la parte previa y superficial del Sondeo 2, se identificó un estrato de relleno artificial de 0.00 a 1.20 m de profundidad (posible base hidráulica o material de construcción).
- Los estratos superiores y medios (hasta los 10.80 m) presentan variaciones que van desde arcillas de alta plasticidad (CH) de consistencia muy blanda a firme en un margen, hasta material de arena arcillosa (SC) de compacidad suelta y susceptible a saturación en el otro.
- Por debajo de los 10.80 m emergen las arenas arcillosas competentes de compacidad media a densa (SC), sobre las cuales se desplantará la cimentación profunda a 13.00 m de profundidad.

Condición hidráulica del río Zahuapan y Barranca de Sánchez:

El cuerpo de agua que atraviesa el sitio pertenece a la subcuenca Atoyac-Zahuapan (RH18Ad). En el punto de cruce, se presentan las siguientes condiciones:

- Comportamiento hidráulico: Corresponde a una corriente intermitente de escurrimiento temporal que permanece seca gran parte del año, pero incrementa su caudal de forma rápida y significativa durante la temporada de lluvias (junio a septiembre), transportando flujos con sedimentos y generando crecientes rápidas.
- Limitación de la infraestructura existente: El puente actual opera sobre una superficie de terracería sin carpeta de rodadura, con deformaciones, ancho insuficiente de un solo carril y parapetos deteriorados con fisuras y desprendimientos. Esta condición actúa como un cuello de botella que restringe el paso del flujo vehicular, reduce el nivel de servicio y genera riesgos de desbordamiento, remanso y socavación sobre los taludes durante avenidas extraordinarias.

Vegetación y flora:

La cobertura vegetal en el área del proyecto está compuesta por vegetación de ribera y matorral alterado por la proximidad a zonas habitacionales y actividades agrícolas.

- Estrato herbáceo y arbustivo: Predominan extractos herbáceos, matorrales y vegetación ribereña en los márgenes y taludes del cauce.

Condiciones de Riesgo e Inseguridad en el Sitio:

En la franja del puente actual y sus accesos inmediatos se observan factores de riesgo funcional y ambiental:

- Ausencia total de carpeta de rodadura (superficie de terracería suelta con irregularidad longitudinal severa, $IRI \approx 11.0$ m/km).
- Falta total de señalamiento vial (horizontal, vertical y preventivo) y ausencia de drenaje superficial.
- Parapetos laterales de concreto deteriorados con huecos.
- Acumulación de humedad y material suelto en época de lluvias, lo que incrementa el riesgo de derrapes, salidas de camino hacia el cauce y afectación al tránsito local.

FIGURA 5 SITIO DE PROYECTO (ESTADO ACTUAL DEL PUENTE "LA TORRECILLA")





FIGURA 6 SITIO DE PROYECTO (VISTA HACIA EL RÍO DESDE EL PUENTE)



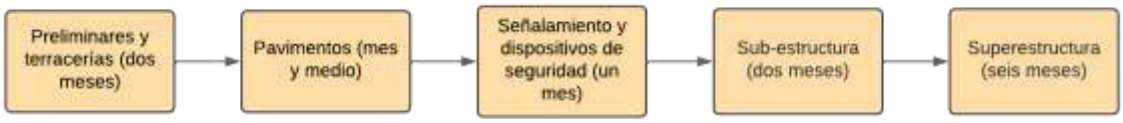
FIGURA 7 SITIO DE PROYECTO (VEGETACIÓN PRESENTE EN EL ÁREA)



1.4.5 Programación

La duración total estimada del proyecto será de 7 meses, dividida en las siguientes actividades:

FIGURA 8 DIAGRAMA DE FLUJO DE ACTIVIDADES



1.4.6 Estudios de campo y gabinete

Para el sustento técnico, estructural, hidráulico y socioeconómico de la construcción del Puente Vehicular "La Torrecilla", se llevaron a cabo estudios específicos integrando metodologías normadas de campo y análisis de gabinete. Los informes ejecutivos y memorias de cálculo en extenso se integran en los Anexos correspondientes del presente documento.

Estudio topográfico y fotogramétrico

- Metodología y selección de puntos
  - Metodología de campo: Levantamiento aerofotogramétrico mediante vehículo aéreo no tripulado (Dron DJI Matrice 4) equipado con receptor GNSS multiconstelación, combinado con mediciones directas de precisión centimétrica empleando receptor GPS/GNSS RTK multibanda (Emlid Reach RS2+).
  - Diseño y tamaño de muestra: Establecimiento estratégico de Puntos de Control Terrestre (GCPs) repartidos homogéneamente en la zona de estudio, vinculados a la red geodésica y orientados bajo el sistema de coordenadas UTM. Se fijaron 10 Bancos de Nivel (B.N.) y mojoneras de referencia.
  - Fecha de ejecución de campo: 20 de octubre de 2025.

- Resultados obtenidos
  - Generación de productos cartográficos digitales: Ortomosaico georreferenciado, Nube de Puntos Densa, Modelo Digital de Superficie (MDS) y Modelo Digital del Terreno (MDT).
  - Representación geométrica del cauce y accesos a lo largo de un corredor de 174.366 m.
  - Determinación de cotas críticas: cota del fondo del cauce (+2,175.45 m s. n. m.) e intradós del puente (+2,180.45 m s. n. m.).

Estudio de mecánica de suelos y geotecnia

- Metodología y muestreo en campo
  - Metodología de exploración: Ejecución de sondeos mecánicos de Penetración Estándar (SPT) a rotación según la norma ASTM D1586, utilizando una perforadora Longyear 34 con barril NQ (diámetro exterior de 76.1 mm) y muestreador de tubo partido hincado con martinete de 63.5 kg desde una altura de 76.2 cm.
  - Diseño y sitios de muestreo: Obtención de muestras alteradas e inalteradas cada 0.60 m de profundidad o al cambio de estrato. Se seleccionaron dos puntos estratégicos de exploración puntual (SPT-1 y SPT-2) ubicados en los sitios proyectados para los apoyos estructurales del puente

Ensayes de laboratorio

Las muestras recuperadas se sometieron a ensayes bajo normatividad ASTM y NMX-ONNCCE:

- Pruebas Índice: Clasificación SUCS, contenido natural de agua (w), límites de Atterberg (límite líquido LL, límite plástico LP, índice de plasticidad IP) y porcentaje de finos por malla No. 200.

  - Pruebas mecánicas: Compresión simple (q_u), compresión triaxial no consolidada no drenada (UU) y peso volumétrico (γ).
- Resultados geotécnicos
  - Estratigrafía:
    - SPT-1: Dominado por arcilla arenosa de alta plasticidad (CH) de 0.00 a 10.80 m ($w = 21\%$ a 40%), seguida por arena arcillosa (SC) de compacidad media a densa de 10.80 a 15.00 m.
    - SPT-2: Presencia de relleno de 0.00 a 1.20 m. De 1.20 a 10.80 m se presenta arena arcillosa (SC) de compacidad suelta a media, y por debajo de 10.80 m emana arena arcillosa (SC) de compacidad firme/densa.
  - Cimentación recomendada: Cimentación profunda mediante pilas perforadas coladas en sitio desplantadas a 13.00 m de profundidad en el estrato SC. Requiere el uso de ademe metálico recuperable de 0.00 a 10.80 m.
  - Capacidad de carga y asentamientos: Capacidad admisible total por pila ($R = C_p + C_f$) variable de 110 t a 256 t en zona SPT-1 y de 161 t a 372 t en zona SPT-2 para diámetros de 0.80 m a 1.50 m. El asentamiento elástico máximo estimado es de 1.92 cm , situándose dentro de los límites permisibles.

Estudio hidrológico e hidráulico

- Metodología de análisis
  - Caracterización fisiográfica: Delimitación de la cuenca aportante a partir de cartografía digital del INEGI procesada en software CAD. La cuenca abarca una superficie de 68.907 km^2, perteneciendo a la subcuenca Río Atoyac-San Martín Texmelucan (RH18Ad). El cauce principal mide 15,847 m con pendiente media del 0.715% y suelo 100% Cambisol Eútrico (Tipo C).
  - Análisis climatológico y estadístico: Procesamiento de datos de lluvia máxima en 24 horas de la estación climatológica Zacatelco (Clave 29169) con registro histórico (1995-2024). Ajuste estadístico de distribuciones de probabilidad (Normal, Log-Normal, Pearson Tipo III y Gumbel), seleccionando la función Gumbel por presentar el menor Error Cuadrático Mínimo ($C = 8.627$).
  - Escorrentía y caudales de diseño: Tiempo de concentración estimado por Kirpich ($T_c = 223.57$ min). Estimación de escurrimientos aplicando el método SCS-CN (Servicio de Conservación de Suelos, $CN = 70$) corregido por humedad antecedente y evaluación mediante el Método Racional Americano (MRA), Método Racional Americano Unitario (MRAU) e Hidrograma Unitario Adimensional (USSCS).
  - Modelación hidráulica: Modela en software HEC-RAS 6.5 (unidimensional y bidimensional) con 7 secciones transversales levantadas cada 20 m sobre

un tramo de 120 m. Coeficiente de rugosidad de Manning $n = 0.030 - 0.045$ en cauce y $0.035 - 0.050$ en llanuras.

Comportamiento hidráulico en HEC-RAS

- Régimen de flujo: Subcrítico turbulento.
- Niveles de agua simulados: Para $Q_{50} = 174.054$ m^3/s y $Q_{100} = 201.73$ m^3/s, se estimó un tirante máximo de 3.45 m aguas arriba.
- Evaluación del sitio: Los resultados del modelo confirman la insuficiencia hidráulica y el riesgo de remanso del puente actual, justificando técnicamente la elevación de la rasante y el diseño geométrico de la nueva estructura.

1.4.7 Preparación del sitio y construcción

El diseño contempla obras de infraestructura, subestructura, superestructura, acabados y señalética vial, así como trabajos complementarios y de protección hidráulica para garantizar la correcta operación y durabilidad de la estructura por una vida útil proyectada mayor a 50 años.

1.4.7.1 Trabajos preliminares

El inicio de las actividades requiere la delimitación del área de influencia directa, que abarca una longitud geométrica de 174.366 m (29.95 m de puente y 144.416 m de accesos viales este y oeste) por un ancho de 9.60 m, sumando una superficie proyectada de 1,673.91 m^2.

- Desmonte y limpieza: Se realizará el retiro de la capa vegetal y del arbolado de mediano porte existente por medios mecánicos. Los trabajos se estructuran en cuatro fases: tala de árboles, roza de extractos herbáceos, desenraíce (extracción de troncos/tocones) y limpia. El material resultante del derribo vegetal que sea aprovechable será donado a los vecinos de la zona fuera del área del proyecto.
- Trazo y nivelación: Se empleará equipo de topografía de alta precisión (estación total, receptores GPS/GNSS RTK multibanda Emlid Reach RS2+ y fotogrametría aérea con dron DJI Matrice 4) para el replanteo de los ejes y bancos de nivel. Es crítico controlar los niveles de desplante y verificar las cotas del proyecto: cota de fondo de cauce en +2,175.45 m s. n. m., cota de intradós en +2,180.45 m s. n. m. y cota de rasante previa.
- Despalme y excavación en caja: Se ejecutará el despalme de material vegetal en capas de 10 cm y excavación de cajas para desplante de terraplenes sobre el terreno natural por un volumen de 60 m^3.
- Conservación de la estructura previa: A diferencia de otros proyectos viales, la estructura del puente existente no será demolida. Esto se debe a

que por debajo del puente actual atraviesa una línea de conducción de agua potable activa que abastece a la comunidad de Xicohtzinco. En consecuencia, el nuevo puente vehicular se construirá de manera paralela y adyacente a la estructura actual para mantener ininterrumpida la operación del sistema de agua potable.

- Manejo inmediato de material de desecho: El material producto del despalme, cortes y excavaciones en caja será cargado con equipo mecánico a camiones volteo, los cuales serán cubiertos obligatoriamente con lonas para su acarreo directo hacia un banco de tiro/desperdicio debidamente autorizado por la autoridad competente.

1.4.7.2 Excavación y Movimiento de Tierras

De acuerdo con el estudio de mecánica de suelos, el subsuelo presenta una elevada variabilidad. En los estratos superiores y medios (de 0.00 a 10.80 m) predominan arcillas de alta plasticidad (CH) de consistencia muy blanda a firme en un margen, y material de relleno artificial (0.00 a 1.20 m) seguido de arenas arcillosas (SC) de compacidad suelta en el otro, resultando inadecuados para cimentaciones superficiales convencionales.

- Excavación en cajas para apoyos: Se proyectan excavaciones mecánicas en caja en ambos extremos del cauce hasta donde lo indiquen las brigadas topográficas para la proyección de los apoyos y cabezales.
- Formación de cortes y terracerías: Se realizarán los cortes en el terreno natural empleando maquinaria pesada (tractor D-7 y motoconformadora) para ir perfilando las capas que conformarán la estructura de ambos puntos de acceso.
- Estabilidad y seguridad: Dado que las excavaciones y cortes se realizarán en un entorno semiurbano/rural con presencia de nivel freático a 3.00 m de profundidad y suelos susceptibles a saturación, se utilizarán ademes metálicos y métodos de estabilización de paredes durante las maniobras de perforación y excavación profunda.

1.4.7.3 Manejo Hidráulico Temporal y Control en el Cauce

Dado que el proyecto se ubica sobre el cauce intermitente del Río Zahuapan y la Barranca de Sánchez, y considerando que durante la temporada de lluvias (junio a septiembre) se pueden presentar crecientes rápidas con tirantes máximos de hasta 3.45 m, se implementará un protocolo de manejo hidráulico temporal:

- Aislamiento del área de trabajo: Se conformarán bordos de protección temporal o ataguías con material inerte en la zona de intervención para mantener secas las áreas de maniobra y perforación de las pilas de cimentación, garantizando que el flujo base del Río Zahuapan circule por la sección libre del cauce sin ser obstruido totalmente.

- Achique y control de infiltraciones: Debido a la presencia del Nivel de Aguas Freáticas (NAF) detectado a 3.00 m de profundidad en los sondeos de campo, las infiltraciones de agua hacia las zonas de trabajo serán achicadas mediante bombeo. El agua extraída no se vertirá con sedimentos directamente al río; se conducirá a fosas/cárcamos de sedimentación temporal para decantar los sólidos en suspensión antes de su reincorporación al flujo o uso en riego para mitigación de polvos.
- Protección del cauce y retiro de obras temporales: Concluidas las estructuras de la subestructura por encima del nivel de avenidas, se retirarán los elementos de protección temporal para restituir las condiciones hidráulicas y la morfología natural del lecho del río.

1.4.7.4 Cimentación

Para Debido a la presencia de estratos blandos y arcillosos hasta los 10.80 m de profundidad y al riesgo de socavación por el flujo del río, la solución geotécnica adoptada consiste en una cimentación profunda mediante pilas perforadas coladas en sitio desplantadas en el estrato competente.

- Profundidad de desplante: Las pilas se desplantarán a una profundidad de 13.00 m, penetrando en el estrato de arena arcillosa (SC) de compacidad media a densa.
- Proceso de perforación y ademado:
  - La perforación se ejecutará con equipo mecánico especializado a rotación hasta alcanzar los 13.00 m.
  - Se colocará un ademe metálico recuperable entre los 0.00 y 10.80 m de profundidad para evitar colapsos o derrumbes de las paredes formadas por materiales sueltos o cohesivos blandos.
  - Limpieza rigurosa del fondo del barreno para retirar el material suelto y verificar el estrato de apoyo firme.
- Armado y colado de pilas:
  - Colocación inmediata de la canasta de acero de refuerzo con separadores para asegurar el recubrimiento estructural.
  - Vaciado continuo de concreto mediante el método *Tremie*, manteniendo la tubería embebida al menos 1.0 m dentro del concreto fresco y utilizando un tapón deslizante para evitar la contaminación del concreto.
  - Retiro del ademe metálico y descabece del concreto contaminado en la parte superior de la pila (retirando manualmente los últimos 20 cm con maceta y cincel para proteger el concreto sano).
- Capacidad de carga y asentamientos: Las pilas (con diámetros de 0.80 m a 1.50 m) ofrecen capacidades de carga admisibles totales de 110 t a 256 t por pila en la zona SPT-1 y de 161 t a 372 t en la zona SPT-2, con

asentamientos elásticos máximos estimados de apenas 1.92 cm, situándose dentro de los rangos permisibles.

1.4.7.5 Construcción de Subestructura y Superestructura

Subestructura

- Cabezales, estribos y caballetes: Armado y colado en sitio de los muros de estribo, pilas intermedias, caballetes y cabezales de concreto reforzado.
- Apoyos estructurales: Instalación de dispositivos de elastómero tipo neopreno sobre los cabezales para el libre apoyo y adecuada transmisión de cargas dinámicas hacia la subestructura.

Superestructura

- Trabes pretensadas prefabricadas: Suministro, transporte e hincado/montaje de 6 trabes prefabricadas pretensadas tipo AASHTO IV (longitud de 30.00 m).
- Diafragmas y losa de compresión:
  - Armado y colado de diafragmas de concreto para dar rigidez transversal.
  - Colado *in situ* de la losa de compresión de concreto reforzado de 0.20 m (20 cm) de espesor con resistencia a la compresión $f'c = 300$ kg/cm^2.
  - Se colocará acero de refuerzo $f_y = 4200$ kg/cm^2 (incluyendo varillas No. 4, 15 cm y 20 cm).
  - Aplicación de vibrado mecánico para evitar oquedades y curado controlado para prevenir agrietamientos por contracción plástica.
- Parapetos de concreto: Construcción de parapetos laterales de concreto reforzado con un peso de 0.55 ton/m como elemento de retención vehicular y seguridad.

1.4.7.6 Obras Complementarias y Acabados

- Terracerías en accesos norte y sur: Conformación de los terraplenes de acceso en capas de 30 cm de espesor, empleando equipo de compactación como compactador pata de cabra (815), vibro-compactador, motoconformadora y camiones pipa de agua (~4,000 litros por riego). Se alcanzarán grados de compactación del 90%, 95% y 100% a nivel subrasante.
- Pavimentación: Tendido y compactación de la carpeta asfáltica de rodadura con un espesor de 0.05 m (5 cm) sobre la losa del puente y sobre los accesos viales este (68.168 m) y oeste (76.248 m).
- Drenaje pluvial y protección de taludes: Construcción de guarniciones, bordillos, cunetas y sistemas de gárgolas/pasos de agua para el desalojo

pluvial de la calzada. Construcción de obras de disipación hidráulica y protección de taludes para prevenir erosión y socavación.

- Señalamiento vial horizontal y vertical: Pintura de tráfico y marcas termoplásticas/epóxicas sobre la superficie de rodamiento (líneas continuas, separación de carriles), e instalación de placas de señalamiento vertical de tipo preventivo e informativo.
- Pruebas de calidad y limpieza final: Ejecución de pruebas de integridad estructural e indirectas sobre las pilas coladas, descabece y retoques finales, retiro total de instalaciones provisionales (generadores portátiles, sanitarios portátiles) y limpieza general de la obra para su entrega final.

1.4.8 Memoria de Cálculo

A) Consumo de Energía Eléctrica

- Construcción: El proyecto no se conectará a la red municipal. El suministro de energía para vibradores, cortadoras y equipos menores se realizará mediante plantas portátiles a gasolina/diésel. Total: 0 kWh.
- Operación: El puente no incluye alumbrado independiente (se asume luz pública municipal existente). Total: 0 kWh.

B) Consumo de Agua

- Uso sanitario y consumo de personal: 35 trabajadores × 20 litros/día × 150 días hábiles = 105,000 litros (105 m³).
- Control de polvos y riegos: 1 pipa de 4,000 litros/día × 150 días = 600,000 litros (600 m³).
- Procesos constructivos (mezclas, curados, limpieza): Volumen estimado de 95 m³.
- Total Construcción: 800 m³. (El agua se comprará a piperos autorizados, no se extraerá del río).

C) Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)

- Construcción: Se estima un consumo aproximado de 30,000 litros de diésel para maquinaria pesada (perforadora, tractor D-7, camiones revolvedores). Utilizando el factor de emisión estándar de la EPA/SEMARNAT (aprox. 2.68 kg de CO_2 por litro de diésel):

30,000 L × 2.68 kg CO_2/L = 80,400 kg de CO_2.

- Total Construcción: 80.4 Toneladas de CO_2eq.

D) Generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

- Construcción: Según el estándar de generación en obra (0.75 kg/persona/día): 35 trabajadores × 0.75 kg/día × 150 días = 3,937.5 kg.
- Total Construcción: 3.94 Toneladas.

E) Generación de Residuos de Manejo Especial (RME)

- Material de despalme/excavación: 60 m³ (dato del documento).
- Lodos de perforación y rezaga (pilas a 13 m): Estimando pilas de 1m a 1.5m de diámetro, se calculan aprox. 100 m³ de material de excavación/lodos.
- Pedacería de concreto, madera de cimbra y acero: Estimado en 40 m³.
- Total Construcción: 200 m³.

F) Generación de Residuos Peligrosos (RP)

- Construcción: El mantenimiento mayor de maquinaria se hará en talleres externos. En sitio solo se generarán estopas impregnadas, envases de lubricantes, aceites menores y latas de pintura vial o epóxicos.
- Total Construcción: 150 kg.

G) Descargas de aguas residuales

- Construcción: Se utilizarán 4 sanitarios portátiles (aprox. 1 por cada 10 trabajadores). El agua residual (105 m³ calculados en el rubro B) será recolectada por la empresa proveedora de los sanitarios. No habrá descargas al río.
- Total descargas al cuerpo receptor: 0 m³.

TABLA 6 TABLA RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO (FORMATO SEMARNAT)

Concepto	Preparación del sitio y construcción (cantidad y unidades)	Operación (cantidad y unidades)
Consumo de energía eléctrica	0 kWh (Uso de generadores portátiles a combustión)	0 kWh
Consumo de agua	800 m³ (Suministro mediante pipas externas autorizadas)	0 m³
Emisiones de gases de efecto invernadero	80.4 Toneladas de CO_2 eq (Por quema de diésel en maquinaria)	N/A (Solo tránsito vehicular del aforo regional)
Aprovechamiento de otros recursos naturales	N/A (Materiales pétreos provenientes de bancos autorizados)	N/A

Concepto	Preparación del sitio y construcción (cantidad y unidades)	Operación (cantidad y unidades)
Generación de residuos Peligrosos	150 kg (Estopas impregnadas, envases de pintura y aceites menores)	N/A
Generación de residuos de Manejo especial	200 m³ (Material de excavación, lodos de perforación y escombro)	N/A (Mantenimiento menor periódico)
Generación de residuos Sólidos urbanos	3.94 Toneladas (Basura doméstica de la plantilla laboral)	N/A (Mantenimiento menor periódico)
Descargas de agua residual y/o de proceso, indicando el cuerpo receptor y la ubicación…	0 m³ al cuerpo receptor. Se generarán 105 m³ confinados en sanitarios portátiles, cuyo desazolve y disposición final será realizado por una empresa contratista autorizada.	N/A
Otros en su caso (especificar)	Generación de polvos fugitivos (PST) controlados mediante 600 m³ de agua de riego	N/A

1.4.9 Operación y mantenimiento

Dada la naturaleza de la infraestructura (obra civil vial de paso continuo con una vida útil proyectada superior a los 50 años), durante esta fase no se prevé la instalación de maquinaria, equipos fijos ni procesos que generen emisiones a la atmósfera, descargas de aguas residuales de proceso o generación continua de residuos peligrosos.

Las actividades operativas se circunscriben al flujo de vehículos sobre el arroyo vehicular y al paso de peatones sobre las banquetas y elementos de confinamiento. El uso cotidiano de la estructura no genera impactos ambientales adicionales significativos respecto a los identificados en la etapa de construcción, siempre y cuando se dé cumplimiento a los esquemas de conservación y mantenimiento preventivo y correctivo

Etapa	Actividad específica	Objetivo técnico	Frecuencia	Consideraciones ambientales
Mantenimiento preventivo	Limpieza de superficie de rodamiento, banquetas y accesos	Conservar condiciones seguras de tránsito y evitar acumulación de azolve	Trimestral	Recolección y disposición adecuada de RSU; prohibición estricta de vertido de barridos al cauce.
	Retiro de basura, maleza y sedimentos en el área bajo la estructura	Mantener la sección y capacidad hidráulica del diseño	Trimestral o después de lluvias	Desazolve manual preferente; prevención de obstrucciones o remansos en la zona federal.
	Deshierbe y control de vegetación en márgenes y taludes adyacentes	Prevenir erosión, socavación y pérdida de visibilidad	Trimestral	Control mecánico/manual exclusivamente. Queda prohibido el uso de herbicidas o defoliantes químicos.
	Limpieza y conservación de señalética vial (horizontal y vertical)	Garantizar la visibilidad, canalización y seguridad del usuario	Semestral	Manejo y disposición adecuada de envases, solventes y estopas usadas.
Mantenimiento correctivo	Reparación de banquetas, guarniciones, parapetos o accesos deteriorados	Mantener la accesibilidad, contención y estabilidad de la vía	Según se requiera	Empleo de materiales compatibles; confinamiento de escombros sin afectación al cauce o suelo.
	Rehabilitación y renivelación de pintura en señalización horizontal/vertical	Restablecer las condiciones de seguridad vial	Anual	Aplicación controlada para evitar derrames de pintura o solventes sobre el suelo o el cuerpo de agua.

Etapa	Actividad específica	Objetivo técnico	Frecuencia	Consideraciones ambientales
	Revisión e inspección estructural de losas, trabes pretensadas, cabezales y pilas	Detectar fisuras, fatiga, socavación en pilas o asentamientos	Semestral y posterior a eventos hidrometeorológicos extraordinarios	En caso de hallazgos, se activarán protocolos de reparación controlada con bajo impacto al medio físico.
	Retiro de palizada y palototera (arrastres volumétricos por crecientes)	Evitar empaquetamiento de vegetación en las pilas y mantener el flujo continuo	Después de lluvias intensas	Retiro por medios mecánicos/manuales ligeros sin alterar la geometría natural del cauce.
Medidas ambientales permanentes	Monitoreo de escurrimientos, estabilidad de taludes y control de contaminación	Prevenir impactos acumulativos sobre el cuerpo de agua y la vegetación de ribera	Permanente	Cumplimiento con la normativa de la Comisión Nacional del Agua en zona federal.

1.4.10 Etapa de abandono del sitio

Dada la naturaleza de la infraestructura vial propuesta (obra civil pesada con cimentación profunda mediante pilas a 13 m y superestructura de concreto pretensado), la vida útil proyectada del puente es superior a los 50 años. Al tratarse de una obra pública destinada a garantizar la conectividad comunitaria permanente sobre el Río Zahuapan, el proyecto no contempla una fecha de abandono a corto o mediano plazo. Las actividades de abandono incluirían:

- Clasificación, carga y retiro de escombros a sitios de disposición final autorizados.
- Limpieza del cauce del Río Zahuapan para la restitución de su capacidad hidráulica original.
- Reconformación topográfica de accesos y revegetación de taludes con especies nativas para prevenir la erosión hídrica.

1.4.11 Utilización de explosivos

No se utilizarán explosivos en ninguna de las etapas constructivas.

1.4.12 Generación, manejo y disposición de residuos sólidos, líquidos y emisiones a la atmosfera

Durante el desarrollo de la etapa de preparación del sitio y construcción, se generarán residuos sólidos urbanos (RSU) y residuos de manejo especial (RME), así como descargas sanitarias y emisiones a la atmósfera asociadas a la maquinaria y movimientos de tierra.

TABLA 7 ESTIMACIÓN Y MANEJO DE RESIDUOS GENERADOS

Tipo de Residuo	Origen	Cantidad Estimada	Manejo y Disposición Final
Material vegetal (Desmonte)	Trabajos de tala, desenraíce y limpia del área de losas de aproximación.	Baja (reducido arbolado existente).	Los productos del derribo y desmonte serán donados a los vecinos de la zona fuera del área del proyecto.
Suelo de despalme y capa vegetal	Despalme mecánico en capas de 10 cm sobre terreno natural.	60 m^3 aproximados	Retiro y acarreo inmediato en camiones cubiertos con lona hacia el banco de desperdicio autorizado.
Material de excavación en caja	Excavación mecánica para desplante de terraplenes, cabezales y estructura de apoyos.	Variable	Acarreo directo en camiones de volteo protegidos con lona hacia banco de desperdicio con autorización vigente.

Tipo de Residuo	Origen	Cantidad Estimada	Manejo y Disposición Final
Desperdicios de madera y cimbra	Habilitado y corte de cimbra de madera de contacto para infraestructura y subestructura.	Variable	Acopio temporal en sitio; reutilización en habilitado secundario o retiro por el contratista. Prohibición estricta de quema.
Acero de refuerzo (Sobrantes)	Cortes de varilla y armado de canastas de refuerzo para pilas (13 m) y cabezales.	Baja	Clasificación y almacenamiento temporal para su venta o entrega a plantas recicladoras de metal.
Residuos sólidos urbanos (RSU)	Actividades del personal técnico y administrativo (alimentos, empaques, papel).	Baja (calculada para una plantilla mínima de 35 personas).	Acopio diario en contenedores con tapa y entrega periódica al servicio municipal de limpia de Xicohtzinco.
Envases y materiales de pintura/señalamiento	Trabajos complementarios de aplicación de pintura y señalamiento	Etapa final (baja)	Manejo como RME/RP; acopio en área delimitada y envío a receptores autorizados.

1.4.13 Generación de gases de efecto invernadero

Dado que el proyecto consiste en un puente vehicular y peatonal de paso continuo, durante la etapa de operación no se prevé la instalación de fuentes fijas ni procesos industriales que generen emisiones directas de GEI o contaminantes a la atmósfera.

Fuentes de emisión y maquinaria utilizada

Las emisiones derivadas de la combustión interna de motores diésel y gasolina provendrán de la operación del parque vehicular, equipo mecánico pesado y fuentes de energía portátiles indispensables para la obra:

- Maquinaria pesada para terracerías y accesos: Tractor sobre orugas (D-7), motoconformadora, compactador pata de cabra (Cat 815) y vibro-compactador.
- Equipo de cimentación y estructura: Perforadora especializada para pilas a 13 m de profundidad, camiones revolvedores de concreto (trompos) y bomba para colado de concreto por método Tremie.
- Vehículos de transporte y acarreo: Camiones tipo pipa para suministro de agua y riegos (~4,000 L por aplicación), camiones de volteo para el acarreo de despalme y excavaciones a banco autorizado.

- Fuentes fijas/portátiles de combustión: Generadores eléctricos portátiles a diésel/gasolina empleados para el accionamiento de equipos de corte de acero de refuerzo y habilitado de cimbra de madera de contacto.

Estimación de emisiones de contaminantes criterio y Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Aplicando los factores de emisión estándar para motores de combustión interna pesados a diésel, se presenta el balance estimado de contaminantes criterio:

Contaminante	Emisión estimada (kg)
Óxidos de Nitrógeno (NOx)	1,050.0
Monóxido de Carbono (CO)	525.0
Hidrocarburos (HC)	150.0
Óxidos de Azufre (SOx)	7.5

Medidas de mitigación:

Para minimizar la generación de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero durante la ejecución de los trabajos, se implementarán las siguientes medidas de manejo ambiental:

Abatimiento de polvo y partículas fugitivas:

- Aplicación de riegos periódicos con agua mediante pipa (~4,000 litros por riego) en las zonas de excavación, conformación de terraplenes y vías de acceso no pavimentadas.
- Cubrimiento obligatorio con lonas de las cajas de los camiones de volteo durante el transporte de material producto del despalme y excavación hacia el banco de desperdicio.

Eficiencia energética y mantenimiento de maquinaria:

- Mantenimiento preventivo periódico (cambio de filtros de aire, afinación e inyección) de toda la maquinaria pesada y generadores portátiles fuera del sitio de obra.
- Verificación de que la maquinaria arrendada cuente con certificados vigentes de baja emisión de humos.

Control operativo del consumo de combustible:

- Prohibición estricta de mantener motores de combustión interna en marcha en vacío o ralentí cuando los equipos no estén operando activos.

- Optimización de los acarreos y planeación logística para reducir la distancia de recorrido hacia los bancos de tiro autorizados.

2 VINCULACIÓN CON LOS ORDENAMIENTOS JURÍDICOS APLICABLES EN MATERIA AMBIENTAL Y, EN SU CASO, CON LA REGULACIÓN SOBRE USO DEL SUELO

La construcción de esta obra de infraestructura vial responde a la necesidad de garantizar la conectividad y el tránsito seguro de la población entre las localidades separadas por el cauce del Río Zahuapan y la Barranca de Sánchez, de accidentes hidrográficos que actualmente constituyen una barrera física para la movilidad terrestre en la zona.

La viabilidad ambiental de cualquier obra o actividad de desarrollo de infraestructura no solo se determina por la efectividad de sus medidas de mitigación y el control de sus impactos biofísicos, sino también por su estricta concordancia y armonía con el marco jurídico-normativo que rige el territorio nacional. En este contexto, el presente capítulo tiene como objetivo fundamental demostrar la vinculación, congruencia y observancia legal del proyecto **"PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE".**

Adicionalmente, se considera que las actividades propuestas son competencia de la Federación, porque se encuentran consideradas dentro de las obras y actividades señaladas en el Artículo 28 Fracción X de la LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE que a la letra dice:

> *"Artículo 28.- La evaluación del impacto ambiental es el procedimiento a través del cual la Secretaría establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el medio ambiente. Para ello, en los casos en que determine el Reglamento que al efecto se expida, quienes pretendan llevar a cabo alguna de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización en materia de impacto ambiental de la Secretaría:*
>
> > *I.- Obras hidráulicas, vías generales de comunicación, oleoductos, gasoductos, carboductos y poliductos;*
> >
> > *X.- Obras y actividades en humedales, ecosistemas costeros, lagunas, ríos, lagos y esteros conectados con el mar, así como en sus litorales o zonas federales.*

Debido a que este proyecto se encuentra en zona federal, pues se encuentra cruzando el río Zahuapan, así que, se obliga al Ayuntamiento a tramitar el "Permiso de Obras en Cauces" ante la CONAGUA.

Así mismo, el Artículo 5 inciso B), del REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE EN MATERIA DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL, que a la letra dice:

> *"Artículo 5: Quienes pretendan llevar a cabo alguna de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización de la Secretaría en materia de impacto ambiental:*

B) VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN:

> Construcción de carreteras, autopistas, puentes o túneles federales vehiculares o ferroviarios; puertos, vías férreas, aeropuertos, helipuertos, aeródromos e infraestructura mayor para telecomunicaciones que afecten áreas naturales protegidas o con vegetación forestal, selvas, vegetación de zonas áridas, ecosistemas costeros o de humedales y cuerpos de agua nacionales

R) OBRAS Y ACTIVIDADES EN HUMEDALES, MANGLARES, LAGUNAS, RÍOS, LAGOS Y ESTEROS CONECTADOS CON EL MAR, ASÍ COMO EN SUS LITORALES O ZONAS FEDERALES:

Así mismo, se esclarece que, no habrá un Cambio de Uso de Suelo, solamente remoción de vegetación debido al proceso constructivo.

El proyecto se encuentra regulado por la legislación ambiental existente, por lo cual se vincula con las siguientes disposiciones:

2.1 Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio (POEGT)

Regionalización Ecológica

La base para la regionalización ecológica comprende unidades territoriales sintéticas que se integran a partir de los principales factores del medio biofísico: clima, relieve, vegetación y suelo. La interacción de estos factores determina la homogeneidad relativa del territorio hacia el interior de cada unidad y la heterogeneidad con el resto de las unidades. Con este principio se obtuvo como resultado la diferenciación del territorio nacional en 145 unidades denominadas unidades ambientales biofísicas (UAB), representadas a escala 1:2,000,000, empleadas como base para el análisis de las etapas de diagnóstico y pronóstico, y para construir la propuesta del POEGT.

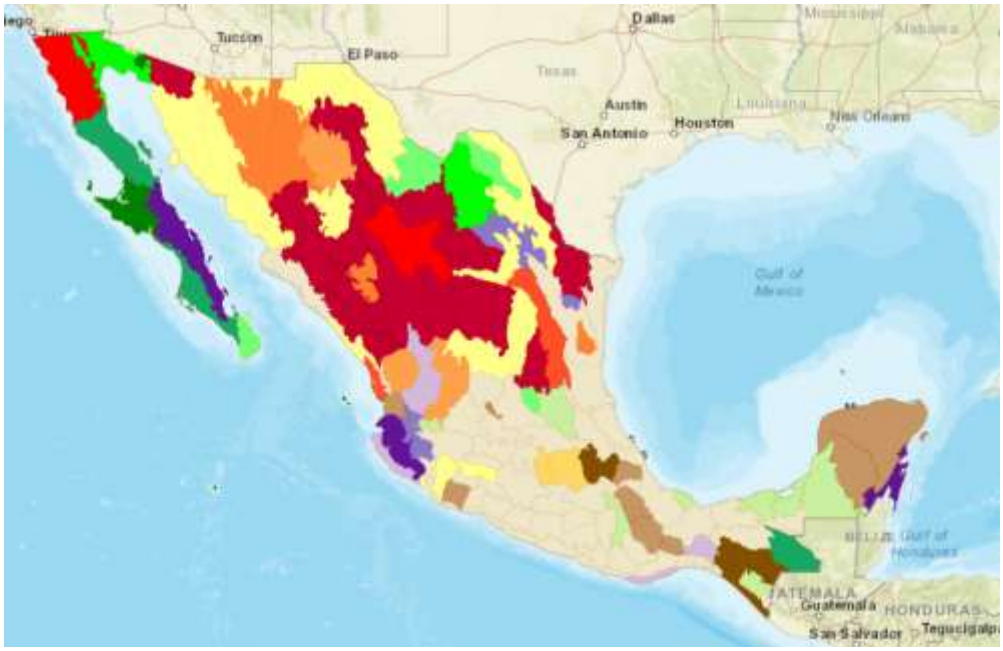
Lineamientos y estrategias ecológicas

Los 10 lineamientos ecológicos que se formularon para este Programa, mismos que reflejan el estado deseable de una región ecológica o unidad biofísica ambiental, se instrumentan a través de las directrices generales que en lo

ambiental, social y económico se deberán promover para alcanzar el estado deseable del territorio nacional.

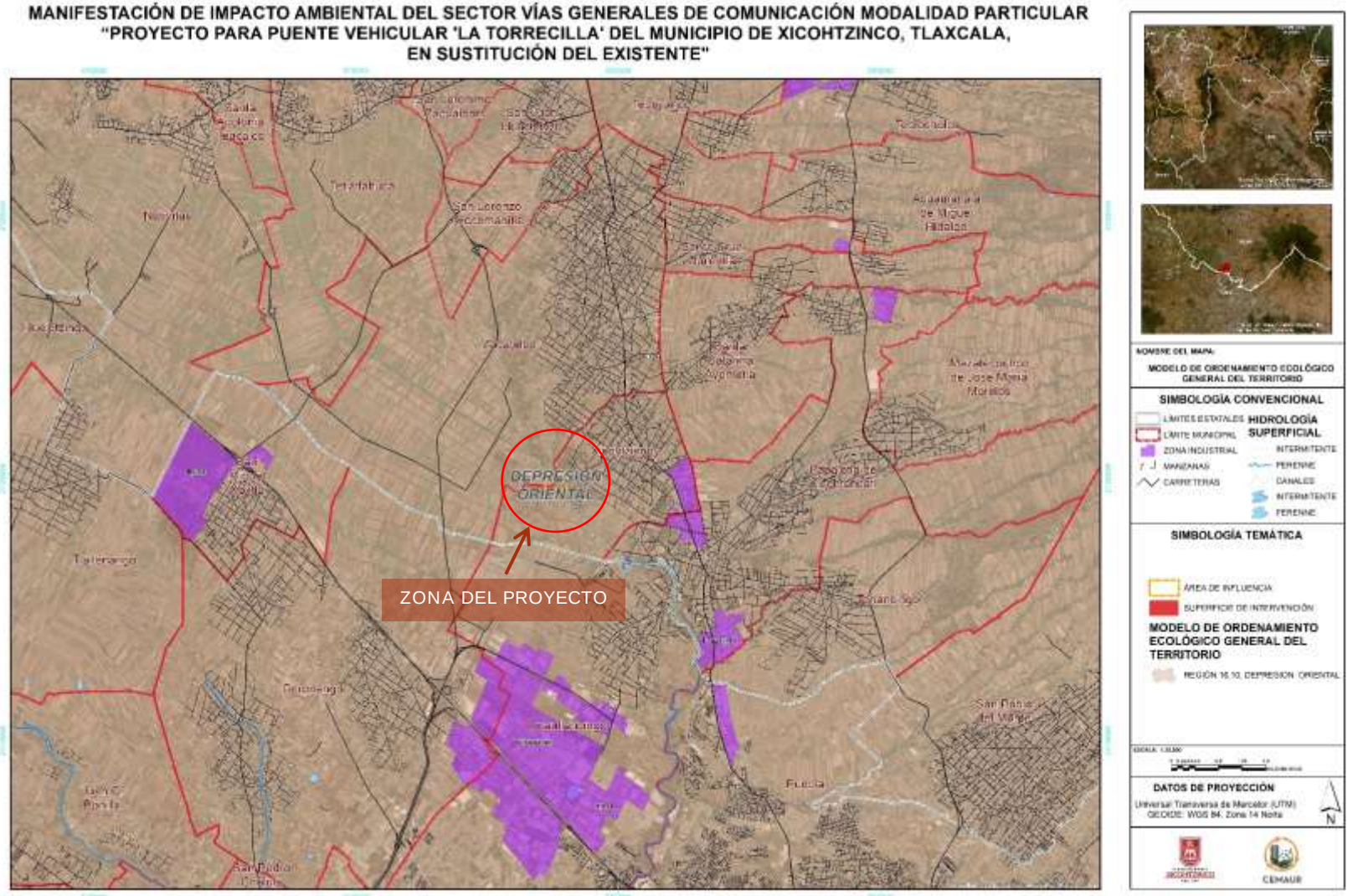
Por su parte, las estrategias ecológicas, definidas como los objetivos específicos, las acciones, los proyectos, los programas y los responsables de su realización dirigidas al logro de los lineamientos ecológicos aplicables en el territorio nacional, fueron construidas a partir de los diagnósticos, objetivos y metas comprendidos en los programas sectoriales, emitidos respectivamente por las dependencias de la APF que integran el Grupo de Trabajo Intersecretarial.

FIGURA 9 PROGRAMA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO GENERAL DEL TERRITORIO (POEGT).



Como se observa en la siguiente Figura, el predio se ubica dentro de la Región Ecológica 16.10, que corresponde a la Unidad Ambiental Biofísica 57. Depresión Oriental (de Tlaxcala y Puebla) con las siguientes características:

FIGURA 10 REG. 16.10 (UNIDAD AMBIENTAL BIOFÍSICA NO 57).



Esta región cuenta con las siguientes características:

TABLA 8 CARACTERÍSTICAS REGIÓN ECOLÓGICA 16.10.

Clave Región:	16.10.
UAB:	57.
Nombre de la UAB:	Depresión Oriental.
Rectores del Desarrollo:	Desarrollo Social y Forestal.
Coadyuvantes del Desarrollo:	Agricultura.
Asociados del Desarrollo:	Ganadería y Minería.
Otros Sectores de Interés:	CFE, Industria, Preservación de Flora y Fauna y Pueblos Indígenas.
Política Ambiental:	Restauración, Preservación y Aprovechamiento Sustentable.
Nivel de Atención Prioritaria:	Media.
Estrategias:	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 14, 15, 15 BIS, 16, 17, 19, 20, 28, 29, 31, 32, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44.

Esta región se encuentra sujeta 31 Estrategias Ecológicas contenidas en el Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio y son las siguientes:

TABLA 9 ESTRATEGIAS ECOLÓGICAS DE LA REGIÓN 16.9.

Estrategia Ecológica	Vinculación
Estrategia 31: Generar e impulsar las condiciones necesarias para el desarrollo de ciudades y zonas metropolitanas seguras, competitivas, sustentables, bien estructuradas y menos costosas.	El área donde se desarrollará el proyecto presenta una barranca de escurrimiento temporal que, durante la temporada de lluvias, incrementa su caudal de forma significativa, afectando la movilidad y la seguridad de los habitantes, por lo que, el propósito de la construcción de este puente es mejorar la conectividad entre las zonas urbanas y rurales del municipio, optimizar el tránsito vehicular y garantizar un cruce seguro sobre el cauce natural.
Estrategia 44: Impulsar el desarrollo regional mediante acciones coordinadas entre los tres órdenes de gobierno y concertadas con la sociedad civil.	Para la ejecución y planeación de este proyecto, se deberá de realizar entre el municipio, estado y federación, pues es un tema que compete a los tres órdenes de gobierno, tratándose de mejorar la movilidad con la construcción de un nuevo puente, debido a que el existente ya no cumple con las necesidades actuales de tránsito, ni requisitos hidráulicos necesarios para garantizar el paso seguro

Estrategia Ecológica	Vinculación
	durante eventos pluviales, además de realizar las gestiones requeridas entre los tres órdenes de gobierno, tanto para comenzar con la obra como para poder operar adecuadamente, debiendo contar con los permisos correspondientes.

Como podemos observar, de acuerdo con la tabla anterior, las estrategias que se vinculan con el proyecto son las estrategias 31 y 44.

2.2 Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Tlaxcala (OET)

Se pretende abordar el Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Tlaxcala (OET), buscando armonizar el desarrollo social y económico con la integridad y estabilidad de los ecosistemas, todo bajo un plan socialmente concertado donde se contemple un modelo de uso de suelo que regule y promueva las actividades productivas aplicando un manejo racional de los recursos mediante un instrumento que permita tener una visión integral de las estructuras y procesos que definen la dinámica territorial, a fin de resolver, prevenir y minimizar conflictos ambientales.

El Territorio que ocupa el Estado de Tlaxcala, es el resultado de cambios y transformaciones que le han permitido avanzar en la mejora en materia de vivienda, servicios y atención social. Como consecuencia de estos avances en materia social y económica sin prever los impactos generados por este tipo de acciones, el medio ambiente ha sido impactado de manera permanente, produciendo en muchos de los casos, repercusiones irreversibles. Los acelerados ritmos de crecimiento han provocado que las previsiones y planes hasta ahora generados, sean rebasados por la dinámica en la que se encuentra inmersa la sociedad, haciendo inoperante su implementación.

Los objetivos que se proponen en el OET, se hacen con base en un diagnóstico que describe las características y magnitud del problema ambiental del Estado de Tlaxcala; así como sus índices e indicadores.

Estos objetivos proponen la convergencia de la acción del Gobierno en sus tres órdenes de actuación, integrando la participación de los particulares y del sector social organizado, dentro de un esquema que compatibilice la protección ambiental con el desarrollo económico y desarrollo social.

Objetivos:

- Proteger, preservar, restaurar y conservar el ambiente además de aprovechar racionalmente los elementos Naturales del Estado, mediante la aplicación de la Ley de Ecología y de Protección al Ambiente, sus reglamentos y demás disposiciones relativas.
- Integrar un instrumento marco aplicable al medio ambiente y el desarrollo sustentable En el Estado de Tlaxcala, en el que concurra la acción sectorial organizada, dentro de un esquema de nacionalidad en el ejercicio de la administración general de los recursos humanos, técnicos y económicos de la entidad.
- Definir las estrategias adecuadas que permitan el avance de las políticas de desarrollo económico en correspondencia con las necesidades de protección ambiental.
- Definir las estrategias adecuadas que permitan el avance de las políticas de desarrollo económico en correspondencia con las necesidades de protección ambiental.
- Controlar y revertir en un contexto de racionalidad los severos impactos al ambiente que se han acumulado históricamente, como producto del modelo de gestión y aprovechamiento del suelo y sus recursos.
- Inducir la modificación de conductas de los agentes económicos mediante la aplicación de diversos instrumentos orientados a promover el cumplimiento de la normatividad ambiental.
- Adoptar una nueva forma de actuar en la toma de decisiones para la gestión del ordenamiento territorial y de sus recursos. Esta nueva forma considera de manera explícita y permanente dos criterios ambientales fundamentales; La vocación ecológica de la población a través de esfuerzos compartidos y de acciones concretas en las que el participante pueda observar el resultado de sus acciones. y La autorregulación como una vía en la que pueden participar los sectores productivos de la población, así como los prestadores de servicios.
- Es preciso que las acciones de gobierno sean de carácter integral y que el problema ambiental no se aborde de manera sectorizada como obligación solamente de una parte de la administración, se alentarán las acciones conjuntas para que cada uno realice lo que corresponde a su campo de acción, con un claro sentido de preservación y mejoramiento del ambiente mediante la debida coordinación.
- Se promoverá la acción coordinada y concertada con las instancias del gobierno federal, municipal y con la sociedad en su conjunto para la realización de proyectos de saneamiento y preservación, por su magnitud y ubicación, requieren de la acción conjunta de los diferentes órdenes de gobierno y de los particulares.

- Se hace necesario incentivar a las empresas y particulares, que de manera inequívoca realicen acciones en beneficio del ambiente, es condición urgente para detonar la acción del gobierno en favor de la protección ambiental. Las tecnologías de producción y las necesarias para la prestación de servicios deben adecuarse a las condiciones que demanda la sociedad en términos de calidad ambiental. Así mismo, es necesario incidir en los factores que determinan los hábitos de consumo para modificarlos en concordancia con lo que demandan las medidas para el control del deterioro ecológico. El concepto de equidad debe buscar un tratamiento diferencial para quienes realizan sus actividades en acatamiento del marco normativo ambiental, respecto de los que se mantienen en incumplimiento con éste.
- Los programas y medidas desarrolladas para contener la problemática ambiental estarán sujetos a un sistema de evaluación continua y periódica para contrastar su efectividad respecto de las metas planteadas a fin de reorientarlos, modificarlos o suspenderlos.
- La descentralización de funciones, a través de la atención de los problemas ambientales por parte de los municipios, contará con apoyo técnico y normativo de las instancias estatales de gobierno.
- Se fortalecerán los programas de educación ambiental para incidir en una mayor toma de conciencia de la sociedad tlaxcalteca, además de promover una concurrencia entre las políticas de población, de desarrollo territorial, desarrollo económico y protección al ambiente a fin de reducir las altas tasas de crecimiento social que experimenta sobre todo el centro y sur del estado, lo que llevará a converger con las políticas de desarrollo urbano y de protección ambiental a través del ordenamiento ecológico del territorio, con énfasis en las áreas urbanas, a fin de avanzar en el proceso de planeación integral del desarrollo y evitar la dispersión y eventuales antagonismos entre ambas políticas de gobierno.
- Buscar modernizar y revitalizar a la micro, pequeña y mediana industria, para mejorar los niveles de productividad y competitividad, a manera de que se puedan obtener mejores posibilidades de competir en los ámbitos nacional e internacional.
- Generar mayor número de empleos remunerativos, para proporcionar un desarrollo social más equilibrado.
- Fomentar una mayor comunicación entre el sector industrial, las instituciones de educación superior y los centros de investigación tecnológica para implementar los programas específicos de capacitación que posibiliten generar mano de obra calificada.
- Apoyar la formación y el crecimiento de la micro y mediana industria, para dotar de bienes y servicios a la industria exportadora.

ESTRATEGIAS

Como puede advertirse a través del siguiente diagnóstico, cualquier esfuerzo por integrar en el análisis la mayor cantidad de variables posibles y lograr de ellos la máxima precisión, solo podría reflejar una proporción muy limitada de todo el universo de factores que intervienen.

De esto se desprenden las siguientes estrategias:

- Promover el desarrollo de programas integrales en los que se compatibilicen de manera equilibrada el desarrollo económico y la protección ambiental.
- Fortalecer las líneas de coordinación intersectorial con los tres órdenes de gobierno y la concertación con los sectores productivos.
- Alentar el desarrollo sustentable a través de proyectos de ecología productiva.
- Fortalecer el marco normativo y promover la descentralización de funciones hacia el Estado y Municipios.
- Promover la modernización de la planta productiva y la optimización de sus procesos.
- Propiciar la distribución equitativa de los costos del control ambiental entre sectores y regiones.
- Intensificar la industrialización, incorporando y dando prioridad a empresas cuyos procesos absorban en forma intensiva la mano de obra.
- Crear órganos promotores que faciliten el establecimiento de empresas y negocios industriales, que respondan a necesidades reales de la población y que sean viables.

Políticas territoriales

La propuesta del Modelo de Ordenamiento Ecológico para el Estado de Tlaxcala se obtuvo aplicando los criterios presentados en la tabla 8.1.1, los cuales permitieron visualizar grandes zonas con características similares, las cuales posteriormente facilitaron unir las áreas obtenidas con una política similar en las Unidades de Gestión Ambiental definitivas

TABLA 10 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE POLÍTICAS

POLÍTICA	FRAGILIDAD	VULNERABILIDAD	PRESIÓN
Protección	Muy Alta Alta	Muy vulnerable Vulnerabilidad media	Media Baja

POLÍTICA	FRAGILIDAD	VULNERABILIDAD	PRESIÓN
	Media		Muy Baja
Conservación	Alta Media	Vulnerabilidad Alta Vulnerabilidad Media Poco Vulnerable	Media Baja Muy Baja
Aprovechamiento	Media Baja Muy Baja	Vulnerabilidad Media	Muy Alta Alta Media
Restauración	Muy Alta Alto Medio Bajo	Vulnerabilidad Alta Vulnerabilidad Media Poco Vulnerable	Muy Alta Alta Media

Las políticas ecológicas son un instrumento de gran utilidad para la toma de decisiones y mediante ellas es posible establecer la intensidad en el uso de los recursos, las prioridades para el fomento de las actividades productivas e incluso desincentivar algunas de ellas. De acuerdo con el Manual de Ordenamiento Ecológico (SEDUE, 1988) y otros materiales consultados podemos resumir para el Estado las siguientes políticas ecológicas:

Aprovechamiento

Política ambiental que promueve la permanencia del uso actual del suelo o permite su cambio en la totalidad de unidad de gestión ambiental (UGA) donde se aplica. En esta política siempre se trata de mantener por un periodo indefinido la función y las capacidades de carga de los ecosistemas que contiene la UGA.

Protección

Política ambiental que promueve la permanencia de ecosistemas nativos que por sus atributos de biodiversidad, extensión o particularidad merezcan ser incluidos en sistemas de áreas naturales protegidas en el ámbito federal, estatal o municipal. La utilización de los recursos naturales está sujeta a la normativa definida en el programa de manejo que sea definido por la administración del área protegida.

Conservación

Política ambiental que promueve la permanencia de ecosistemas nativos y su utilización, sin que esto último indique cambios masivos en el uso del suelo en la UGA donde se aplique. En esta política se trata de mantener la forma y función de los ecosistemas y al mismo tiempo utilizar los recursos existentes en la UGA.

Restauración

Política que promueve la aplicación de programas y actividades encaminadas a recuperar o minimizar, con o sin cambios en el uso del suelo, las afectaciones producidas por procesos de degradación en los ecosistemas incluidos dentro de la UGA. En esta política se tratan de restablecer las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales en la UGA para posteriormente asignarla a otra política ambiental.

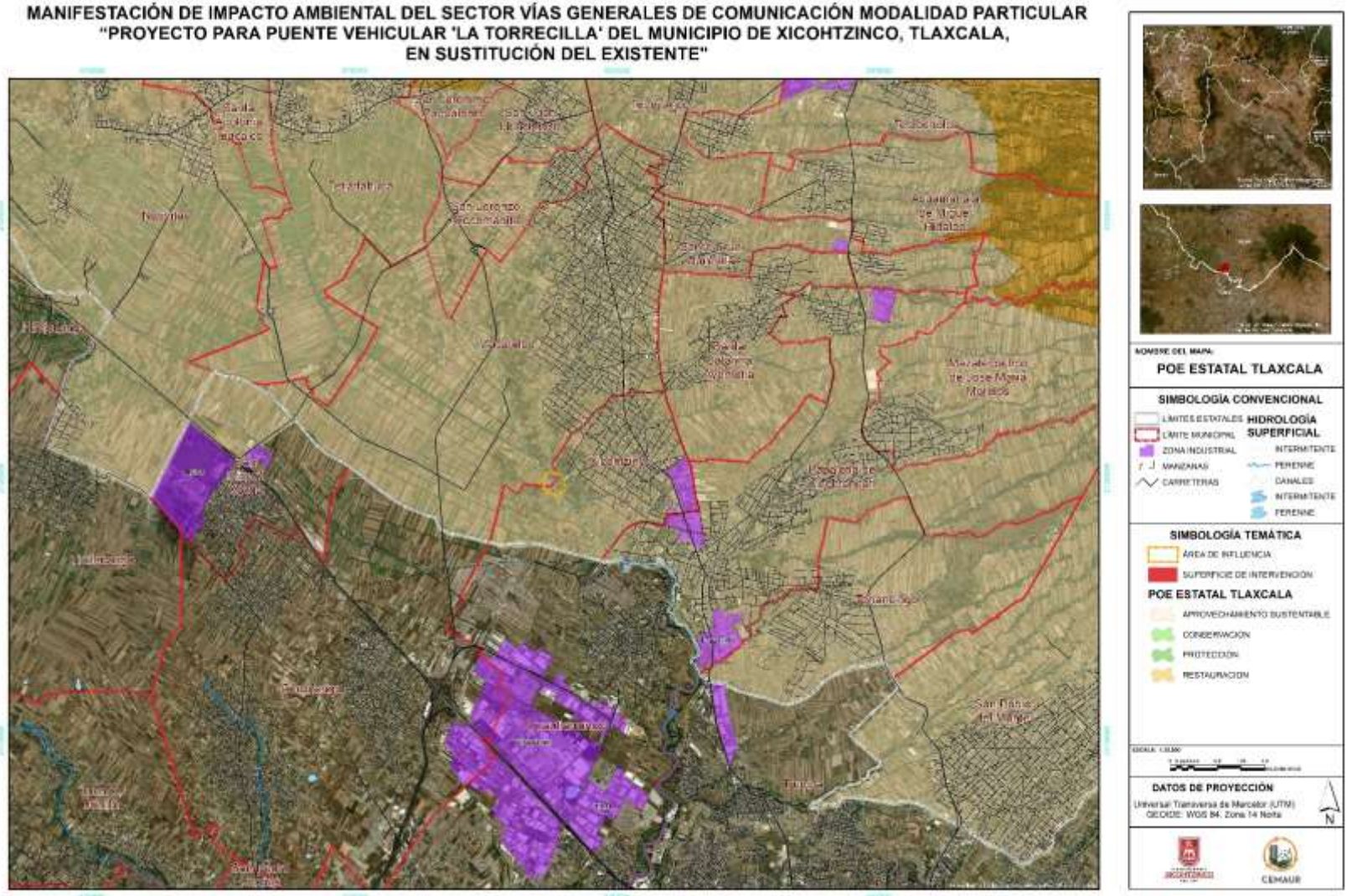
Se obtuvieron 91 UGAs de las cuales, se obtuvieron 8 con política de conservación, 14 con política de protección, 31 con política de aprovechamiento y 38 con política de restauración.

El proyecto se encuentra dentro de la UGA 40 con clave de UGA Ag3-40, que cuenta con Política de Aprovechamiento Sustentable, y a su vez, se vincula con el siguiente criterio:

TABLA 11 CRITERIOS DE REGULACIÓN ECOLÓGICA.

CRITERIO	DESCRIPCIÓN	**VINCULACIÓN**
Ag23	Se prohíbe tirar residuos, depositar envases y lavar equipos utilizados en la aplicación de plaguicidas en canales de riego u otros cuerpos de agua.	El proyecto de la construcción del puente se vincula y apega con este criterio al darle un final adecuado a los residuos generados durante la etapa de construcción.

FIGURA 11 UGA 40 CLAVE AG3-40.



2.3 Programa de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano para Estado de Tlaxcala (PEOTDUT)

Publicado en el Periódico Oficial el 4 de junio de 2013.

El Ordenamiento del Territorio (OT) es una forma planificada de abordaje y prevención de problemas relacionados con desequilibrios territoriales, la ocupación y uso desordenado del territorio y las externalidades que provoca el desarrollo ligado al crecimiento económico. Es bajo este marco, que el OT se presenta como la transferencia sobre el espacio de las políticas en todas sus etapas, desde la social, ambiental, cultural hasta la económica, las que implican definiciones de los usos y aprovechamientos del territorio.

Es por ello que el Programa de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano para el Estado de Tlaxcala (POTDUT), es un instrumento de planeación sectorial, que se elabora con el propósito de definir las estrategias y líneas de acción para conducir las políticas y acciones del Estado en materia de ordenamiento territorial y desarrollo urbano, así como para imprimir unidad y congruencia a las actividades de la Administración Pública Estatal y entidades coordinadas del sector, basado en las políticas generales establecidas en el Plan Estatal de Desarrollo 2011 - 2016. Este se formulará conforme a las disposiciones de la Ley de Ordenamiento Territorial para el Estado de Tlaxcala y la Ley General de Asentamientos Humanos, en congruencia con los programas expedidos por la federación.

Objetivo general

El Objetivo general del POTDUT, es garantizar el desarrollo sustentable y equilibrado del territorio para garantizar el bienestar de sus habitantes y la conservación de su entorno natural.

Objetivos particulares

a) Consolidar las formas de ocupación y aprovechamiento compatibles con las características del territorio.

b) Prevenir, controlar y en su caso, revertir los desequilibrios que se observan en el desarrollo del Estado.

c) Propiciar patrones de distribución de la población y de las actividades productivas consistentes con la habitabilidad y potencialidad del territorio.

A través de estos tres objetivos básicos del POTDUT se busca:

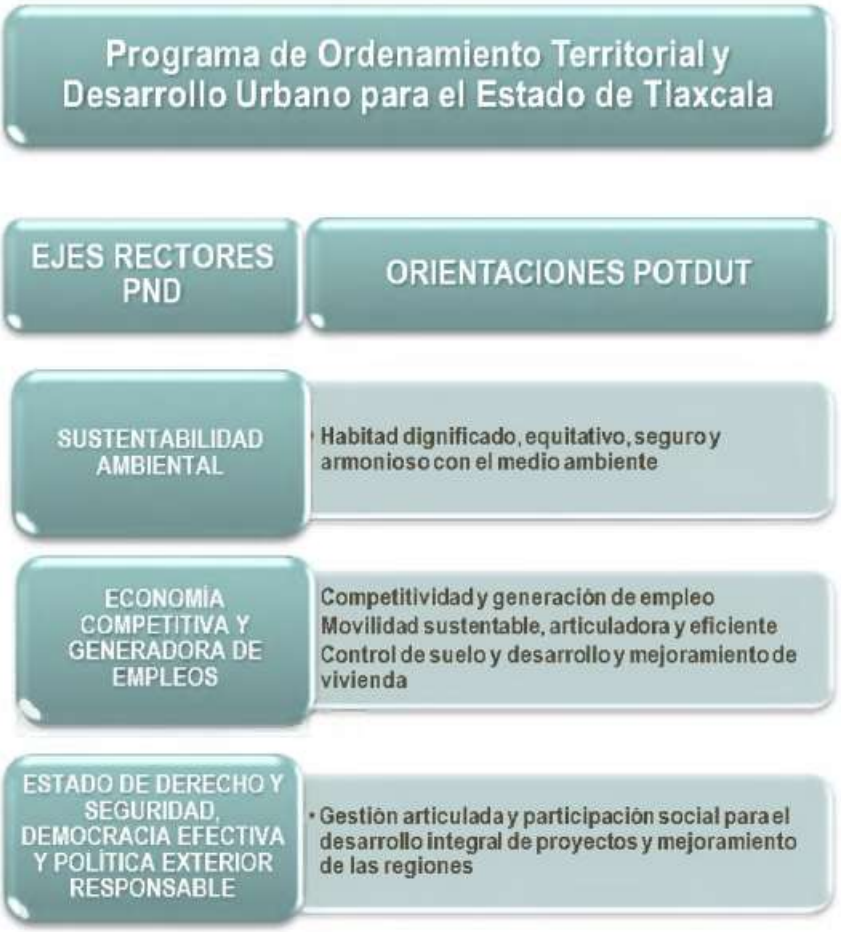
- Asegurar la integridad y la funcionalidad de los ecosistemas, así como el manejo sustentable de los recursos naturales, a corto, mediano y largo plazo.

- Contar con una planeación adecuada del uso de la tierra que conlleve a adoptar patrones sustentables de ocupación del territorio de acuerdo a la vocación del suelo.
- Ordenar y orientar la ocupación/distribución de las actividades económicas, asentamientos humanos y medio ambiente, sobre la base de las aptitudes naturales de cada zona.
- Impulsar el desarrollo socioeconómico a través de la competitividad de las regiones.
- Alcanzar la integración funcional del territorio, asegurando la accesibilidad y cobertura de servicios de infraestructura y equipamiento regional.
- Ordenar y regular el crecimiento y utilización del suelo para fines urbanos, para un mejor aprovechamiento de la infraestructura básica y los servicios, mediante el uso de un criterio de equilibrio.
- Proteger el patrimonio histórico-cultural de la entidad.
- Estimular la participación solidaria de los distintos grupos que integran la comunidad, en la realización de las acciones que se deriven del programa.

A partir de la problemática detectada y de los escenarios presentes y futuros del Estado de Tlaxcala se observó la necesidad imperante de (re) plantear las políticas y estrategias en función de las cinco orientaciones definidas con el análisis realizado en el presente documento. Se han tomado en cuenta las diferencias sociales, culturales, físicogeográficas y económicas de las regiones de Tlaxcala y considerado las políticas generales del PEOT 2004 pero desarrollándolas en función de las orientaciones generales propuestas el POTDUT. Lo anterior bajo una visión integradora, de las diferentes políticas y acciones sectoriales, y sistémica del territorio tlaxcalteca.

Las presentes orientaciones estrategias y políticas pretenden coadyuvar a la visión integrada y sistémica del territorio. Bajo esta mirada se proponen las siguientes cinco orientaciones con sus objetivos y acciones estratégicas, enfocadas a buscar la equidad social, el desarrollo económico y respeto al medioambiente para el desarrollo equilibrado de las regiones y de la entidad en su conjunto como se muestra en el diagrama:

FIGURA 12 ORIENTACIONES ESTRATÉGICAS Y POLÍTICAS



Del diagrama anterior se derivan las siguientes orientaciones:

- Hábitat dignificado, equitativo, seguro y armonioso con el medio ambiente.
- Competitividad y generación de empleo.
- Movilidad sustentable, articuladora y eficiente.
- Control de suelo y desarrollo y mejoramiento de vivienda.
- Gestión articulada para el desarrollo integral de proyectos y mejoramiento de las regiones.

FIGURA 13 ORIENTACIONES ESTRATÉGICAS Y POLÍTICAS



Las orientaciones con las que se vincula el proyecto son las siguientes:

1. Hábitat dignificado, seguro, equitativo y armonioso con el medio ambiente.

Objetivos y acciones estratégicas	Vinculación
Rescatar la imagen urbana y dar mantenimiento al mobiliario urbano de los centros de las localidades, reubicando las terminales de transporte y el comercio ambulante de la vía pública.	Este proyecto busca rescatar la imagen al dar mejoramiento al puente existente, adecuándose como puente peatonal, y agregando un puente vehicular, así que beneficiará directamente a la población, usado esta vialidad como ruta de conexión entre zonas habitacionales, áreas de cultivo y puntos de abastecimiento local.
Desarrollo de infraestructuras y equipamientos de calidad distribuidos equitativamente y amigables con el medioambiente.	El proyecto impactará de manera positiva a productores agrícolas, comerciantes y prestadores de servicios que dependen de esta vía para el traslado de insumos, mercancías y productos de primera necesidad. La mejora en la infraestructura permitirá reducir tiempos de recorrido, incrementar la seguridad vial y garantizar la accesibilidad.
Ante la subutilización de los equipamientos urbanos por las malas condiciones en que se encuentran hace necesario su mejoramiento para abatir parte del déficit de los mismos principalmente los de carácter deportivo.	Este proyecto mejorará la infraestructura para un manejo adecuado pluvial, en caso de inundaciones en la zona y mayor seguridad vial; esto reducirá riesgos y garantizar la continuidad del tránsito en una vía de importancia local.

3. Movilidad sustentable, articuladora, eficiente y accesible.

Objetivos y acciones estratégicas	Vinculación
Desarrollar proyectos integrando las redes viales con los asentamientos colindantes, coadyuvando a su desarrollo y evitando la segregación socio-espacial.	La adecuación del puente vehicular a uno peatonal, así como la segregación de un nuevo puente vehicular, permitirá una mayor conexión con los asentamientos colindantes.

2.4 Áreas de Importancia Ambiental

El proyecto NO se encuentra dentro de algún Área Natural Protegida, de jurisdicción estatal y federal, ni Área de Importancia Ambiental, así como se muestra en los siguientes mapas:

FIGURA 14 ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

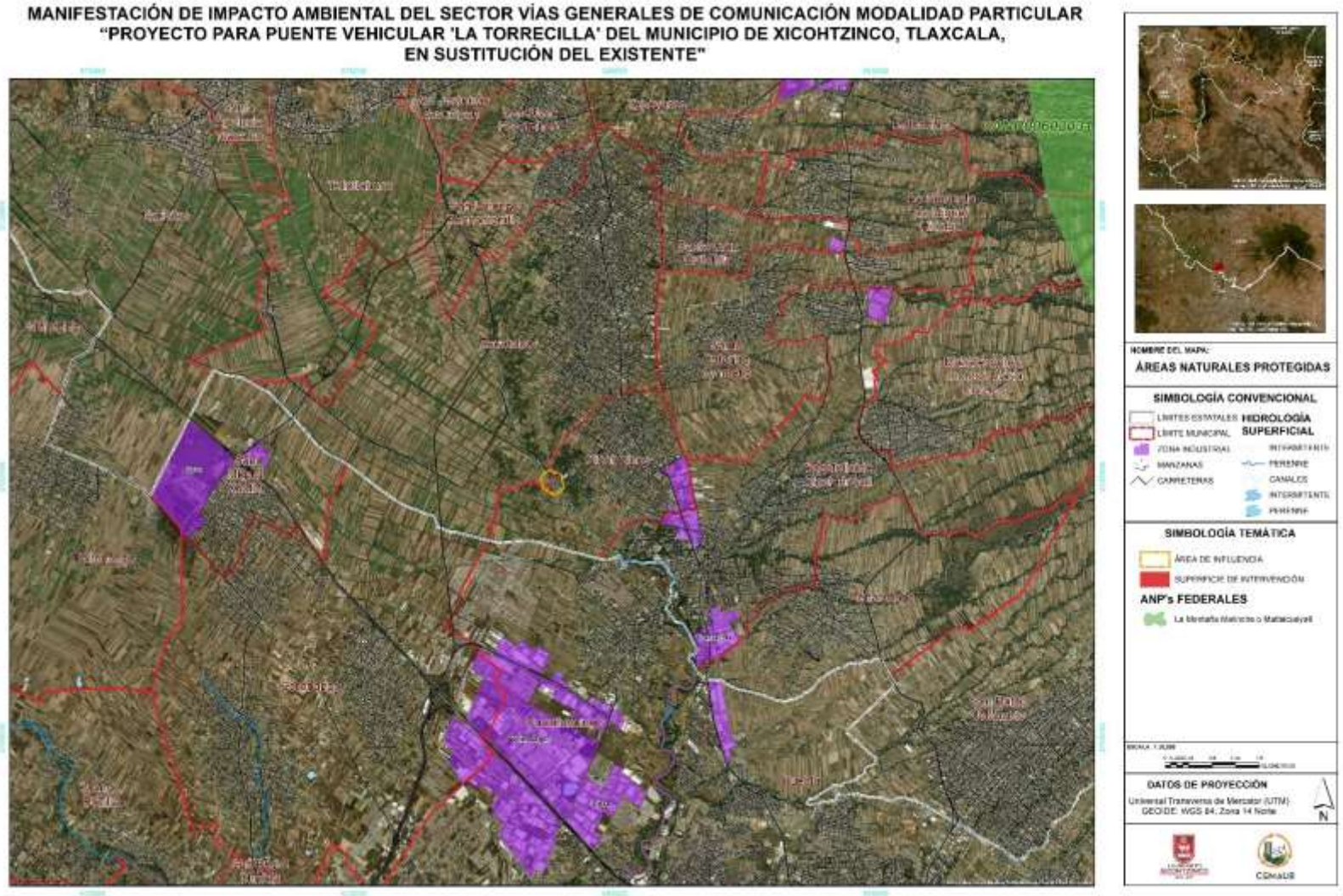


FIGURA 15 REGIONES HIDROLÓGICAS PRIORITARIAS

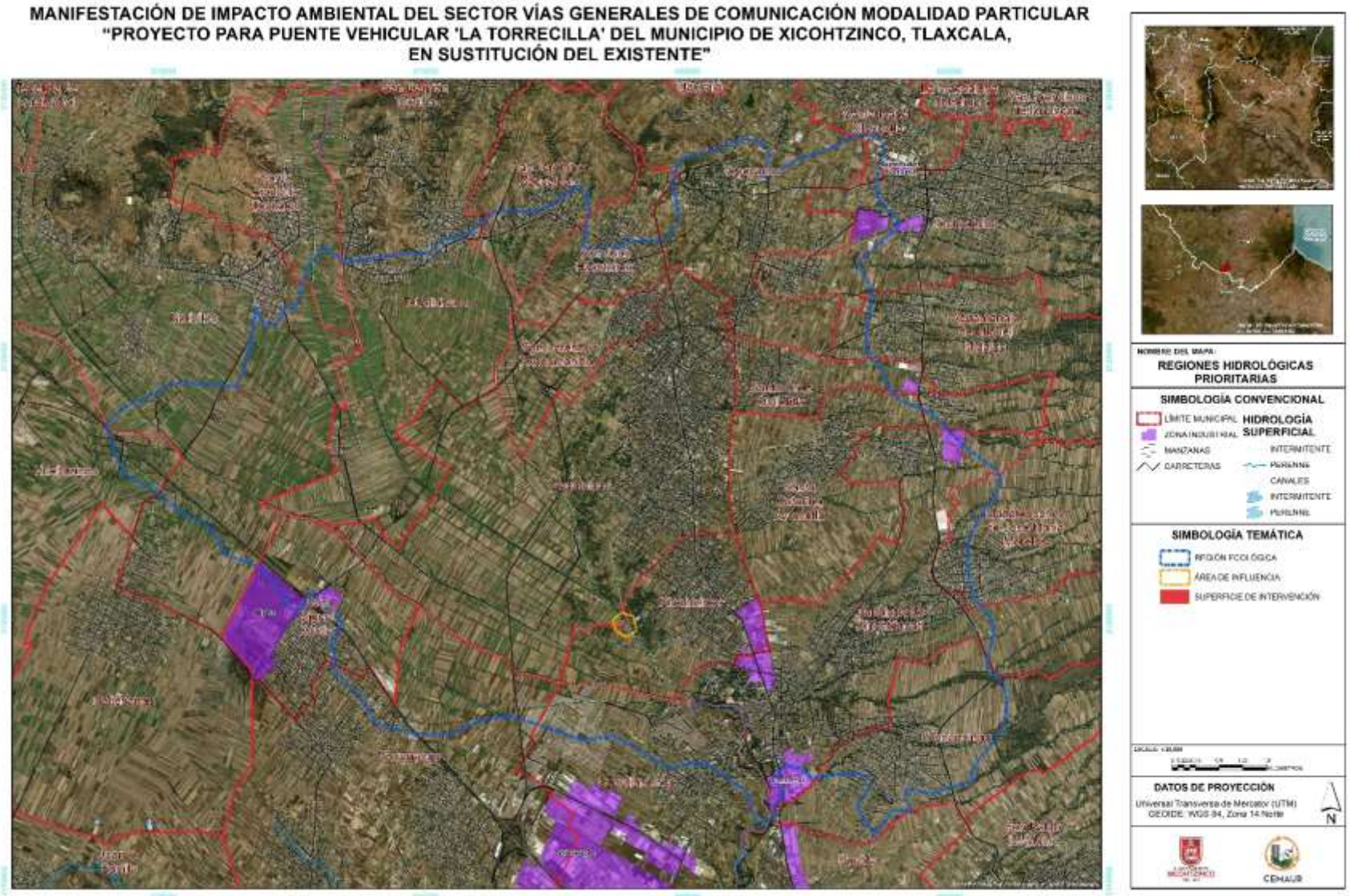


FIGURA 16 REGIONES TERRESTRES PRIORITARIAS

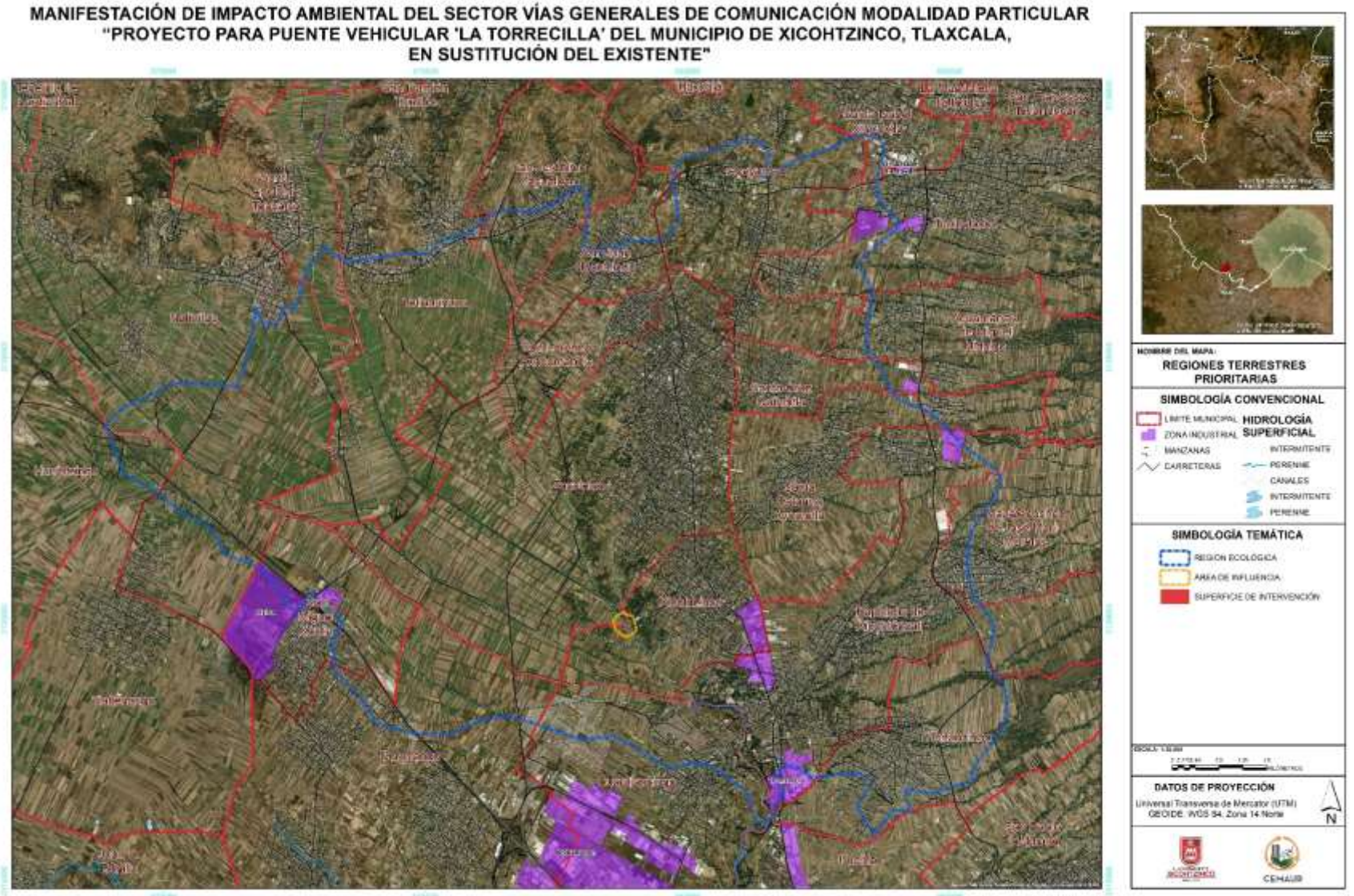


FIGURA 17 ÁREAS DE IMPORTANCIA PARA LA CONSERVACIÓN DE AVES

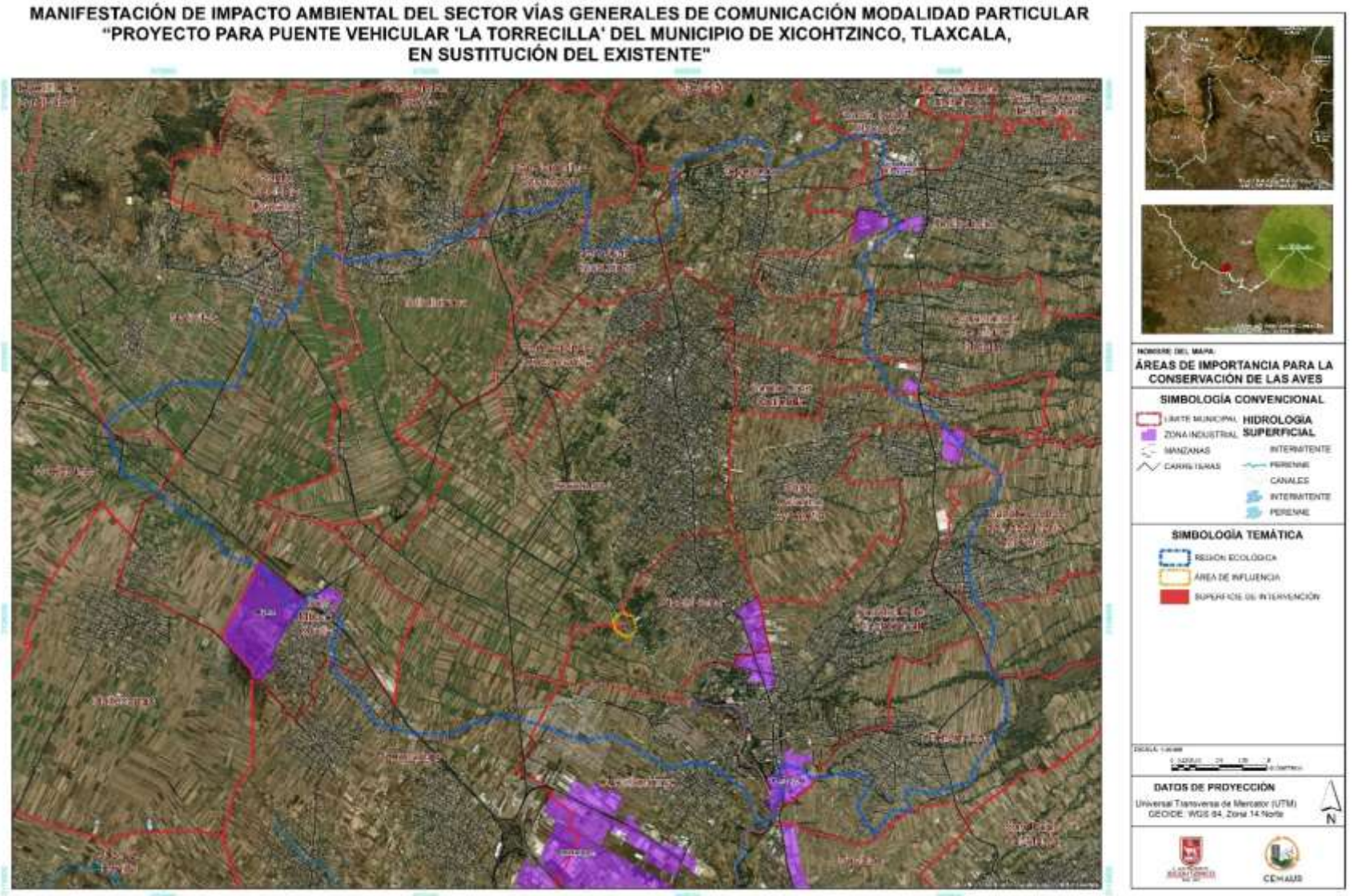


FIGURA 18 SITIOS PRIORITARIOS PARA LA RESTAURACIÓN

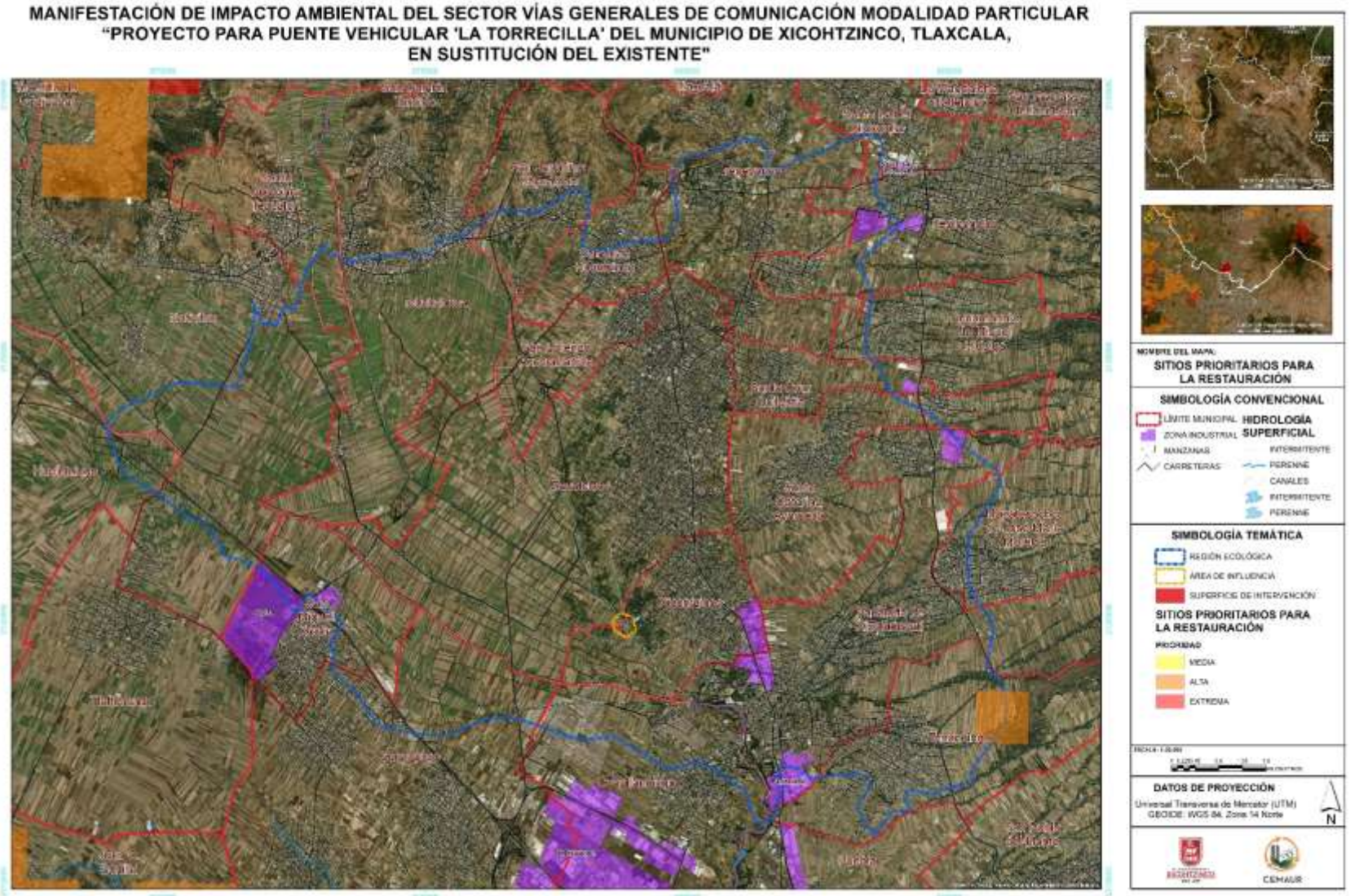


FIGURA 19 SITIOS DE ATENCIÓN PRIORITARIA PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

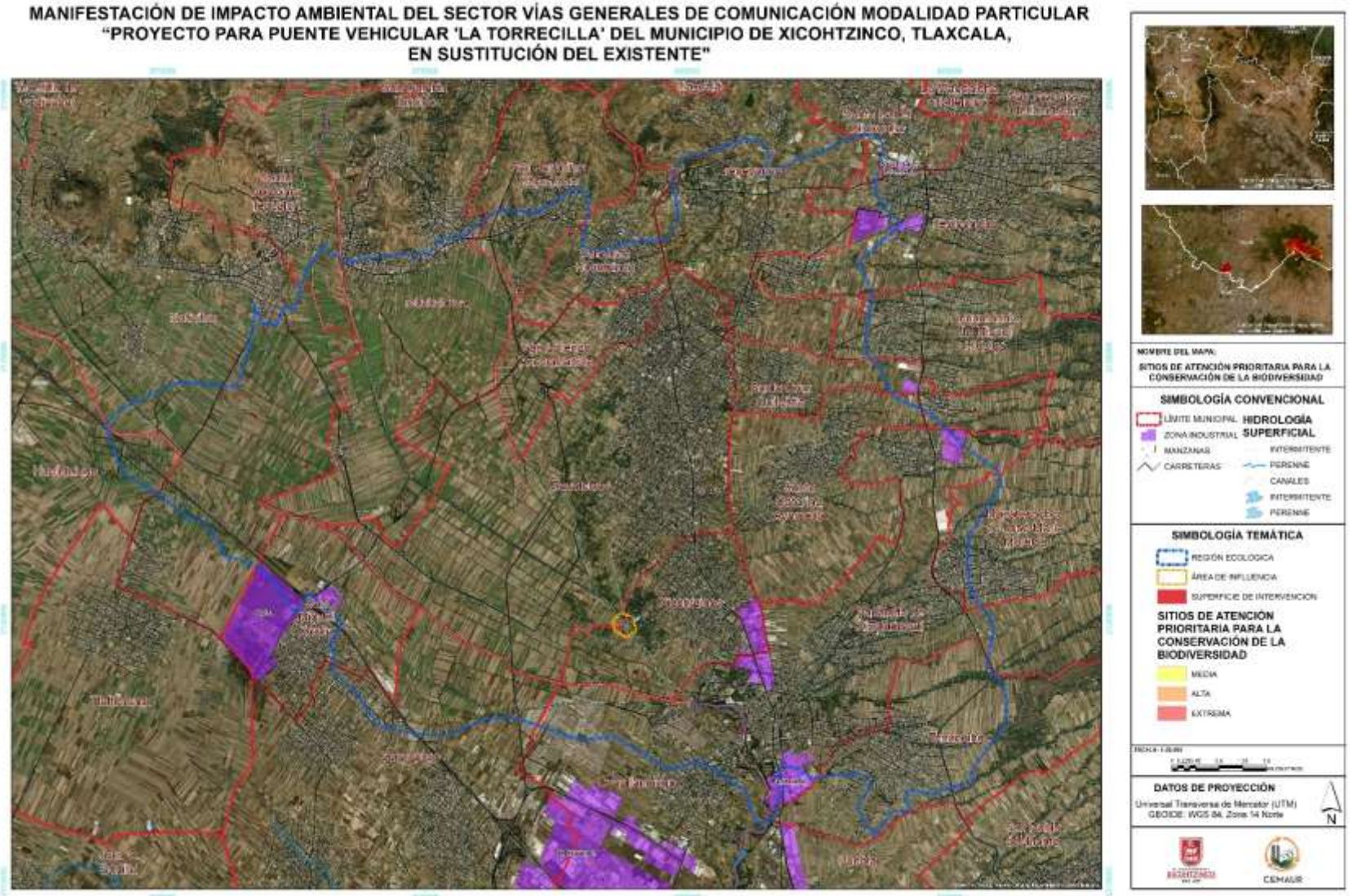
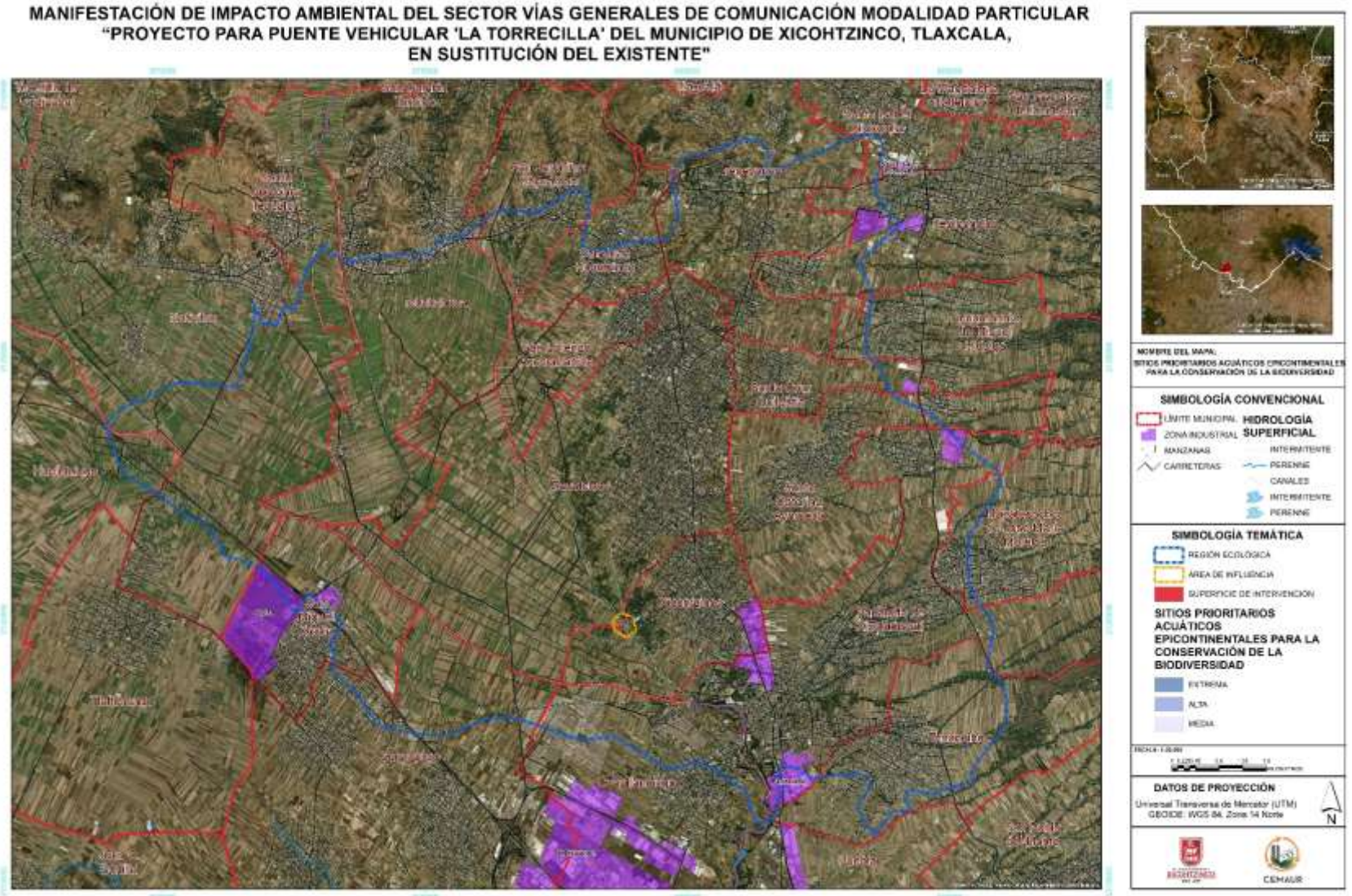
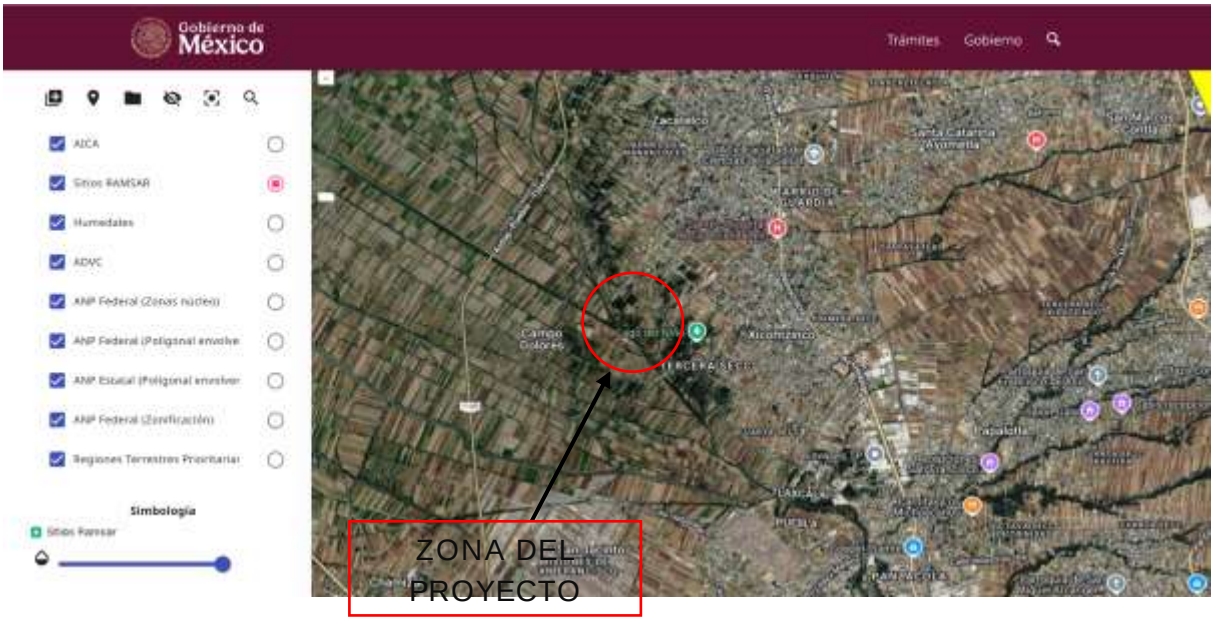


FIGURA 20 SITIOS PRIORITARIOS ACUÁTICOS EPICONTINENTALES PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD



Así como tampoco se encuentra en ningún sitio RAMSAR, como se muestra en el siguiente mapa:

FIGURA 21 SITIOS RAMSAR



2.5 Planes y Programas de Desarrollo Urbano Municipales

2.5.1 Plan Nacional de Desarrollo 2025-2030

El Plan Nacional de Desarrollo (PND) es la guía de los objetivos y acciones del Gobierno de México en los próximos años. Estos objetivos consisten en consolidar la transformación del país bajo un modelo de desarrollo con bienestar, justicia social y sustentabilidad. A través de este documento, enriquecido con el diálogo y la consulta ciudadana, se reafirma el compromiso del Gobierno con el pueblo de México de gobernar con honestidad, democracia, eficiencia y con una visión humanista.

Desarrollo y bienestar con cuidado al medio ambiente

El desarrollo y el bienestar del pueblo sólo pueden fortalecerse con el cuidado del medio ambiente y los recursos naturales. Por lo anterior, será prioritario promover una transición hacia las energías limpias, al tiempo que se protegen los ecosistemas naturales, se garantiza el derecho al agua y se hace frente a los efectos del cambio climático.

El PND tiene visión de futuro

El PND orienta los objetivos de la nación y define las acciones en el corto, mediano y largo plazo; instrumentos al Estado y a la sociedad para cumplir los compromisos.

La planeación democrática establecida en la CPEUM ayuda a enriquecer el PND, la formulación de los temas y programas, la instrumentación, el control y la evaluación del plan y los programas.

Ejes del Plan Nacional de Desarrollo

Este PND se articula sobre cuatro ejes generales y tres ejes transversales que estructuran la política pública en su conjunto.

Eje General 1. Gobernanza con Justicia y Participación Ciudadana

Eje General 2. Desarrollo con bienestar y humanismo

Eje General 3. Economía moral y trabajo

Eje General 4. Desarrollo sustentable

Eje Transversal 1 Igualdad sustantiva y derechos de las mujeres

Eje Transversal 2. Innovación pública para el desarrollo tecnológico nacional

Eje Transversal 3. Derechos de las comunidades indígenas

De los ejes que propone el PND los que se vinculan con el proyecto es el *Eje General 2. Desarrollo con bienestar y humanismo.*

Eje general 2. *Desarrollo con bienestar y humanismo.*

Objetivo 2.10: Promover entornos públicos justos y adaptativos mediante la planificación de espacios rurales y urbanos, con el objetivo de reducir las disparidades en el acceso a oportunidades y servicios entre diferentes regiones y comunidades del país.

Estrategia 2.10.1: Dotar a la población mexicana de infraestructura para la movilidad y el transporte público que facilite el tránsito de personas y bienes de manera accesible, sostenible, segura y eficiente, priorizando la intermodalidad en sistemas urbanos y rurales.

Estrategia 2.10.4: Impulsar la construcción de infraestructuras sostenibles que mitiguen riesgos, fomenten la capacidad de respuesta de los territorios y contribuyan a la adaptación y mitigación del cambio climático, especialmente en zonas con mayores condiciones de vulnerabilidad.

2.5.2 Plan Estatal de Desarrollo 2021-2027

El Plan ofrece la construcción de un gobierno fundamentado en el interés del pueblo y para el pueblo, por lo que se atiene a sus designios y al planteamiento

de sus necesidades. Propone, por ello, ir a las causas de los problemas y enlazar cada acción con el resto, en un planteamiento integral y ordenado, de manera que sea posible llevar a cabo un ejercicio sistematizado y basado en interdependencia, el análisis multidisciplinario y transdisciplinario.

Objetivo general: Transformar en unidad a Tlaxcala para elevar su potencial de desarrollo y mejorar el bienestar del pueblo.

El PED 2021-2027 cuenta con 4 ejes generales y 2 ejes transversales:

Eje 1. Estado de derecho y seguridad. Fortalecer al Estado para garantizar el derecho de los individuos a una vida plena, de paz, libertad, democracia y armonía: donde la participación ciudadana, fomente la cohesión del tejido social y detone la regeneración ética de la sociedad y de las instituciones públicas, además de salvaguardar la integridad de las personas, mediante la prevención de cualquier modalidad de violencia, procurando la justicia de manera pronta, expedita y apegada a derecho.

Eje 2. Bienestar para todos. Confrontar los desafíos de la pobreza, la desigualdad y los rezagos sociales fomentando un nuevo modelo de transformación ideológica colectiva y corresponsable que no deje a ningún tlaxcalteca atrás ni afuera.

Eje 3. Desarrollo económico y medio ambiente. Activar los actores detonantes de la economía estatal para propiciar la profesionalización y modernización de todos los sectores productivos y de servicios a fin de impulsar y promover la detonación del estado bajo una nueva cultura de responsabilidad y respeto a los grupos vulnerables, siempre superando las metas dentro del marco del respeto y la armonía con los elementos naturales de nuestro estado.

Eje 4. Gobierno cercano con visión extendida. El gobierno del estado confeccionó un programa interinstitucional para las dependencias y entidades que lo conforman, con el cual se manda un mensaje claro de un gobierno abierto, cercano y orientado a brindar la mejor calidad en el servicio mediante el equipamiento gubernamental asequible formulando proyectos integrales.

Eje transversal 1. Género e igualdad. Todo programa de gobierno requiere una perspectiva de equidad e inclusión, tanto hacia dentro de la administración pública como hacia el entorno social, la cual permita crear y mantener puentes de entendimiento en las relaciones entre las mujeres y los hombres en situación de vulnerabilidad, pues habría que reconocer que detrás de cualquier circunstancia de pobreza, o falta de empleo, existen sujetos concretos, personas que realizan actividades diariamente e interactúan en un entramado de relaciones personales e institucionales, en condiciones desiguales al promedio de la población.

Eje transversal 2. Desarrollo regional. El desarrollo sostenible, en su objetivo once "Ciudades y Comunidades Sostenibles", considera al espacio como aquellas zonas urbanas inclusivas, sin embargo, para trabajar con una perspectiva regional, es necesario considerar un enfoque integral, con base en la dimensión socio-territorial, a fin de que nadie se quede atrás, de acuerdo con el propósito de la Agenda 2030.

De los Ejes propuestos en el PED, el que se vinculan con el proyecto es el *Eje 2. Bienestar para todos.*

ESTRATEGIA GENERAL

Impulsar la calidad de vida del pueblo tlaxcalteca mediante el acceso equitativo e incluyente a programas, mecanismos y actividades de bienestar social, educación, ciencia y tecnología, cultura, deporte, salud, alimentación y atención a grupos vulnerables.

POLÍTICAS GENERALES

1. Bienestar humano.

2.Educación de excelencia, cultura regeneradora y deporte permanente.

3. Acceso universal a servicios esenciales de salud.

4. Rectoría y gobernanza del Sistema Estatal de Salud.

5. Acceso a los alimentos.

6. Acceso a una vivienda digna.

7. Jóvenes con futuro.

8. Inclusión y soporte a grupos vulnerables.

9. Bienestar animal.

2.5.3 Plan Municipal de Desarrollo de Xicohtzinco 2024-2027

El Plan Municipal de Desarrollo del municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala, para el periodo 2024-2027, es un documento mediante el cual se establecen los principios para la planeación del desarrollo municipal, ya que a través de la planeación es posible vincular a la sociedad con el gobierno, así como, establecer programas, estrategias y metas institucionales para la consecución de mejoras continuas y beneficio de la población.

El presente Plan Municipal de Desarrollo constituye un instrumento fundamental para consolidar un gobierno municipal eficaz, eficiente, honesto y transparente, cercano con la ciudadanía, asimismo, con base en los datos y la información

generada, se realizó un análisis integral de los aspectos económicos, políticos y sociales del municipio, teniendo como principales pilares, la seguridad pública, la transparencia de los recursos públicos, los servicios públicos básicos, y la atención y apoyo a personas en situación vulnerable, lo anterior a través de la implementación de la Metodología del Marco Lógico, de esta forma y aunado al análisis estadístico realizado, se definieron los 5 ejes de desarrollo para el Plan Municipal de Desarrollo 2024-2027:

1. Sostenibilidad y bienestar para todos.

2. Seguridad para todos.

3. Desarrollo urbano, desarrollo económico y medio ambiente.

4. Gobernanza eficiente y participación ciudadana.

5. Inclusión y equidad para todos.

Alcances del programa

El presente Plan Municipal de Desarrollo se encuentra desarrollado bajo la Metodología del Marco Lógico (MML), la cual es una herramienta de planeación que permite dar seguimiento y evaluar los resultados e impactos de un programa público, por lo que a través de la alineación a los instrumentos superiores de planeación, los valores, la misión y visión, el análisis integral de las diversas variables, económicas y sociales del municipio, así como la identificación de ejes temáticos, programas, estrategias y líneas de acción, se constituye y es elaborado el presente Plan Municipal de Desarrollo, que regirá el actuar de la administración pública municipal 2024-2027.

A continuación, se muestran la alineación del Plan Municipal de Xicohtzinco 2024-2027 a los niveles superiores de planeación:

TABLA 12 ALINEACIÓN DEL PLAN MUNICIPAL DE XICOHTZINCO 2024-2027 A LOS NIVELES SUPERIORES DE PLANEACIÓN

EJES RECTORES DEL PND 2019-2024	EJES RECTORES DEL PED 2021.2027	EJES RECTORES DEL PMD 2021-2024
Política social	Eje 2. Bienestar para todos.	Eje 1. Sostenibilidad y bienestar para todos.
Política social	Eje 1. Estado de derecho y seguridad.	Eje 2. Seguridad para todos.
Economía	Eje 3. Desarrollo económico y medio ambiente. Eje transversal. Desarrollo regional.	Eje 3. Desarrollo urbano, Desarrollo económico y Medio Ambiente.

EJES RECTORES DEL PND 2019-2024	EJES RECTORES DEL PED 2021.2027	EJES RECTORES DEL PMD 2021-2024
Política y gobierno	Eje 4. Gobierno cercano, con visión extendida.	Eje 4. Gobernanza eficiente y participación ciudadana.
	Eje transversal. Género e inclusión.	Eje transversal. Inclusión y equidad para todos.

A su vez, se presentan los 4 ejes rectores y 1 eje transversal que regirán el actual de la administración 2024-2027:

TABLA 13 EJES RECTORES DEL PLAN MUNICIPAL DE DESARROLLO 2024-2027

Ejes rectores del Plan Municipal de Desarrollo 2024-2027	Alineación a los ODS
Eje 1. Sostenibilidad y bienestar para todos.	Objetivo 1. Poner fin a la pobreza.
	Objetivo 2. Hambre y seguridad alimentaria.
	Objetivo 3. Salud.
	Objetivo 4. Educación.
	Objetivo 5. Igualdad de género y empoderamiento de la mujer.
Eje 2. Seguridad para todos.	Objetivo 16. Paz y justicia.
	Objetivo 4. Educación.
	Objetivo 5. Igualdad de género y empoderamiento de la mujer.
Eje 3. Desarrollo urbano, Desarrollo Económico y Medio Ambiente.	Objetivo 6. Agua y saneamiento.
	Objetivo 7. Energía.
	Objetivo 8. Crecimiento económico.
	Objetivo 9. Infraestructura.
	Objetivo 15. Bosques, desertificación y diversidad biológica.
	Objetivo 13. Cambio climático.
	Objetivo 3. Salud.
Eje 4 Gobernanza eficiente y participación ciudadana.	Objetivo 16. Paz y justicia.
	Objetivo 5. Igualdad de género y empoderamiento de la mujer.

Eje transversal. Inclusión y equidad para todos.	Objetivo 5. Igualdad de género y empoderamiento de la mujer.
	Objetivo 4. Educación.
	Objetivo 16. Paz y justicia.

El proyecto se encuentra vinculable con el *Eje 3. Desarrollo urbano, Desarrollo Económico y Medio Ambiente.*

Objetivo general.
Contribuir a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, a través de obras y acciones en materia de servicios públicos básicos, así como la rehabilitación de infraestructura social; además de impulsar y normar los comercios locales para una mayor derrama económica; impulsar el campo y contribuir a mejorar el medio ambiente.
Programa. Infraestructura social, servicios públicos, desarrollo económico y apoyo al campo y contribución al medio ambiente.

Estrategia: Fortalecer los servicios públicos básicos, a fin de que los ciudadanos mejores su calidad de vida.

Líneas de acción.

- Realizar obras públicas que permitan mejorar los servicios públicos básicos.
- Atender los reportes ciudadanos en materia de servicios públicos de manera eficaz y eficiente.
- Dotar de servicios públicos básicos a la población.
- Realizar acciones que promuevan el cuidado del medio ambiente y rescatar los espacios naturales del municipio.
- Incentivar el comercio en el municipio a través de un reordenamiento en plaza principal y mercado municipal.
- Involucrar al sector privado a participar y colaborar con la administración pública municipal a fin de mejorar los espacios públicos del municipio.
- Realizar faenas en vialidades, plaza principal y áreas verdes del municipio.
- Regular a los diversos establecimientos comerciales del municipio.
- Realizar actividades y eventos culturales y sociales en espacios públicos que promuevan negocios locales a fin de incentivar una derrama económica.
- Realizar acciones a favor del campo, teniendo estrecha comunicación y participación entre el ejido y la administración municipal.
- Recuperar los espacios públicos a través del adecuado mantenimiento y conservación de los mismos.

- Realizar un proyecto de identificación e investigación hídrico respecto de los pozos de agua potable a fin de garantizar el abastecimiento del líquido vital en épocas de escases.
- Realizar mantenimientos y rehabilitación a las bombas de agua potable en el municipio.
- Realizar un proyecto ejecutivo y construcción de puente vehicular a dos carriles para comunicar noroeste del municipio sobre el río Zahuapan.
- Realizar un proyecto y construcción de drenaje sanitario (colector principal) desde Camino Real hasta Capilla de Guadalupe.
- Realizar la rehabilitación y ampliación de alumbrado público.
- Realizar la ampliación y rehabilitación del libramiento Puebla-Tlaxcala carretera Camino Real.
- Realizar la construcción de techumbre de canchas municipales.
- Implementar la automatización de la bomba del barrio de Saltillo.

2.5.4 Normas Oficiales Mexicanas

Las Normas Oficiales Mexicanas en materia ambiental, constituyen una herramienta de carácter regulatorio relacionado con la protección del ambiente y el equilibrio ecológico. Por tanto, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales conforme a sus facultades, ha emitido en materia de agua, suelo, protección de flora y fauna, ruido, impacto ambiental, residuos, contaminación por fuentes fijas y/o móviles, etc., normas que señalan su ámbito de validez, vigencia y gradualidad en su aplicación.

En lo que respecta a las actividades contempladas en el desarrollo del proyecto evaluado, durante las etapas de preparación del sitio, construcción y de operación, las Normas Oficiales Mexicanas vinculables al proyecto son las siguientes:

2.5.4.1 NOM en Materia de Aire

Artículo	Vinculación
NOM-041-SEMARNAT-2015, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.	Los vehículos (para transporte de materiales, acarreos, etc.) que se utilizarán para el proyecto respetarán el límite de emisión de gases que se establece en esta norma siempre y cuando utilicen gasolina como combustible.
NOM-045-SEMARNAT-2017, Protección ambiental. - Vehículos en circulación que usan diésel como combustible. - Límites máximos permisibles de opacidad, procedimiento de prueba y	Los vehículos (para transporte de materiales, acarreos, etc.) que se ocuparán en el proyecto se someterán al procedimiento técnico de prueba para verificar que la opacidad no rebase

características técnicas del equipo de medición.	los límites establecidos en la presente norma toda vez que utilicen diésel como combustible.

2.5.4.2 NOM en Materia de Ruido

Artículo	Vinculación
NOM-080-SEMARNAT-1994, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido proveniente del escape de los vehículos automotores, motocicletas y triciclos motorizados en circulación y su método de medición.	Los vehículos y la maquinaria utilizados en el proyecto deberán mantenerse en los límites máximos permisibles de emisión de ruido y conservarse en condiciones óptimas de operación.
NOM-081-SEMARNAT-1994 Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y sus métodos de medición. (13-01-1995) ACUERDO por el que se modifica el numeral 5.4 de la Norma Oficial Mexicana NOM-081-SEMARNAT-1994, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición.	Se deberán de realizar los trabajos en horarios en los cuales no se genere molestias a la población circundante.

2.5.4.3 NOM en Materia de Residuos

Artículo	Vinculación
NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos	El proyecto no contempla la generación de residuos peligrosos en sitio, toda vez que las actividades de mantenimiento de la maquinaria se llevarán a cabo en talleres especializados fuera del área del proyecto. Esta medida tiene como finalidad mitigar el riesgo de contaminación del suelo por derrames de aceites, lubricantes u otras sustancias derivadas de dichas actividades.
NOM-161-SEMARNAT-2011, Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de estos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los	En el proyecto se generarán residuos de manejo especial producto de la construcción y demolición, por lo que se sujetará a la elaboración de un Plan de Manejo.

elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo.	

2.5.4.4 NOM en Materia de Agua

Artículo	Vinculación
NOM-002-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales al alcantarillado municipal.	Las aguas residuales que se generarán por la ejecución de las obras serán provenientes de los servicios sanitarios que serán requerido para el personal de obra, la empresa que sea requerida para este servicio será la encargada de realizar la recolección y disposición de estos residuos.

2.5.4.5 NOM en Materia de Seguridad

Artículo	Vinculación
NOM-001-STPS-2008, Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo. Condiciones de seguridad.	Para el proyecto se contará con los requisitos de seguridad en centros de trabajo establecidos en la norma.
NOM-002-STPS-2010, Condiciones de seguridad-Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo.	Para el proyecto se contará con los cursos de capacitación en materia de prevención y combate contra incendios y con equipos extintores.
NOM-004-STPS-1998, Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo.	Para el proyecto, las máquinas y equipos que se utilicen cumplirán con los sistemas de protección y seguridad establecidos en la norma.
NOM-009-STPS-2011, Condiciones de seguridad para realizar trabajos en altura.	Se deberá de brindar el equipo de protección personal específico adecuado.
NOM-011-STPS-2001, Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido.	En la zona del proyecto, se mantendrán las condiciones óptimas de seguridad e higiene donde se genere ruido que sea capaz de alterar la salud de los trabajadores.
NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal-Selección, uso y manejo en los centros de trabajo.	Para el proyecto se contará con los cursos de capacitación en el uso y manejo de equipo de protección personal para su correcta colocación.
NOM-027-STPS-2008, Actividades de soldadura y corte-Condiciones de seguridad e higiene.	Se deberá de proporcionar el equipo de protección personal específico adecuado tales como careta de

Artículo	Vinculación
	soldador, guantes de carnaza, entre otros.
NOM-031-STPS-2011, Construcción - Condiciones de seguridad y salud en el trabajo.	Se deberá proporcionar a los trabajadores el equipo de protección personal básico, de acuerdo con su puesto de trabajo.

2.6 Leyes y/o Reglamentos

2.6.1 Leyes y/ o reglamentos federales

2.6.1.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

Última reforma publicada en el DOF el 30/09/24

Artículo	Vinculación
Artículo 4. Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley.	El proyecto se realizará en sus diferentes etapas cumpliendo con los ordenamientos jurídicos, leyes y reglamentos ambientales con el fin de preservar el medio ambiente.

2.6.1.2 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)

Última reforma publicada en el DOF el 01/04/24

Artículo	Vinculación
Artículo 5.- Son facultades de la Federación: X.- La evaluación del impacto ambiental de las obras o actividades a que se refiere el artículo 28 de esta Ley y, en su caso, la expedición de las autorizaciones correspondientes;	Dado que el proyecto trata de la construcción de un puente vehicular de transporte terrestre, donde cruza el Río Zahuapan, mismo que se clasifica como propiedad federal, de acuerdo con el artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, porque conduce aguas nacionales, y el Artículo 113, Fracción IV de la Ley de Aguas Nacionales establecen que cauces, lechos o riberas de los lagos y corrientes son propiedad de la nación.
Artículo 28.- La evaluación del impacto ambiental es el procedimiento a través del cual la Secretaría establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y	Debido a que la construcción del puente constituye una obra de Vías Generales de Comunicación,

Artículo	Vinculación
actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el medio ambiente. Para ello, en los casos en que determine el Reglamento que al efecto se expida, quienes pretendan llevar a cabo alguna de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización en materia de impacto ambiental de la Secretaría: I.- Obras hidráulicas, vías generales de comunicación, oleoductos, gasoductos, carboductos y poliductos; X.- Obras y actividades en humedales, ecosistemas costeros, lagunas, ríos, lagos y esteros conectados con el mar, así como en sus litorales o zonas federales.	corresponde someterse a la Evaluación de Impacto Ambiental. X. El puente cruza el Río Zahuapan; al ser cauce de una corriente, de acuerdo con el Artículo 3, Fracción XI, de la Ley de Aguas Nacionales, es propiedad de la nación, por lo que, el proyecto se encuentra en zona federal. Esto quiere decir que, la ocupación de 287.52 m² de Zona Federal obliga al Ayuntamiento a tramitar el "Permiso de Obras en Cauces" ante la CONAGUA.

2.6.1.3 Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental (LGEEPA)

Última reforma publicada DOF 31-10-2014

Artículo	Vinculación
Artículo 4.- Compete a la Secretaría: I. Evaluar el impacto ambiental y emitir las resoluciones correspondientes para la realización de proyectos de obras o actividades a que se refiere el presente reglamento.	B) El proyecto constituye una obra de Vías Generales de Comunicación, al tratarse de la construcción de un puente, así que corresponde someterse a la Evaluación de Impacto Ambiental. R) Este proyecto se encuentra en zona federal, pues se encuentra cruzando el río Zahuapan, así que, la ocupación de 287.52 m² de Zona Federal obliga al Ayuntamiento a tramitar el "Permiso de Obras en Cauces" ante la CONAGUA.
Artículo 5.- Quienes pretendan llevar a cabo alguna de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización de la Secretaría en materia de impacto ambiental: B) VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN: Construcción de carreteras, autopistas, puentes o túneles federales vehiculares o ferroviarios; puertos, vías férreas, aeropuertos, helipuertos, aeródromos e infraestructura mayor para telecomunicaciones que afecten áreas naturales protegidas o con vegetación	

Artículo	Vinculación
forestal, selvas, vegetación de zonas áridas, ecosistemas costeros o de humedales y cuerpos de agua nacionales. R) OBRAS Y ACTIVIDADES EN HUMEDALES, MANGLARES, LAGUNAS, RÍOS, LAGOS Y ESTEROS CONECTADOS CON EL MAR, ASÍ COMO EN SUS LITORALES O ZONAS FEDERALES: I. Cualquier tipo de obra civil, con excepción de la construcción de viviendas unifamiliares para las comunidades asentadas en estos ecosistemas	

2.6.1.4 Ley de Aguas Nacionales

Última reforma publicada DOF 08-05-2023

Artículo	Vinculación
Artículo 3. Para los efectos de esta Ley se entenderá por: XI. "Cauce de una corriente": El canal natural o artificial que tiene la capacidad necesaria para que las aguas de la creciente máxima ordinaria escurran sin derramarse. Cuando las corrientes estén sujetas a desbordamiento, se considera como cauce el canal natural, mientras no se construyan obras de encauzamiento; en los orígenes de cualquier corriente, se considera como cauce propiamente definido, cuando el escurrimiento se concentre hacia una depresión topográfica y éste forme una cárcava o canal, como resultado de la acción del agua fluyendo sobre el terreno. Para fines de aplicación de la presente Ley, la magnitud de dicha cárcava o cauce incipiente deberá ser de cuando menos de 2.0 metros de ancho por 0.75 metros de profundidad; XLVII. "Ribera o Zona Federal": Las fajas de diez metros de anchura contiguas al cauce de las corrientes o al vaso de los depósitos de propiedad nacional, medidas horizontalmente a partir del nivel de aguas máximas ordinarias. La amplitud de la ribera	Al tratarse de un puente vehicular que cruzará por el Río Zahuapan, es decir, un cauce de una corriente, es propiedad de la nación, por lo que corresponde a la Federación su administración y protección.

Artículo	Vinculación
o zona federal será de cinco metros en los cauces con una anchura no mayor de cinco metros. El nivel de aguas máximas ordinarias se calculará a partir de la creciente máxima ordinaria que será determinada por "la Comisión" o por el Organismo de Cuenca que corresponda, conforme a sus respectivas competencias, de acuerdo con lo dispuesto en los reglamentos de esta Ley. En los ríos, estas fajas se delimitarán a partir de cien metros río arriba, contados desde la desembocadura de éstos en el mar. En los cauces con anchura no mayor de cinco metros, el nivel de aguas máximas ordinarias se calculará a partir de la media de los gastos máximos anuales producidos durante diez años consecutivos. Estas fajas se delimitarán en los ríos a partir de cien metros río arriba, contados desde la desembocadura de éstos en el mar. En los orígenes de cualquier corriente, se considera como cauce propiamente definido, el escurrimiento que se concentre hacia una depresión topográfica y forme una cárcava o canal, como resultado de la acción del agua fluyendo sobre el terreno. La magnitud de la cárcava o cauce incipiente deberá ser de cuando menos de 2.0 metros de ancho por 0.75 metros de profundidad;	
Artículo 113. La administración de los siguientes bienes nacionales queda a cargo de "la Comisión": III. Los cauces de las corrientes de aguas nacionales; IV. Las riberas o zonas federales contiguas a los cauces de las corrientes y a los vasos o depósitos de propiedad nacional, en los términos previstos por el Artículo 3 de esta Ley;	

2.6.1.5 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos

Última reforma publicada en el DOF el 08/05/23

Artículo	Vinculación
Artículo 18. Los residuos sólidos urbanos podrán subclasificarse en orgánicos e inorgánicos con objeto de facilitar su separación primaria y secundaria, de conformidad con los Programas Estatales y Municipales para la Prevención y la Gestión Integral de los Residuos, así como con los ordenamientos legales aplicables.	Los residuos sólidos urbanos provenientes de las diferentes etapas del proyecto deberán de ser manejados conforme a los lineamientos estatales y municipales, dándoles un manejo adecuado, así como su correcta disposición en sitios autorizados.
Artículo 19.- Los residuos de manejo especial se clasifican como se indica a continuación, salvo cuando se trate de residuos considerados como peligrosos en esta Ley y en las normas oficiales mexicanas correspondientes: VII. Residuos de la construcción, mantenimiento y demolición en general.	Los residuos provenientes de los trabajos de construcción deberán de disponerse de acuerdo con la normatividad vigente.

2.6.1.6 Ley General de Cambio Climático

Última reforma publicada DOF 01-04-2024

Artículo	Vinculación
Artículo 29. Se considerarán acciones de adaptación: VI. La construcción y mantenimiento de infraestructura;	La construcción del puente vehicular estará en función de reducir el riesgo de que el camino quede obstaculizado en caso de que la zona se inunde.

2.6.2 Leyes y/o reglamentos estatales

2.6.2.1 Ley de Protección al Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible del Estado de Tlaxcala

Artículo	Vinculación
Artículo 70. En materia de prevención y control de la contaminación a la atmósfera producida por vehículos automotores, la Secretaría y la Procuraduría, en forma conjunta con las autoridades competentes de los sectores de Salud, Transporte y Seguridad Pública: IV. Permitir y facilitar a la autoridad competente, la verificación de la medición de las emisiones de contaminantes a la atmósfera, y V. Proporcionar la información que la autoridad le requiera.	Al sitio, en las diferentes etapas de la construcción del puente, estarán acudiendo vehículos para transportar materiales necesarios para las actividades, así como diversos vehículos para el transporte de residuos que se generen.

2.6.2.2 Ley de Residuos del Estado de Tlaxcala

Artículo	Vinculación
Artículo 32. Las categorías de los generadores de residuos sólidos urbanos y manejo especial son: Pequeños generadores: Persona física o moral que genere una cantidad igual o mayor a cuatrocientos kilogramos y menor a diez toneladas en peso bruto total de residuos al año o su equivalente en otra unidad de medida. Grandes generadores: Persona física o moral que genere una cantidad igual o superior a diez toneladas en peso bruto total de residuos al año o su equivalente en otra unidad de medida.	Durante las etapas de preparación del sitio y construcción se generarán residuos como pedacería de block, varillas, residuos de concreto, etc.; y de las actividades propias de los trabajadores tales como residuos de comida, cartón, envases de plástico, servilletas entre otros, por lo que, se deberá de presentar un Plan de Manejo para determinar a qué categoría de generador corresponde el proyecto.
Artículo 33. Los generadores deberán practicar hábitos de consumo que permitan: I. Minimizar la generación de residuos sólidos; II. Reducir el volumen de los residuos sólidos que generen, mediante compactación; III. Separar los residuos sólidos desde la fuente, con el fin de facilitar su disposición ambiental adecuada, y IV. Entregar a los servicios de recolección o a los centros de acopio de forma adecuada, según corresponda.	En el sitio de construcción deberán de colocarse contenedores debidamente rotulados para que se pueda disponer los Residuos Sólidos Urbanos de forma adecuada y realizar su posterior disposición.
Artículo 44. Los habitantes del Estado de Tlaxcala, las empresas, establecimientos mercantiles y de servicio o representación, instituciones públicas y privadas, dependencias gubernamentales federales, estatales y municipales; así como todo generador de residuos urbanos y de manejo especial que esté dentro del territorio del Estado de Tlaxcala, tienen la obligación de separarlos desde la fuente, con el fin de facilitar su disposición ambientalmente adecuada y ponerlos a disposición en la cadena de la economía circular que se implemente, según corresponda y de conformidad con lo que establezcan las autoridades municipales correspondientes.	Estos residuos serán provenientes de las etapas de preparación del sitio y construcción por lo que se deberá elaborar un Plan de Manejo de Residuos con el fin de que se les dé una correcta disposición.

Artículo	Vinculación
La separación de residuos sólidos urbanos y de manejo especial se hará conforme a sus características particulares en orgánicos e inorgánicos.	

3 DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN ECOLÓGICA Y SEÑALAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DETECTADA

3.1 Elementos utilizados para la delimitación de la Región o Regiones Ecológicas de acuerdo con las características y alcances del Proyecto

3.1.1 Criterios para delimitación

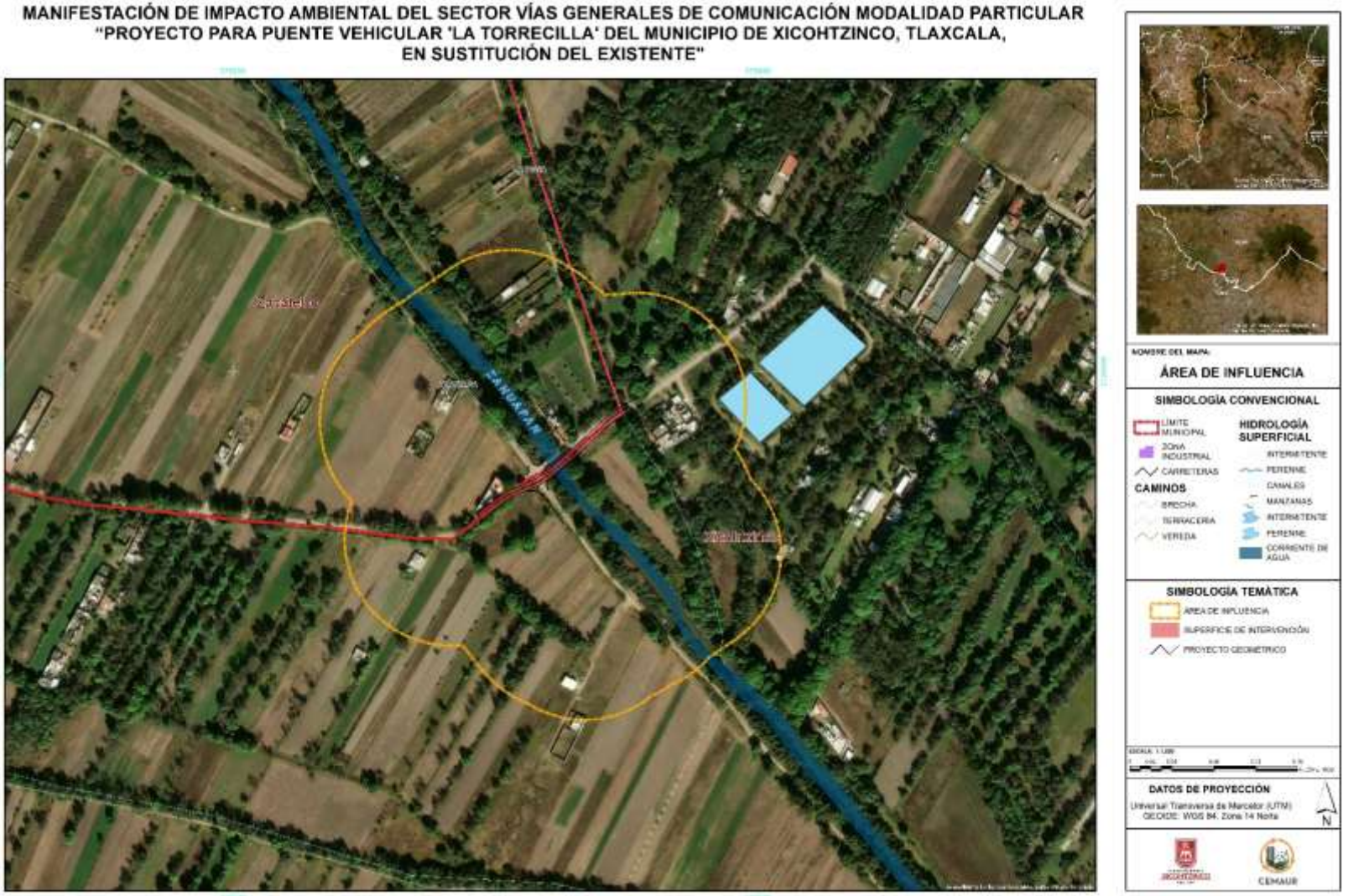
Para cumplir con las disposiciones de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) en materia de Evaluación del Impacto Ambiental y las guías técnicas oficiales. La metodología general se articuló en tres etapas consecutivas ejecutadas bajo un enfoque multifactorial, asegurando la nidificación espacial y el desglose de información ambiental en tres niveles de análisis obligatorios: Área del Proyecto (AP) (superficie de desplante del puente), Área de Influencia (AI) (gradiente de dispersión potencial de impactos directos e indirectos) y la Región Ecológica (RE).

El polígono resultante (se anexa en formato digital) fue generado en coordenadas geográficas, Datum WGS84, y validado mediante superposición con la cartografía oficial de INEGI (uso de suelo y vegetación, clima, geología, edafología, provincias fisiográficas, cuencas y acuíferos), cuyo análisis de intersección espacial se presenta en la sección de Componentes Ambientales.

3.1.2 Área de influencia

El área de influencia (AI) comprende el espacio físico inmediato en el que se prevén perturbaciones directas sobre sus componentes abióticos y bióticos, como resultado de las actividades constructivas y operativas del proyecto. Su delimitación se estableció considerando la franja de afectación directa correspondiente a la superficie de intervención; dado que el proyecto se limita a la construcción del puente, sin modificar la dirección ni el régimen del caudal, los impactos identificados son de carácter puntual y se circunscriben estrictamente al área de intervención directa.

FIGURA 22 ÁREA DE INFLUENCIA



3.1.3 Descripción del proceso de delimitación de la RE

De conformidad con lo dispuesto en el Artículo 3°, fracción XXXI de la LGEEPA y los lineamientos del Capítulo III de la *Guía para la Presentación y Entrega de la Manifestación de Impacto Ambiental* emitida por la SEMARNAT, la delimitación de la Región Ecológica (RE) omitida explícitamente cualquier división político-administrativa (límites estatales o municipales). En su lugar, se adoptó un enfoque biofísico, sistémico y funcional que integra las interacciones abióticas, bióticas y antrópicas que convergen en el ecosistema receptor.

Para delimitar el polígono definitivo de la Región Ecológica donde se inserta el proyecto "Puente Vehicular 'La Torrecilla'", se ejecutó un procedimiento técnico integral dividido en tres fases principales:

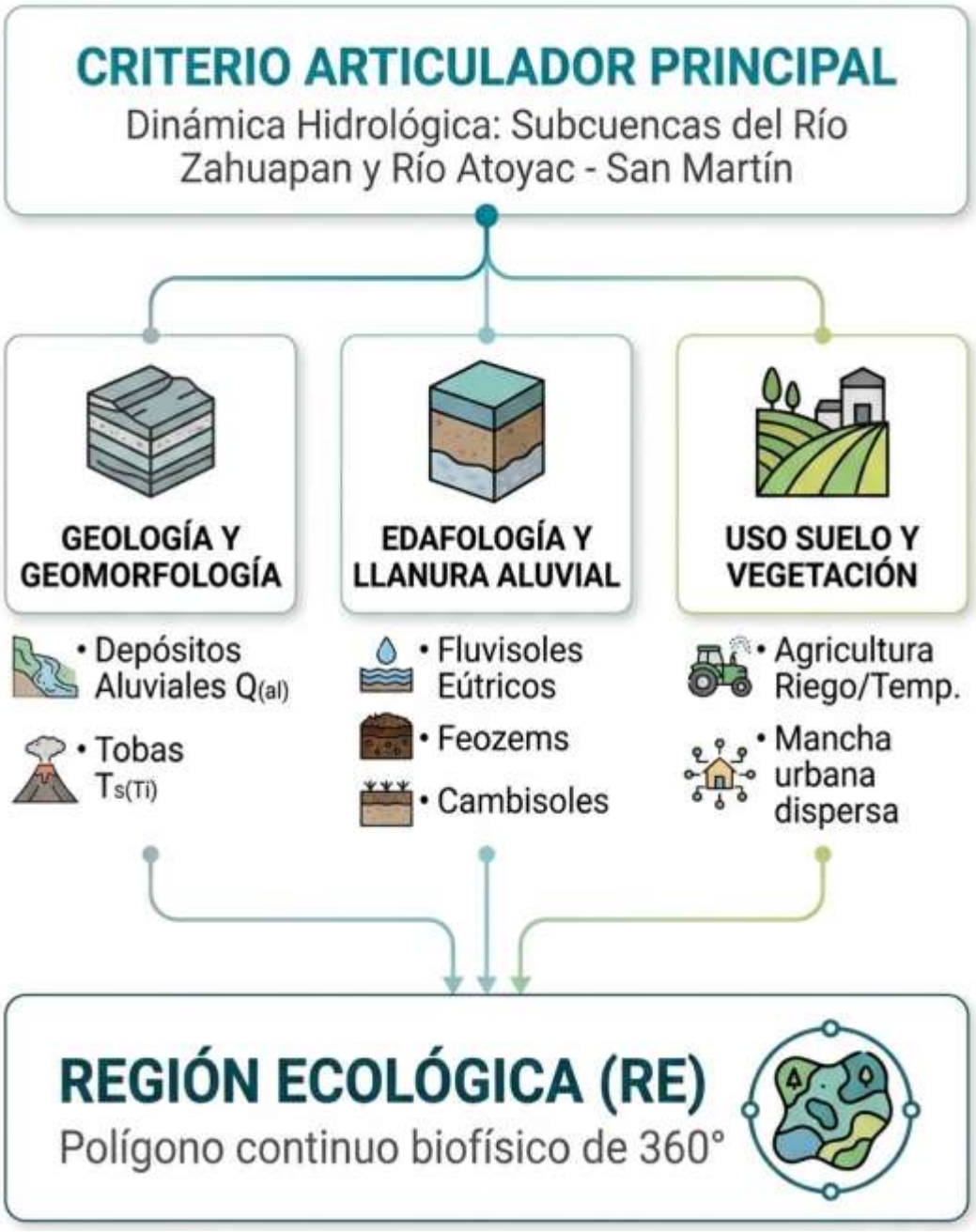
Fase 1: Recopilación e Integración Cartográfica Base (Gabinete)

Se integraron e interconectaron bases de datos geográficas vectoriales y ráster a escala regional y local para estructurar el modelo espacial continuo del territorio. Los insumos cartográficos oficiales utilizados fueron:

- Eje Creador del Proyecto: Trazo geométrico, superficie de intervención directa y obras complementarias del puente sobre el Río Zahuapan y la Barranca de Sánchez.
- Componente Hidrológico: Continuo de Elevación Digital (CEM 3.0 de INEGI), Red Hidrográfica Digitalizada (Escala 1:50,000) e información hidrológica de las cuencas de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
- Componente Edafológico: Conjunto de datos vectoriales de Edafología Escala 1:250,000 (INEGI) y validación de perfiles locales de suelo de ribera.
- Uso de Suelo y Vegetación: Cartografía de Uso de Suelo y Vegetación Serie VII (INEGI), actualizada mediante ortomosaicos fotogramétricos de alta resolución tomados con dron (RTK) para precisar el límite de la mancha urbana y las áreas agrícolas activas.
- Componentes Geológico y Climático: Conjunto de datos de Geología 1:250,000 (INEGI) y Unidades Climáticas regionalizadas (García/INEGI).
- Instrumentos de Ordenamiento Ecológico: Regionalización del Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio (POEGT), identificando la Unidad Ambiental Biofísica UAB-57.

Fase 2: Análisis Espacial Multicriterio y Delimitación Temática

A través de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se analizaron e integraron cinco capas temáticas fundamentales para definir las fronteras naturales y de cambio ambiental:



1. Criterio Hidrológico (Eje Directriz Principal):
    - El límite de la RE quedó sujeto a la dinámica de escurrimiento superficial de las subcuencas del Río Zahuapan y del Río Atoyac - San Martín (pertenecientes a la Región Hidrológica N.º 18 Balsas).
    - Se incluyó el tramo funcional del Río Zahuapan y la confluencia con la Barranca de Sánchez, capturando la totalidad del flujo superficial y el transporte sedimentario aguas arriba y aguas abajo que pudiera interactuar con los apoyos del puente.
2. Criterio Geológico y Geomorfológico:
    - La región se emplaza sobre la planicie del Altiplano Central Tlaxcalteca (2,200 msnm). El límite biofísico incorpora los Depósitos Aluviales del Cuaternario $Q(al)$ asociados al lecho del río y las llanuras de inundación, flanqueados en sus márgenes orientales y occidentales por unidades continentales de Tobas intermedias $Ts(Ti)$.
3. Criterio Edafológico:
    - Se integraron las unidades de suelo con continuidad hidráulica y geomorfológica: los Fluvisoles eútricos (asociados directamente al margen fluvial), acompañados por unidades de Feozem calcárico/háplico, Cambisol eútrico, Regosol eútrico y Vertisol pélico, definiendo los márgenes de permeabilidad, retención de humedad y susceptibilidad a la erosión.
4. Criterio de Uso de Suelo y Vegetación (USV Serie VII):
    - El polígono delimita una matriz antrópica predominantemente transformada donde dominan las zonas de Agricultura de Riego (TA), Agricultura de Temporal (TAS/TAP), parches de vegetación secundaria/ruderal asociada al río y áreas con infraestructura periurbana o industrial en desarrollo.
5. Criterio Climático:
    - La RE se circunscribe a la unidad climática de Clima Templado Subhúmedo con lluvias en verano, representada por los tipos climáticos $C(w_1)(w)$ y $C(w_2)(w)$, condición atmosférica que gobierna los regímenes de precipitación y avenidas pluviales máximas estacionales en el cuerpo de agua.
6. Vinculación con la Unidad Ambiental Biofísica (UAB):

- El límite delimitado coincide analíticamente con la UAB-57 del Ordenamiento Ecológico General del Territorio (POEGT), garantizando la congruencia con los lineamientos ecológicos y estrategias ambientales a nivel macro-regional.

Fase 3: Modelado Continuo y Definición del Polígono Definitivo

Mediante herramientas informáticas de geoprocesamiento espacial, se ejecutó un modelado continuo de 360 grados centrado en las coordenadas geográficas del proyecto (19°10′15.3″ N, 98°15′02.2″ W). En este modelo se evaluaron los vectores de propagación de los potenciales efectos directos e indirectos (generación de ruido, polvo, dispersión de sedimentos en el cauce del río y alteración del tránsito socioeconómico local).

El polígono continuo resultante de la Región Ecológica trasciende las fronteras administrativas (abarcando sectores de los municipios de Xicohtzinco, Zacatelco, Papalotla, Santa Catarina Ayometla, San Lorenzo Axocomanitla y áreas adyacentes del Estado de Puebla), consolidando una unidad ambiental homogénea y funcional desde el punto de vista biofísico e hidrológico.

FIGURA 23 RESUMEN DE CRITERIOS Y MÉTODOS PARA LA DELIMITACIÓN DE LA REGIÓN ECOLÓGICA

Criterios para Delimitación	Insumos y Métodos Utilizados	Justificación Técnica de Selección
Hidrología Superficial y Subcuencas	Continuo de Elevación Digital (CEM 3.0 INEGI), Red Hidrográfica Digital. Delimitación de las Subcuencas Río Zahuapan y Río Atoyac - San Martín.	El Río Zahuapan constituye el eje ambiental y dinámico principal sobre el cual se desplantará el puente. El criterio hidrológico permite capturar los procesos de flujo, avenidas estacionales y transporte de sedimentos.
Geología y Geomorfología	Cartografía Geológica INEGI Escala 1:250,000. Análisis de depósitos aluviales $Q(al)$ y tobas intermedias $Ts(Ti)$.	Establece la frontera fisiográfica del valle intermontano del Altiplano Tlaxcalteca, evaluando la estabilidad estructural, capacidad portante del subsuelo y dinámica sedimentaria del lecho.
Edafología	Conjunto vectorial edafológico INEGI 1:250,000. Clasificación de suelos (Fluvisoles, Feozems, Cambisoles).	Identifica la continuidad de los suelos de ribera e hidromórficos de alta permeabilidad y susceptibilidad a la erosión hídrica en los bordes del cauce.
Uso de Suelo y Vegetación (USV)	Cartografía Serie VII INEGI + Validación con ortomosaico de alta resolución (Dron RTK).	Delimita la matriz antrópica donde interactúa el proyecto, caracterizada por agricultura de riego/temporal y asentamientos urbanos, diferenciando parches de vegetación ruderal y riberina.

Criterios para Delimitación	Insumos y Métodos Utilizados	Justificación Técnica de Selección
Regionalización Ecológica (POEGT)	Subsistema de Información para el Ordenamiento Ecológico (SIORE - SEMARNAT).	Incorpora la Unidad Ambiental Biofísica UAB-57, asegurando congruencia con los lineamientos, políticas ambientales y estrategias del ordenamiento ecológico federal.

FIGURA 24 CARTA HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

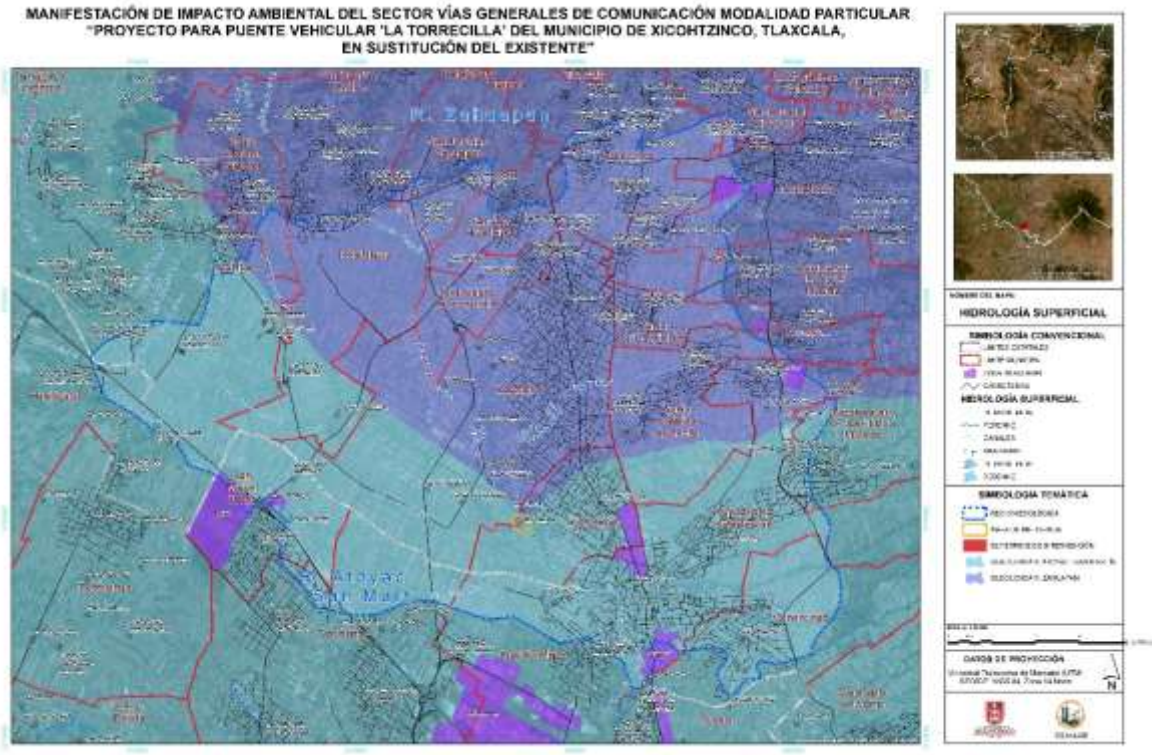


FIGURA 25 CARTA USO DE SUELO Y VEGETACIÓN

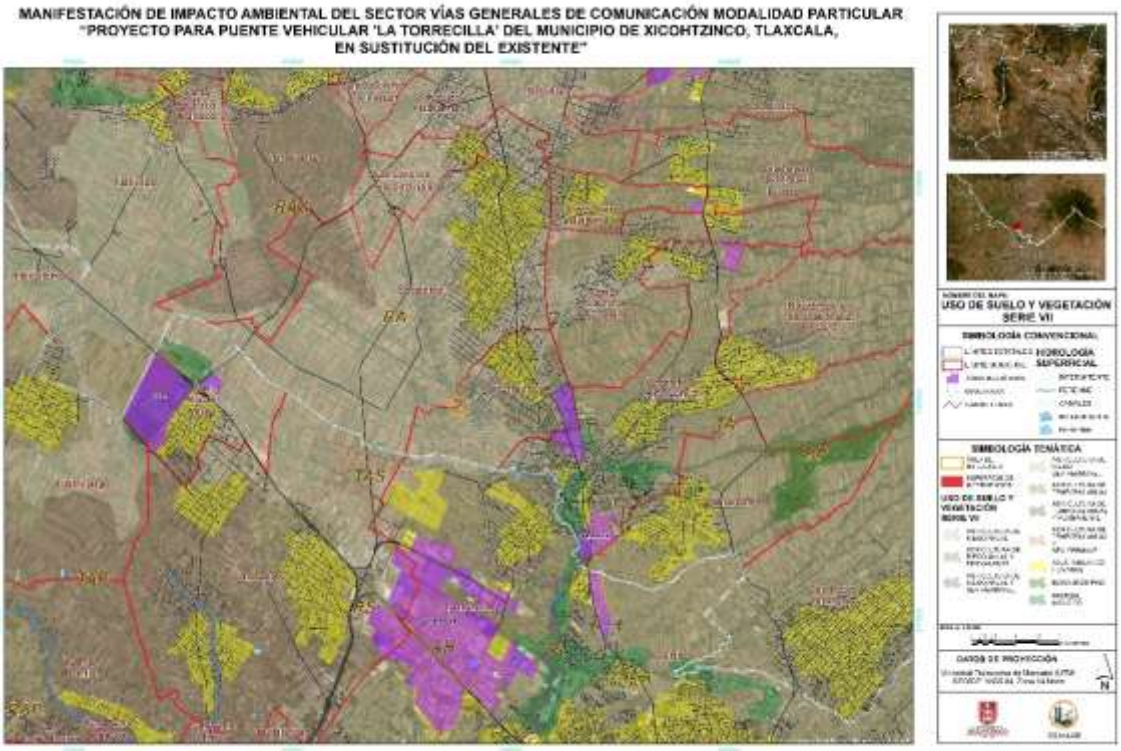


FIGURA 26 CARTA DE EDAFOLOGÍA

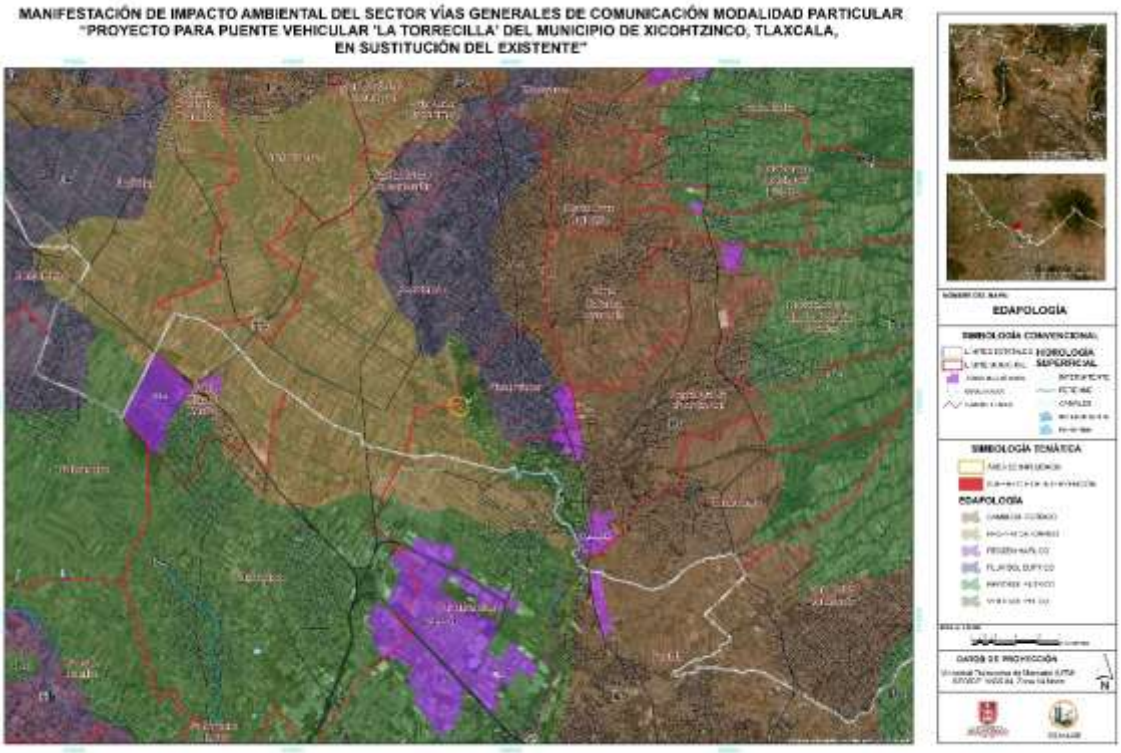
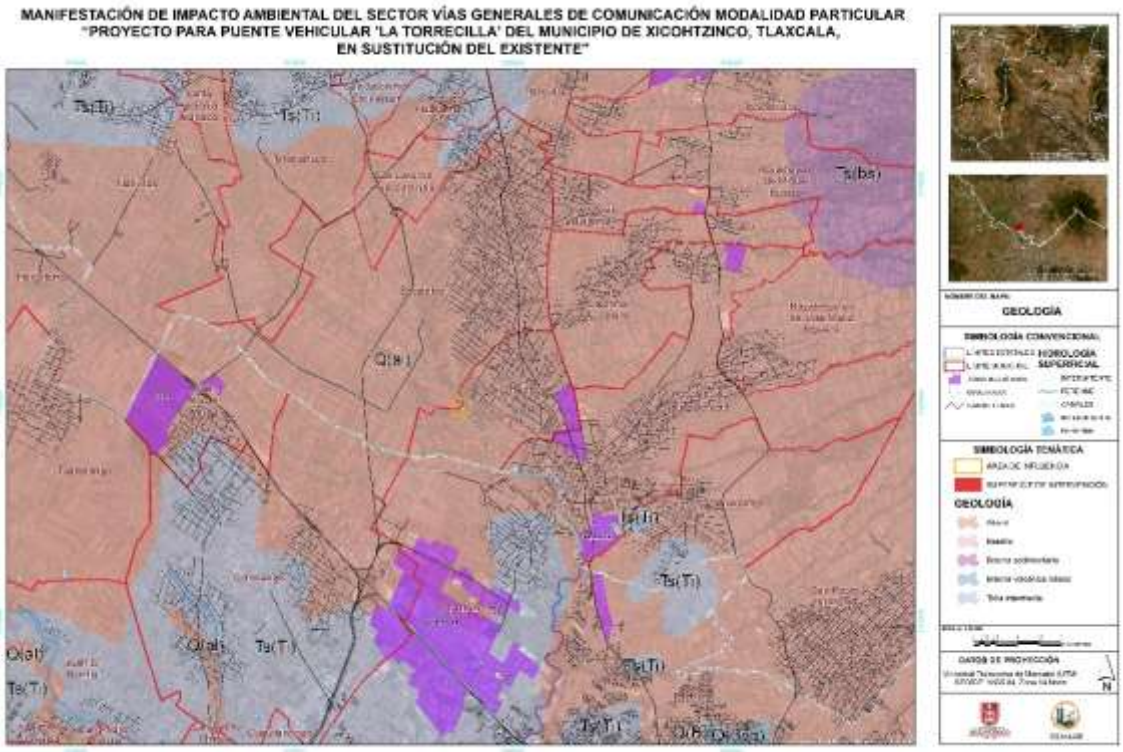


FIGURA 27 CARTA GEOLOGÍA



3.1.4 Superficie de la Región Ecológica

Finalmente se obtuvo una Región Ecológica delimitada que abarca una superficie de 13,820.63 hectáreas (138.21 km^2), con un perímetro aproximado de 60.5 km y una extensión máxima de 17.2 km en sentido este-oeste por 13.4 km en sentido norte-sur. Su centroide se ubica en las coordenadas geográficas 19.1946° N, 98.2519° O, dentro del municipio de Xicohtzinco, y el polígono se extiende hacia los municipios colindantes de Zacatelco, Santa Catarina Ayometla, Nativitas, Tepeyanco y Papalotla de Xicohténcatl.

FIGURA 28 POLÍGONO DE LA REGIÓN ECOLÓGICA (RE) DELIMITADA PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE VEHICULAR, MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA.

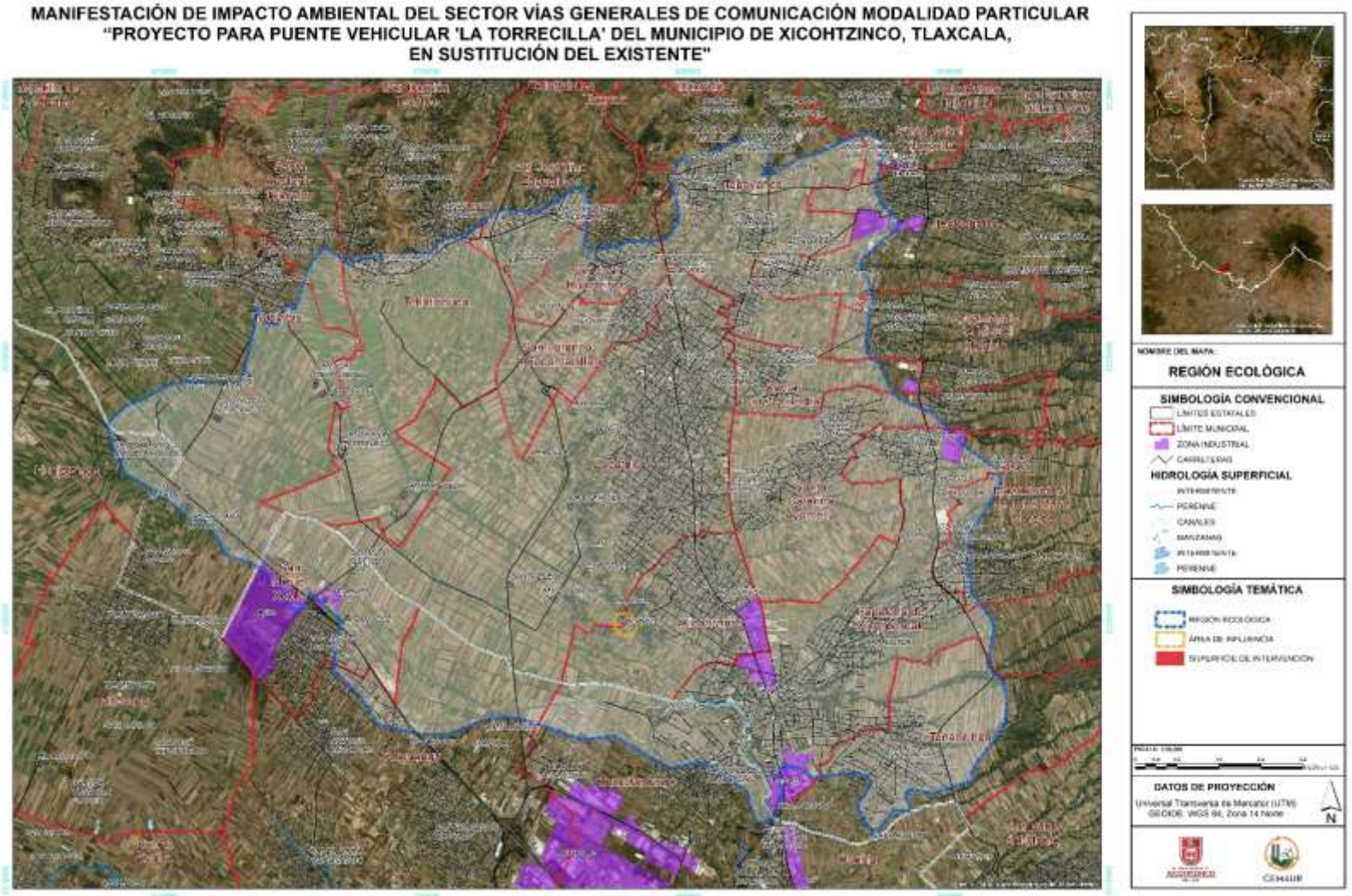


TABLA 14 COORDENADAS REGIÓN ECOLÓGICA

VERTICE	UTM X	UTM Y
1	583439.314	2116732.115
2	583450.513	2116747.251
3	583494.088	2116905.750
4	583409.477	2117013.239
5	583241.635	2117062.529
6	583009.984	2117047.742
7	582701.654	2116999.235
8	582515.607	2116984.012
9	582354.309	2116988.798
10	582232.189	2117088.773
11	582090.091	2117157.734
12	581821.264	2117219.256
13	581703.422	2116976.734
14	581749.404	2116844.781
15	581835.855	2116718.270
16	581767.314	2116609.751
17	581705.984	2116475.762
18	581639.147	2116224.802
19	581450.228	2116124.248
20	581320.265	2116136.355
21	581157.827	2116545.105
22	581156.577	2116671.106
23	581062.800	2116769.525
24	580877.818	2116883.029
25	580574.239	2117125.244
26	580262.753	2117264.508
27	579646.593	2117155.746
28	578582.851	2117770.514
29	578001.188	2117691.999
30	576778.687	2118107.213
31	576466.681	2118131.254
32	576093.209	2118071.989
33	575426.905	2117796.257
34	574876.386	2117806.005
35	574073.189	2117992.244
36	573740.155	2118517.968
37	573250.926	2119023.470
38	573266.988	2119334.951
39	573180.858	2119539.447

VERTICE	UTM X	UTM Y
40	573413.728	2119949.967
41	572784.403	2120495.926
42	572579.429	2120152.717
43	572440.074	2120198.482
44	572126.000	2120703.179
45	571871.922	2120947.678
46	571643.050	2121072.206
47	571168.504	2121223.701
48	571033.595	2121519.928
49	570770.420	2121864.935
50	570451.873	2121957.452
51	569917.667	2122390.431
52	569249.318	2122775.134
53	568968.557	2123464.632
54	568911.550	2123713.115
55	569264.213	2124059.653
56	569605.382	2124188.644
57	570075.887	2124457.435
58	570391.571	2124531.144
59	571380.289	2124436.142
60	571537.356	2124743.133
61	571745.444	2125701.354
62	571749.927	2125971.517
63	571899.754	2125639.679
64	572171.362	2125627.259
65	572332.913	2125982.934
66	572500.650	2125903.871
67	572725.758	2126637.370
68	572838.886	2126841.868
69	573097.877	2127129.862
70	573108.996	2127072.555
71	573474.567	2126813.580
72	574417.067	2126959.346
73	575066.230	2126981.355
74	575292.367	2127225.063
75	575837.896	2127368.068
76	576323.303	2127765.343
77	576488.359	2127817.074
78	577004.884	2127756.305

VERTICE	UTM X	UTM Y
79	577277.064	2127846.803
80	577894.804	2128243.782
81	578059.915	2128131.314
82	578126.589	2127832.843
83	578002.105	2127113.830
84	578205.882	2127044.841
85	578365.216	2127052.579
86	578657.872	2127105.091
87	578828.390	2127188.842
88	579584.964	2127250.832
89	579809.937	2127543.809
90	579826.099	2127824.555
91	579713.593	2128204.800
92	579717.618	2128446.336
93	579821.835	2128707.554
94	579948.070	2128829.306
95	580393.620	2128904.040
96	581061.892	2129162.013
97	581425.008	2129100.561
98	581564.986	2128859.826
99	581515.893	2128643.773
100	581406.375	2128472.781
101	581627.876	2128480.533
102	582114.929	2128784.568
103	582550.587	2128911.079
104	583083.161	2129182.287
105	583405.732	2129261.077
106	583679.943	2129146.041
107	583761.888	2128939.026
108	583690.672	2128697.328
109	583567.851	2128251.039
110	583684.976	2127933.597
111	584000.041	2127624.104
112	584046.918	2127509.847
113	583316.221	2126855.866
114	583299.168	2126672.328
115	583448.099	2126456.835
116	583521.253	2126157.594
117	583390.843	2125273.113
118	583425.123	2125075.860
119	583496.807	2124961.377
120	583630.047	2124899.371

VERTICE	UTM X	UTM Y
121	583915.503	2124314.394
122	584059.598	2124175.893
123	584685.590	2123918.622
124	585239.022	2123324.390
125	585901.123	2122851.148
126	585986.042	2122654.668
127	585911.347	2122437.439
128	585398.449	2121645.157
129	585332.754	2121129.671
130	585423.816	2120493.458
131	585816.922	2119961.465
132	585845.447	2119822.243
133	585710.561	2119146.257
134	585788.950	2119006.507
135	586040.616	2118779.498
136	586095.586	2118429.237
137	586048.921	2118015.983
138	585930.206	2117779.996
139	585520.608	2117274.272
140	585421.872	2117069.239
141	585461.047	2116924.275
142	584685.927	2116678.065
143	584222.155	2116751.122
144	584131.121	2116614.763
145	584240.959	2116461.423
146	584238.203	2116335.708
147	583924.189	2116355.168
148	583600.257	2115922.054
149	583539.927	2115896.808
150	583468.129	2116030.294
151	583343.172	2116206.520
152	583303.949	2116289.283
153	583253.095	2116389.809
154	583263.903	2116517.009
155	583439.314	2116732.115

3.2 Componentes Ambientales

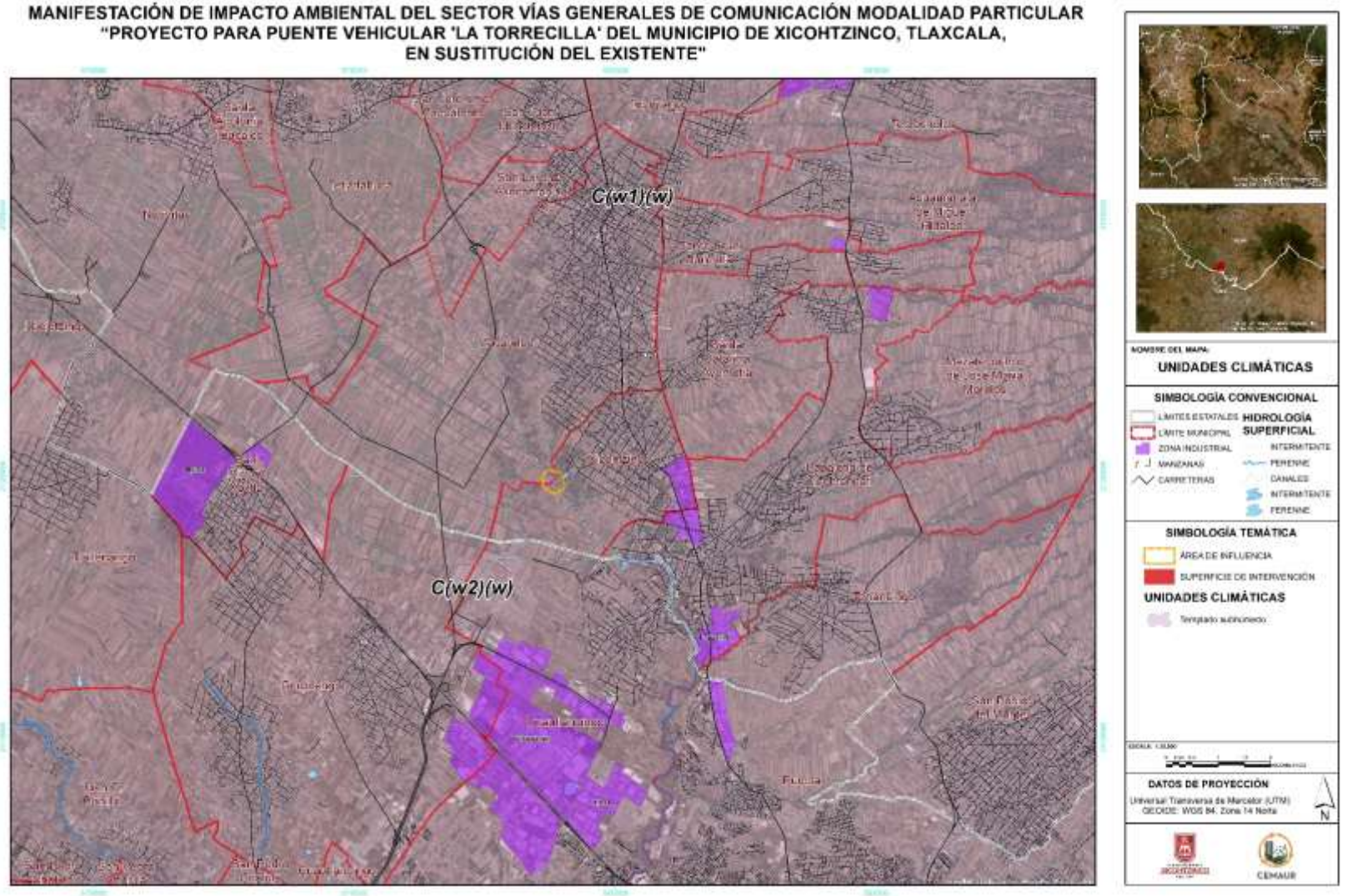
A continuación, se describen los componentes abióticos (clima, geología, geomorfología, edafología, hidrología superficial y subterránea) y bióticos (uso de suelo, vegetación y fauna asociada) que caracterizan la Región Ecológica. La descripción de los componentes abióticos se elaboró mediante un análisis de intersección espacial (SIG) entre el polígono de la RE y las capas temáticas oficiales de INEGI y CONAGUA, cuyos resultados cuantitativos (superficie y porcentaje de incidencia dentro de la RE) se resumen a continuación.

3.2.1 Abióticos

3.2.1.1 Clima.

La totalidad de la RE se ubica dentro del grupo de climas templados subhúmedos (C(w)), con dos subtipos: C(w1), templado subhúmedo con lluvias de verano de humedad media (índice P/T entre 43.2 y 55; precipitación del mes más seco menor a 40 mm; lluvia invernal del 5 al 10.2% anual), que cubre el 35.89% de la RE (4,960.1 ha); y C(w2), templado subhúmedo con lluvias de verano más abundantes (índice P/T mayor a 55), que cubre el 64.11% restante (8,860.6 ha). Ambos subtipos presentan temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre –3°C y 18°C, y temperatura del mes más cálido inferior a 22°C (INEGI/CONABIO, carta de Climas).

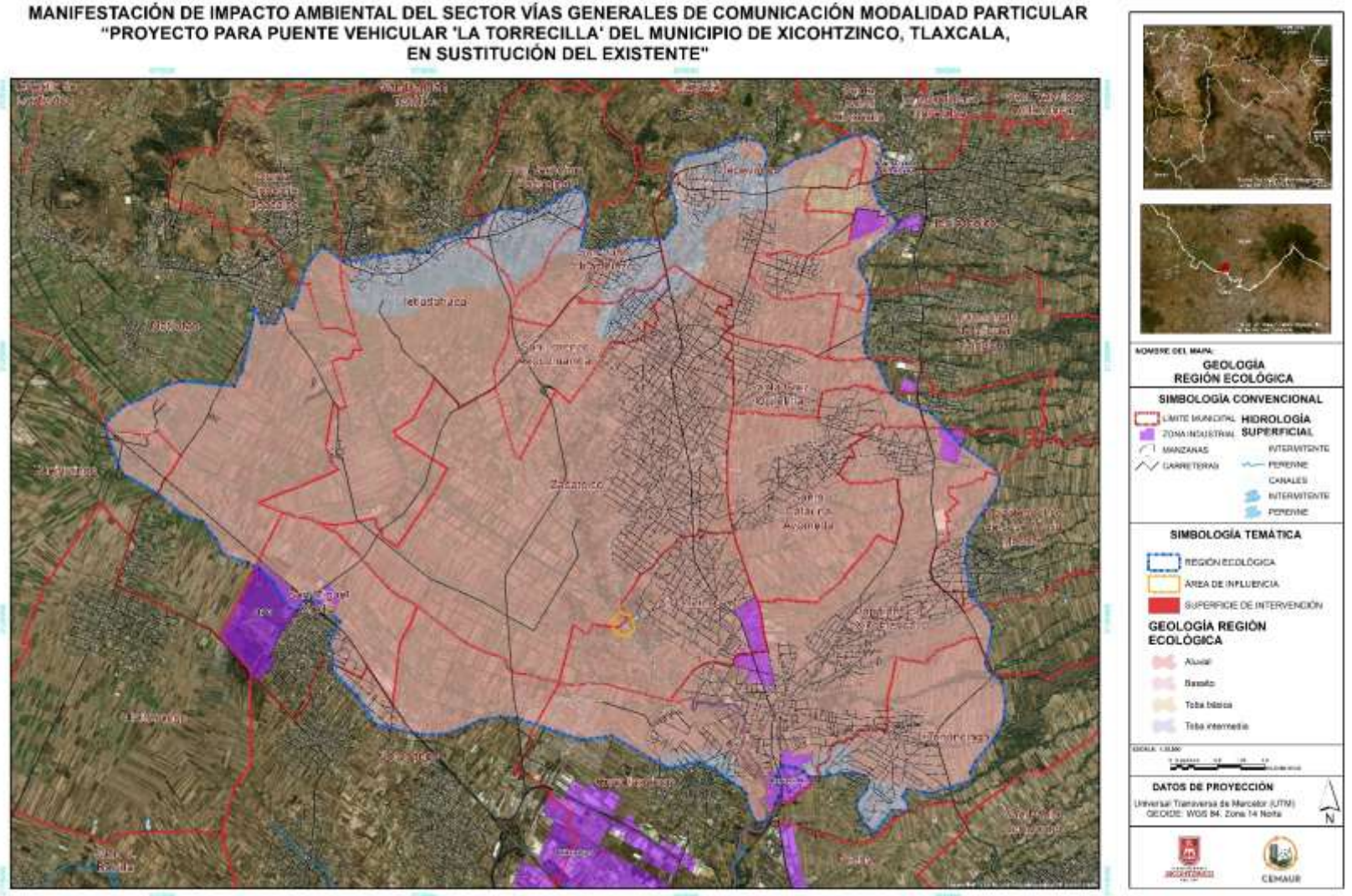
FIGURA 29 CLIMA



3.2.1.2 Geología

Predominan materiales sedimentarios y volcánicos del Cuaternario (Holoceno–Pleistoceno): depósitos aluviales (Qhoal), 62.14% de la RE (8,588.0 ha), que corresponden al piso de valle donde se asienta la agricultura de riego y los asentamientos humanos, incluido el sitio del proyecto; toba dacítica (QpthoTDa), 31.76% (4,389.0 ha); toba andesítica-andesita (QptTA-A), 2.67% (369.0 ha); lahar-toba andesítica (QhoLh-TA), 1.80% (248.7 ha); y andesita-basalto (QhoA-B), 1.63% (225.9 ha); estas cuatro últimas unidades de origen extrusivo (volcánico), ubicadas en la porción serrana y de lomeríos de la microcuenca (Servicio Geológico Mexicano/INEGI).

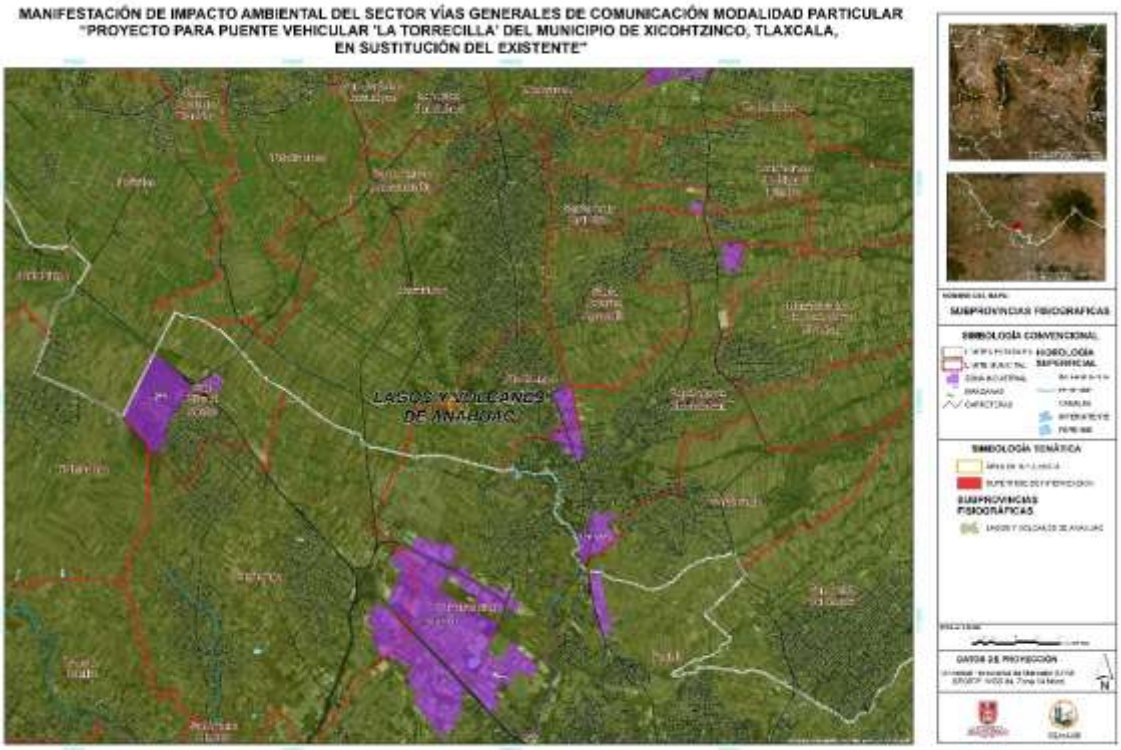
FIGURA 30 GEOLOGÍA



3.2.1.3 Geomorfología (provincias y subprovincias).

Fisiográficamente, la RE se ubica en la provincia del Eje Neovolcánico, subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac (INEGI), comprendiendo llanura aluvial con lomerío (48.98%, 6,769.8 ha), sierra volcánica con estratovolcanes aislados (43.17%, 5,966.2 ha) y lomerío de tobas (7.85%, 1,084.6 ha).

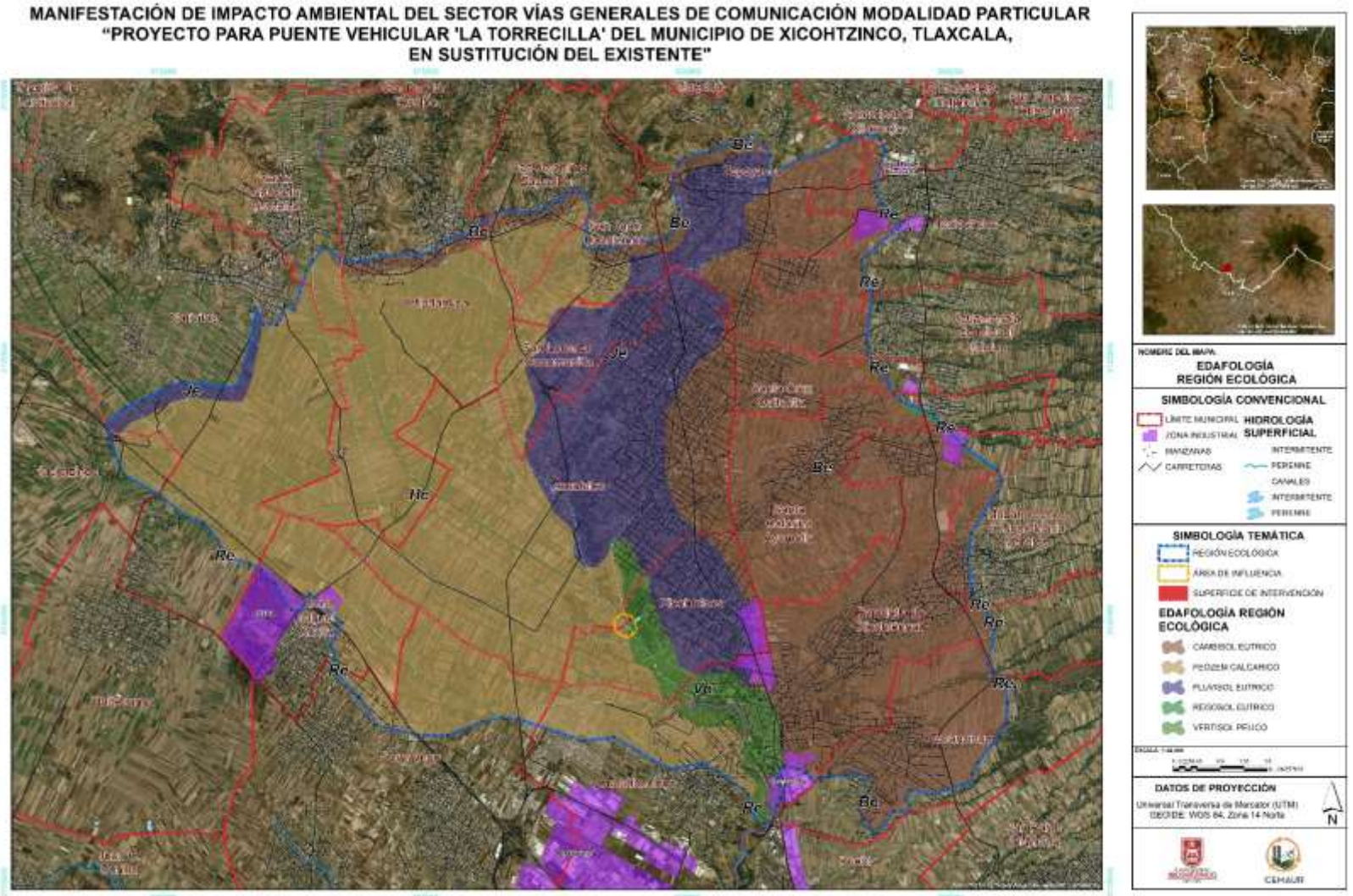
FIGURA 31 SUBPROVINCIAS



3.2.1.4 Edafología

Destacan dos unidades dominantes: Phaeozem calcárico-loámico asociado a Fluvisol éutrico (PHca-lo+FLeu/2), suelo agrícola profundo y fértil típico del valle, con 37.57% de la RE (5,192.8 ha); y Technosol ecránico-úrbico (TCek-ub), suelo fuertemente modificado o sellado por construcción urbana, con 31.84% (4,400.2 ha) —indicativo del alto grado de urbanización de la RE—. Las unidades restantes (Cambisol flúvico-arénico con Fluvisol esquelético-éutrico, 11.79%; Fluvisol éutrico-ócrico con Phaeozem gléyico, 10.13%; Acrisol háplico-arénico con Regosol hiperdistrico, 4.20%; Cambisol éutrico-arénico con Arenosol prótico, 2.69%; Arenosol prótico-ócrico con Phaeozem háplico-arénico, 1.24%; y Durisol epipetrico, 0.50%) en conjunto representan el 8.68% restante, distribuidas en lomeríos y márgenes de cauces (INEGI, carta Edafológica).

FIGURA 32 EDAFOLOGÍA



3.2.1.5 Hidrología superficial (cuenca)

El 100% de la RE se localiza dentro de la Región Hidrológica No. 18 'Río Balsas', cuenca del río Atoyac (clave RH18A), de tipo exorreica, con una extensión total de 31,480.54 km^2 (CONAGUA). Dentro de esta cuenca, la RE corresponde específicamente a la microcuenca de un arroyo tributario del río Zahuapan, que a su vez drena hacia el río Atoyac, y que cruza el municipio de Xicohtzinco en el sitio del proyecto.

3.2.1.6 Hidrología subterránea (acuíferos).

La RE se sobrepone a dos acuíferos administrados por CONAGUA, ambos con disponibilidad media anual de agua ('Con disponibilidad'): Alto Atoyac (clave 2901), con 26.56 hm^2 de disponibilidad, que cubre el 90.47% de la RE (12,503.9 ha); y Valle de Puebla (clave 2104), con 18.02 hm^3 de disponibilidad, que cubre el 9.53% restante (1,316.8 ha).

El acuífero del valle de Puebla está formado geológicamente en su parte superior por materiales aluviales no consolidados, como son la grava, arenas y arcilla, que en conjunto presentan una permeabilidad general media-alta a alta. El acuífero se puede distinguir en un sistema de tres unidades denominadas superior, media y profunda. La unidad superior presenta buena calidad de agua, la unidad media se caracteriza por tener agua sulfurosa y el profundo que se encuentra antes del basamento rocoso. La unidad superior recibe directamente una recarga subterránea proveniente de las regiones altas de la cuenca como son las estribaciones del volcán de la Malinche la Sierra Nevada. Esta es la unidad que tradicionalmente se ha explotado por medio de pozos.

La situación administrativa del acuífero es de jurisdicción territorial de .la Dirección Local en Puebla. Todos los municipios que abarca el acuífero Valle de Puebla se encuentran vedados, a excepción de San Nicolas de los Ranchos y todos ellos tiene veda de tipo 1, rígida, donde no es posible aumentar las extracciones. El uso principal del agua es el público-urbano.

El área de aprovechamiento del municipio es llamada Atoyac San Martín Texmelucan, que es la que tiene mayor disposición de agua, especialmente en su parte occidente ya que su condición de explotación se encuentra subexplotada, en esta zona el sentido de la dirección del flujo subterráneo es de poniente a oriente y cuenta con una permeabilidad en material no consolidado alta. La población se abastece a través de pozos artesianos que implican un manejo inadecuado del recurso. Existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de 18,017,454 m^3 anuales.

El acuífero Alto Atoyac, definido con la clave 2901 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción central del Estado de Tlaxcala, entre los paralelos

19°10’ y 19°35’ latitud norte y los meridianos 97°58’ y 98°21’ longitud oeste, cubriendo una superficie de 2,032 km^2

El acuífero Alto Atoyac pertenece al Organismo de Cuenca Balsas y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Tlaxcala. Su territorio se encuentra parcialmente vedado sujeto a la disposición de cuatro decretos. En una pequeña porción de su extremo oriental, rige el “Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo de la cuenca cerrada denominada Oriental, en los Estados de Puebla y Tlaxcala.”, publicado en el DOF el 19 de agosto de1954.

El principal uso es el público-urbano. En la porción suroccidental del acuífero se localiza el Distrito de Riego 056 “Atoyac-Zahuapan”. A la fecha no se ha constituido a la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

La disponibilidad de aguas subterráneas constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas.

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de 26,562,619 m^3 anuales.

FIGURA 33 HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

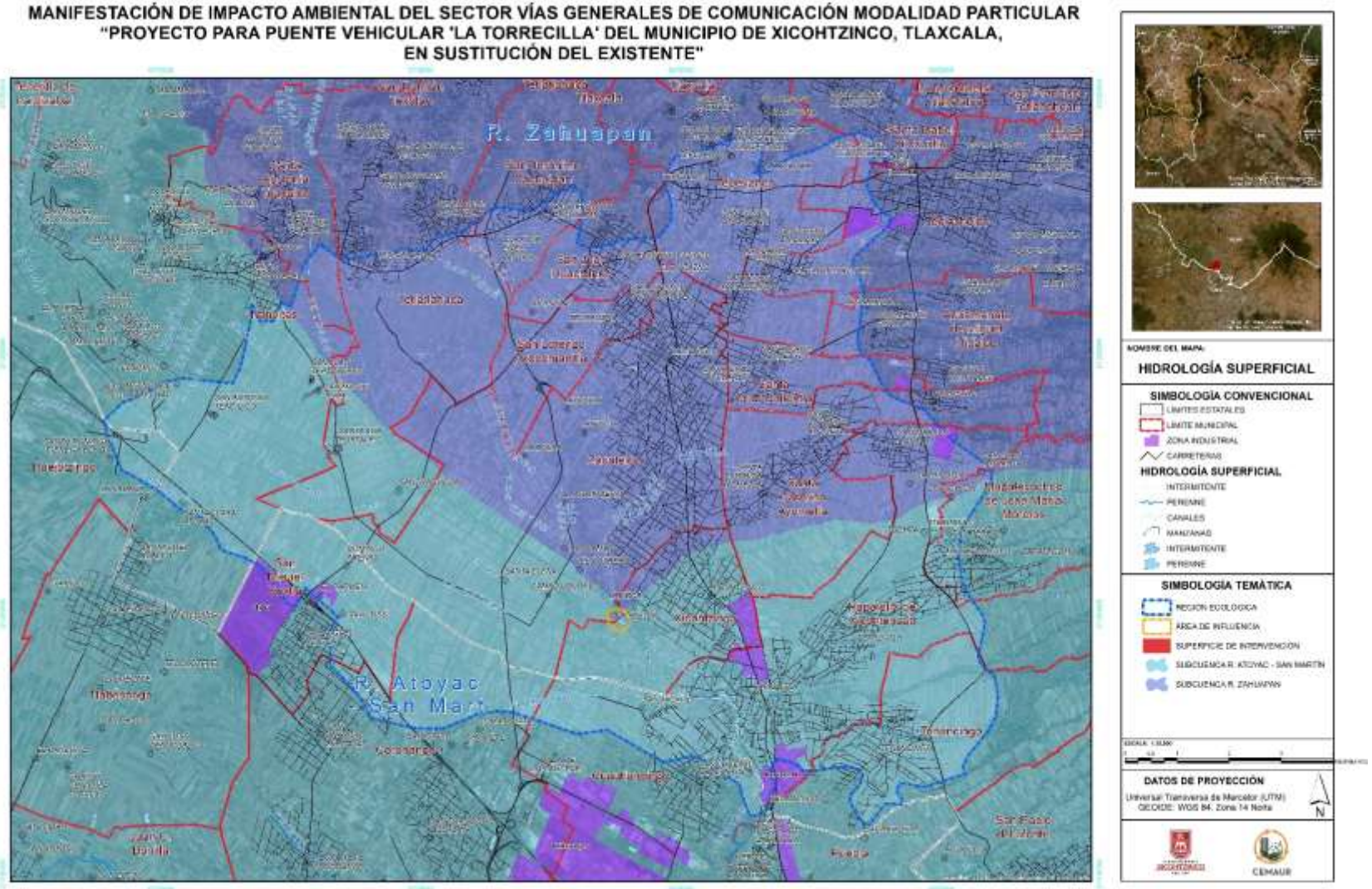
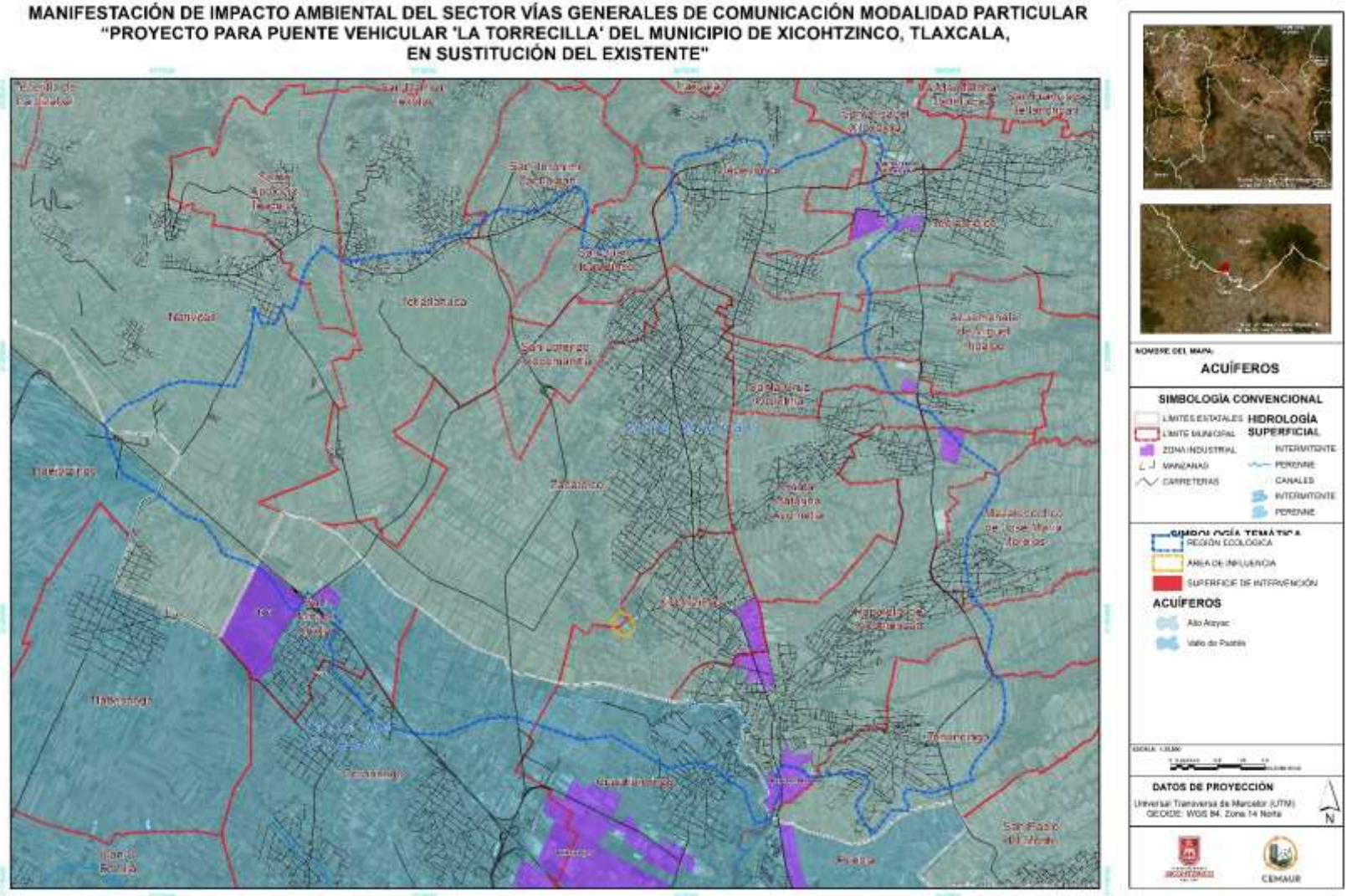


FIGURA 34 HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA (ACUÍFEROS)



3.2.2 Medio socioeconómico

El presente análisis caracteriza el medio socioeconómico correspondiente al polígono de la Región Ecológica (Sistema Ambiental) que sirve de referencia territorial al proyecto. La información proviene de dos reportes de resultados generados a partir de la consulta geoespacial del polígono de incidencia:

El área de incidencia comprende 44 localidades distribuidas en 20 municipios de dos entidades federativas: Tlaxcala y Puebla.

3.2.2.1 Población total

La Región Ecológica incide sobre una población total de 282,535 habitantes, de los cuales 145,648 son mujeres (51.6%) y 136,887 son hombres (48.4%), agrupados en 70,735 viviendas. La relación resultante es de 3.99 habitantes por vivienda, cifra cercana al promedio nacional de ocupación de vivienda.

Indicador	Total
Población total	282,535
Población femenina	145,648 (51.6%)
Población masculina	136,887 (48.4%)
Total de viviendas	70,735
Promedio de habitantes por vivienda	3.99
Localidades identificadas	44
Municipios	20
Entidades federativas	2 (Tlaxcala y Puebla)

Tlaxcala concentra la mayor parte de la población y de las localidades del área de incidencia: 35 localidades, 214,043 habitantes (75.8%) y 51,297 viviendas. Puebla aporta 8 localidades (excluyendo el registro anómalo), 68,492 habitantes (24.2%) y 19,438 viviendas.

De las 44 localidades identificadas dentro del polígono, 28 (63.6%) están clasificadas como urbanas y 16 (36.4%) como rurales. Sin embargo, al ponderar por población la concentración urbana es aún más marcada: el ámbito urbano reúne 268,482 habitantes (95.0% del total), mientras que el ámbito rural agrupa 14,053 habitantes (5.0%), lo que refleja un patrón de asentamiento predominantemente urbano-conurbado típico de la zona metropolitana Puebla-Tlaxcala.

Las localidades rurales, aunque numerosas, corresponden en su mayoría a núcleos de población pequeños (rancherías, colonias y localidades dispersas) con menos de 1,000 habitantes cada una, mientras que el ámbito urbano incluye cabeceras

municipales con población superior a 10,000 habitantes, como Zacatelco, Papalotla, San Jacinto, Teolocholco y San Lorenzo Almecatla.

En términos de ocupación de vivienda, ambos ámbitos son similares: 4.00 habitantes por vivienda en el ámbito urbano frente a 3.86 en el rural, sin diferencias significativas en el tamaño promedio del hogar.

TABLA 15 LOCALIDADES CON MAYOR POBLACIÓN

Localidad	Municipio	Ámbito	Población	Viviendas
Zacatelco	Zacatelco	Urbana	45,587	11,337
Papalotla	Papalotla de Xicohténcatl	Urbana	28,657	7,272
San Jacinto	Cuautlancingo	Urbana	26,628	8,826
Teolocholco	Teolocholco	Urbana	19,147	4,355
San Lorenzo Almecatla	Cuautlancingo	Urbana	18,303	4,962
Xicohtzinco	Xicohtzinco	Urbana	14,197	3,634
Tenancingo	Tenancingo	Urbana	12,892	2,889
San Miguel Xoxtla	San Miguel Xoxtla	Urbana	12,060	2,750
Mazatecochco	Mazatecochco de José María Morelos	Urbana	11,580	2,516
Santa Catarina Ayometla	Santa Catarina Ayometla	Urbana	9,458	2,217

FIGURA 35 POBLACION MASCULINA Y FEMENINA AGREGADA POR AMBITO URBANO Y RURAL

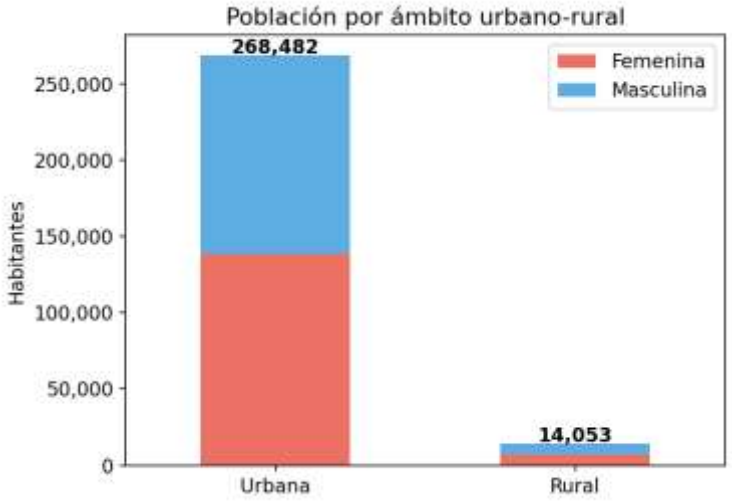
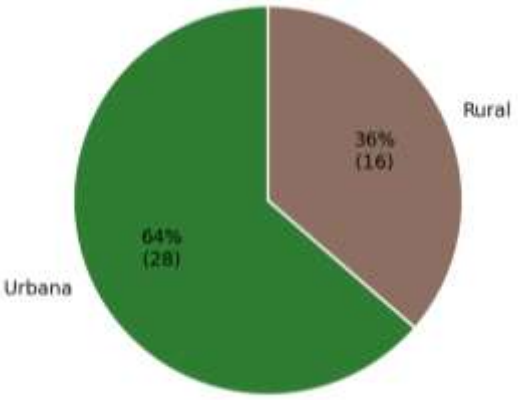
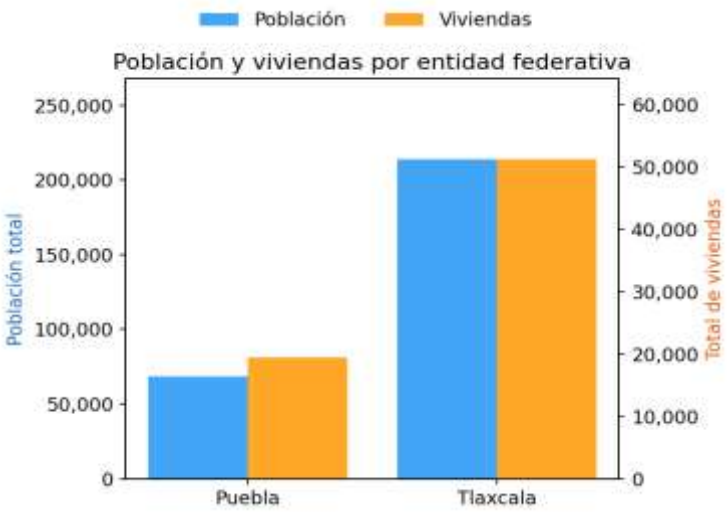


FIGURA 36 DISTRIBUCION DE LOCALIDADES POR TIPO





3.2.2.2 Infraestructura y equipamiento

El inventario de equipamiento urbano identificado dentro del polígono registra 38 elementos de infraestructura y servicios, agrupados en 11 categorías. Destacan por su número las estaciones de abastecimiento de combustible (13 elementos: 10 gasolineras y 3 estaciones de carburación) y las sedes de gobierno municipal (12 palacios municipales), lo que es consistente con un territorio que abarca 20 cabeceras municipales.

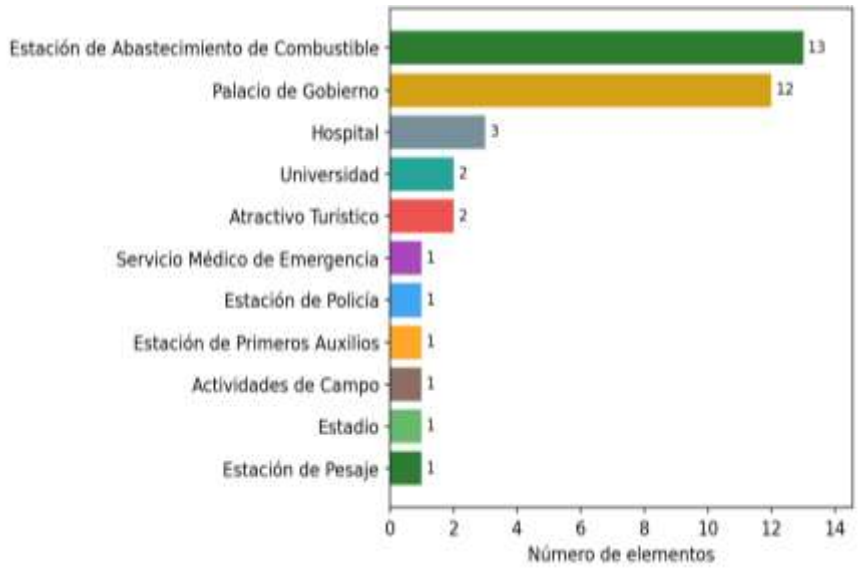
En materia de salud, el área cuenta con 3 hospitales (Hospital Comunitario de Zacatelco, Hospital General de Natívitas y Hospital Vista Médik), además de una estación de primeros auxilios y un servicio médico de emergencia (Cruz Roja, delegación Zacatelco). En educación superior se identificaron 2 universidades (UAT, Facultad de Ciencias de la Salud, y la Universidad Politécnica de Tlaxcala).

El equipamiento se completa con un estadio, una estación de pesaje, una estación de policía y dos atractivos turísticos.

TABLA 16 INFRAESTRUCTURA Y EQUIPAMIENTO IDENTIFICADO DENTRO DEL POLÍGONO DE LA RE

Categoría de infraestructura	Número de elementos
Estación de Abastecimiento de Combustible	13
Palacio de Gobierno	12
Hospital	3
Universidad	2
Atractivo Turístico	2
Actividades de Campo (ecoturismo)	1
Estación de Pesaje	1
Estadio	1
Estación de Primeros Auxilios	1
Estación de Policía	1
Servicio Médico de Emergencia	1

FIGURA 37 INFRAESTRUCTURA Y EQUIPAMIENTO POR CATEGORIA



3.2.3 Paisaje

En los últimos años ha tomado particular importancia el reconocimiento y valoración de la calidad estética del medio natural, por ser una cualidad integradora de diversos factores ambientales.

La calidad estética del medio natural actualmente sirve de base para determinar los potenciales impactos que pueden acarrear ciertas actividades humanas, así como para la Planificación y Conservación del paisaje (Milán, 2004)

Para la valoración del paisaje existen diferentes métodos, ya sean directos, indirectos o mixtos. Para el presente proyecto se realizará una valoración de acuerdo al modelo del Buró de Manejo del Suelo y Servicios Forestales de los Estados Unidos (BLM, 1980). Este se basa en evaluar la calidad visual a partir de características básicas, forma, línea, color y textura de los componentes del paisaje.

El procedimiento parte de considerar unidades de estudio homogéneas, en las cuales se evalúan los principales componentes del paisaje que se muestran en la siguiente tabla:

TABLA 17 EVALUACIÓN PAISAJISTA.

Componentes del Paisaje	Estado del Componente		
Morfología del territorio 	Relieve muy montañoso, formado por grandes acantilados, grandes formaciones rocosas. O bien, relieve de gran variedad superficial o muy erosionado, dunas o bien algún rasgo singular sobresaliente. Valor: 5 puntos	Formas erosivas importantes o relieve variado en tamaño y forma. Presencia de elementos importantes, pero no dominantes o excepcionales. Valor: 3 puntos	Colinas suaves, fondos de valles planos, pocos o ningún detalle singular. Valor: 1 punto
Vegetación 	Gran variedad de tipos de vegetación, con formas, texturas y distribuciones importantes. Valor: 5 puntos	Abundancia de vegetación, pero solo uno o dos tipos. Valor: 3 puntos	Poca o ninguna variedad o contraste de la vegetación. Valor: 1 punto

Componentes del Paisaje	Estado del Componente		
Agua 	Como factor dominante en el paisaje, con apariencia limpia y clara, en cascadas o saltos o en láminas en reposo. Valor: 5 puntos	Agua en movimiento o en reposo en el paisaje, pero no dominante. Valor: 3 puntos	Ausente o inapreciable. Valor: 0 puntos
Color 	Combinaciones de colores intensos o variados o contrastes agradables en el suelo, vegetación, agua y roca. Valor: 5 puntos	Alguna variedad o intensidad en los colores y contrastes del suelo, roca y vegetación, pero actúa como elemento dominante. Valor: 3 puntos	Muy poca variación en la coloración o contrastes. Colores apagados Valor: 1 punto
Fondo escénico	El paisaje circundante potencia la calidad visual. Valor: 5 puntos	El paisaje circundante incrementa moderadamente la calidad visual del entorno. Valor: 3 puntos	El paisaje adyacente no ejerce influencia en la calidad del conjunto. Valor: 0 puntos
Rareza	Único, poco corriente o único en la región, posibilidad de contemplar vegetación y	Característico, aunque similar a otros en la región.	Bastante común en la región.

Componentes del Paisaje	Estado del Componente		
	fauna excepcional. Valor: 6 puntos	Valor: 2 puntos	Valor: 1 punto
Actuaciones Humanas 	Libre de actuaciones estéticamente no deseadas o con modificaciones que inciden favorablemente en la calidad visual. Valor: 2 puntos	La calidad estética está afectada por modificaciones poco armoniosas, aunque no en su totalidad o las actuaciones no añaden calidad visual. Valor: 0 puntos	Modificaciones intensas y extensas que reducen o anulan la calidad escénica. Valor: -

Fuente: Elaborada de acuerdo al modelo del Buró de Manejo del Suelo y Servicios Forestales de los Estados Unidos.

En las Unidades de Paisaje detalladas en el apartado anterior, se valoran los aspectos de morfología, vegetación, agua, color, vistas escénicas, rareza y modificaciones por actuaciones humanas.

Según la suma total de las valoraciones que recibe, cada Unidad de Paisaje se clasifica según los siguientes rangos de calidad visual:

- Clase A (calidad visual ALTA): Áreas que reúnen características excepcionales, para cada aspecto considerado (de 19 a 33 puntos).

- Clase B (calidad visual MEDIA): Áreas que reúnen una mezcla de características excepcionales para algunos aspectos y comunes para otros (de 12 a 18 puntos).

- Clase C (calidad visual BAJA): Áreas con características comunes en la región fisiográfica considerada (de 0 a 11 puntos).

Así, la valoración para la calidad visual según el método BLM para cada una de las Unidades de Paisaje presentes en el ámbito del proyecto resulta como se muestra en la siguiente tabla.

Resultados de la valoración

Los resultados de la valoración de calidad paisajística se presentan en la tabla siguiente:

TABLA 18 VALORACIÓN DE CALIDAD PAISAJÍSTICA.

Componente	Morfología	Vegetación	Agua	Color	Fondo Escénico	Rareza	Acción Humana
Valor	1	3	3	1	3	1	0
Total	12						

Esta puntuación corresponde a la Clase B. Estas áreas reúnen una mezcla de características excepcionales para algunos aspectos y comunes para otros.

Debido a su ubicación, el sitio del proyecto presenta una morfología llana; por esta razón, se le asignó un valor de 1 ya que no presenta elementos dominantes.

En el rubro de la vegetación, se asignó un valor de 3 debido a que el sitio presenta una diversidad de especies moderada. Esta calificación refleja una composición florística variada, caracterizada principalmente por la presencia de Fresnos, Alisos y Sauces.

Respecto al componente agua, se identificó flujo activo en los escurrimientos locales; sin embargo, este caudal proviene principalmente de descargas de aguas residuales. Asimismo, se observó un deterioro severo debido a la acumulación significativa de residuos sólidos urbanos por lo que se le asigno el valor de 3.

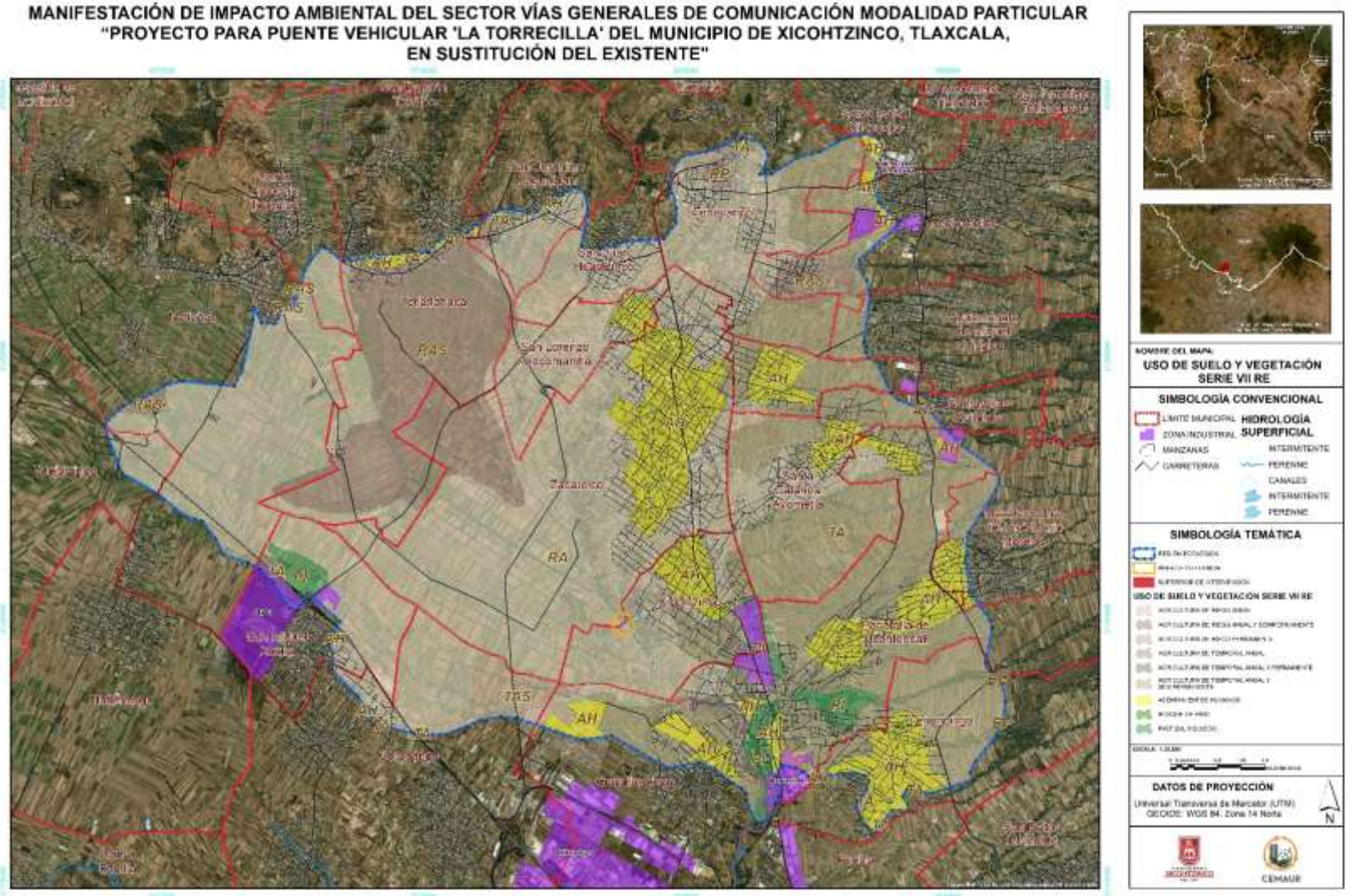
En relación con los componentes de color y fondo escénico, se asignó un valor de 3 y 1 debido a que el paisaje circundante aporta una calidad visual moderada al entorno del proyecto. Esto se debe a que la combinación de los contrastes cromáticos de la vegetación local genera una composición visual que, aunque muestra indicios de perturbación antrópica, aún conserva un valor estético y escénico de nivel medio.

Respecto al componente de actuación humana, se asignó el valor de 0 debido a el evidente deterioro de los componentes biofísicos, destacando la degradación de los cuerpos de agua y escurrimientos locales debido a la disposición inadecuada de residuos sólidos urbanos, lo que genera un impacto negativo en la calidad ambiental e intrusión visual del paisaje.

3.3 Descripción de los tipos de uso de suelo y vegetación presentes en la Región o Regiones Ecológicas

El análisis de intersección con la carta de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI (Serie VII, escala 1:250,000) evidencia que la Región Ecológica se encuentra casi en su totalidad transformada por actividades agropecuarias y urbanas. La cobertura dominante es la agricultura de riego anual (44.72%, 6,179.9 ha), seguida de la agricultura de temporal anual (25.54%, 3,529.8 ha), los asentamientos humanos (15.70%, 2,169.3 ha, que incluyen las cabeceras municipales de Xicohtzinco, Zacatelco y localidades circundantes), la agricultura de riego anual y semipermanente (10.61%, 1,465.8 ha), el pastizal inducido (2.22%, 306.6 ha) y la agricultura de temporal anual y semipermanente (1.22%, 168.1 ha); la agricultura de temporal anual y permanente representa apenas el 0.01% (0.7 ha). El único remanente de vegetación forestal primaria dentro de toda la RE es un fragmento de bosque de pino (clave BP) de 0.42 ha (0.003% de la superficie total), ubicado en la porción serrana alta de la microcuenca, fuera del área de influencia directa del proyecto.

FIGURA 38 USO DE SUELO Y VEGETACIÓN



En conjunto, las coberturas de origen antrópico (agricultura, asentamientos humanos y pastizal inducido) representan el 99.997% de la superficie de la Región Ecológica, mientras que la vegetación natural remanente es estadísticamente marginal. Esta condición es consistente con la cartografía de riesgo municipal de Xicohtzinco, que reporta 0 ha de superficie boscosa dentro de los límites municipales, y con la literatura regional sobre el proceso de urbanización y pérdida de cobertura natural en el corredor Zacatelco–Xicohtzinco–Nativitas (Pérez Martínez et al., 2024).

El recorrido de campo confirmó la presencia de una franja de vegetación ripario-arbórea asociada al cauce y a las barrancas tributarias del río Zahuapan (Acapixtle, Corazón de Jesús/Chalmita y Tecuanatla), dominada por aile (Alnus sp.), sauce (Salix sp.) y fresno (Fraxinus sp.), así como vegetación ruderal y especies introducidas de uso ornamental (adelfa –Nerium oleander–, maguey y yuca) y arbolado de sombra/cortina rompevientos en los bordes de caminos y zonas urbanas.

3.4 Especies potenciales

Componente	Listados de especies potenciales
Flora	Listado potencial con base en literatura regional (Rzedowski, 2006; Arias-Del Razo et al., 2021; Mena Mejía et al., 2017) para los tipos de cobertura presentes en la RE (agroecosistemas, pastizal inducido y vegetación de galería): cultivos dominantes – maíz (Zea mays), frijol (Phaseolus vulgaris),; vegetación ruderal y de pastizal inducido – zacate banderita (Bouteloua gracilis), zacate navajita (Bouteloua spp.), quelite (Amaranthus spp.) y diente de león (Taraxacum officinale); vegetación de galería ribereña – aile (Alnus acuminata/jorullensis), sauce (Salix bonplandiana), fresno (Fraxinus uhdei) y ahuehuete (Taxodium mucronatum); y arbolado introducido/ornamental – cedro blanco (Cupressus lusitanica), eucalipto (Eucalyptus spp.), pirul (Schinus molle), adelfa (Nerium oleander), maguey (Agave spp.) y yuca (Yucca spp.). No se identificaron especies de flora silvestre endémica o listada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 asociadas a estos tipos de cobertura, fuertemente antropizados. Listado completo de referencia: SNIB-CONABIO y herbario de la Universidad Autónoma de Tlaxcala.
Fauna	Listado potencial con base en literatura regional para agroecosistemas y zonas urbanas de Tlaxcala

Componente	Listados de especies potenciales
	(Avifaunas estatales de México: Tlaxcala, CIPAMEX, 2007; Mamíferos de Tlaxcala, México, Fernández et al.; monografías regionales de flora y fauna): mamíferos generalistas y tolerantes a la perturbación – tlacuache (Didelphis virginiana), ardilla (Sciurus spp.), tuza (Cratogeomys/Thomomys spp.), conejo castellano (Sylvilagus floridanus), liebre (Lepus callotis), coyote (Canis latrans), cacomixtle (Bassariscus astutus) y zorrillo (Mephitis macroura); aves – paloma de alas blancas (Zenaida asiatica), codorniz (Cyrtonyx/Colinus spp.), gavilán rastrero (Circus hudsonius), aura (Cathartes aura), cernícalo americano (Falco sparverius) y búhos/lechuzas (Tyto alba, Bubo virginianus); y reptiles – víbora de cascabel (Crotalus spp.) y lagartijas (Sceloporus spp.). Corresponde a fauna sinantrópica y de bordes de agroecosistema, de amplia distribución. Según estudios mastofaunísticos estatales, de 41 especies de mamíferos silvestres registradas en Tlaxcala, 13 son endémicas de México y sólo 4 se encuentran bajo alguna categoría de la NOM-059-SEMARNAT-2010, ninguna asociada preferentemente a agroecosistemas o zonas urbanas como las que dominan la RE.

El análisis de intersección espacial muestra que el 99.997% de la superficie de la Región Ecológica corresponde a coberturas de origen antrópico (agricultura de riego y temporal, asentamientos humanos y pastizal inducido), con un remanente de vegetación forestal primaria de apenas 0.42 ha (0.003%), ubicado fuera del área de influencia directa del proyecto. Con base en ello, se considera que un programa de muestreo estadístico de flora y fauna (transectos, parcelas, trampeo) no es una medida costo-efectiva ni metodológicamente robusta para este caso, por lo siguiente:

1) Homogeneidad y baja complejidad estructural del hábitat dominante: la matriz agrícola-urbana que compone casi la totalidad de la RE presenta diversidad beta muy baja y composición ya documentada en la literatura regional (INEGI, CONABIO, UATx).

2) Ausencia de hábitat de valor para conservación en el Área del Proyecto (AP) y el Área de Influencia (AI): ambas se ubican sobre el cauce y sus márgenes en zona agrícola-urbana; el único fragmento de vegetación natural remanente (bosque de

pino, 0.42 ha) se localiza a varios kilómetros del sitio de obra y no será afectado por el proyecto.

3) Bajo riesgo de afectación a especies NOM-059: no existen registros ni antecedentes bibliográficos de poblaciones relevantes de flora o fauna prioritaria asociadas a agroecosistemas o zonas urbanas en este sector del valle Puebla-Tlaxcala.

En consecuencia, se propuso sustituir el muestreo estadístico de campo por una caracterización de base bibliográfica y de verificación directa, consistente en:

(i) Recopilación y análisis de las fuentes cartográficas oficiales de INEGI y CONABIO mediante el análisis de intersección espacial ya presentado.
(ii) Revisión de literatura científica y técnica regional sobre flora, fauna y condición ecológica de la cuenca del río Zahuapan (Mena Mejía et al., 2017; Arias-Del Razo et al., 2021; estudios mastofaunísticos y avifaunísticos estatales.
(iii) Verificación directa en campo mediante observación y registro fotográfico/aéreo de la cobertura vegetal, sin necesidad de parcelas o transectos cuantitativos, dado que el objetivo –confirmar la ausencia de vegetación forestal de valor en el AP/AI– se cumple con este nivel de esfuerzo.

3.5 Resumen y metodología de muestreos en el Área del Proyecto (AP), Área de Influencia (AI) y Región Ecológica (RE)

A continuación, se resume la metodología empleada para la caracterización de la vegetación y fauna.

TABLA 19 RESUMEN Y METODOLOGÍA DE MUESTREOS EN EL ÁREA DEL PROYECTO (AP), ÁREA DE INFLUENCIA (AI) Y REGIÓN ECOLÓGICA (RE).

Componente	Tipos	Métodos	Número de sitios de muestreo	Horario de muestreo (diurno,	Estacionalidad	Fecha de realización y esfuerzo del muestreo	Comunidad Perenne o estacional	Comunidad Acuática o terrestre
Vegetación / Uso de suelo	No aleatorio (dirigido)	Recorrido + verificación aérea (dron) y gabinete SIG	1 (AP y AI)	Diurno	Verano (lluvias)	23/07/2026 (1 día)	Estacional y perenne	Terrestre y ribereña
Fauna	No aplica (ver justif.)	Bibliografía + observación oportunista	N/A	Diurno	Verano	23/07/2026	N/A	Terrestre

3.5.1 Caracterización de la vegetación

En el presente apartado se describe la situación actual de la vegetación en el sitio del proyecto, con base en dos fuentes de información de campo: (1) el levantamiento de los individuos arbóreos localizados dentro del polígono del proyecto que serán objeto de remoción, y (2) el listado florístico obtenido durante la visita de campo para las especies presentes en el área del proyecto (AP), su área de influencia (AI) y la región ecológica (RE) en la que se inserta. El sitio se ubica dentro de la cuenca del río Atoyac-Zahuapan (Puebla-Tlaxcala), zona caracterizada regionalmente por remanentes de bosque de galería fuertemente alterados por presión urbana y agrícola.

3.5.1.1 Vegetación dentro del polígono del proyecto (a remover)

Se identificaron 8 individuos arbóreos dentro del polígono del proyecto, pertenecientes a únicamente dos especies, ambas típicas del estrato arbóreo del bosque de galería regional: *Fraxinus uhdei* (fresno, 6 individuos, 75 %) y *Alnus acuminata* (aliso, 2 individuos, 25 %). Ninguna de las dos especies se encuentra listada en la NOM-059-SEMARNAT-2010, por lo que no se identificaron individuos bajo alguna categoría de riesgo.

TABLA 20 INDIVIDUOS ARBÓREOS A REMOVER

NO	COORDENADAS		NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMUN	ALTURA (M)	DAP (M)	CONDICION	ETAPA DE DESARROLLO	NOM-059-SEMARNAT-2010	FORMA DE VIDA
	X	Y								
1	578819.47	2119913.77	*Fraxinus uhdei*	Fresno	5.1	16.7	Sano	Juvenil	N/A	Árbol
2	578802.01	2119900.14	*Alnus acuminata*	Aliso	4.6	15.1	Enfermo	Adulto	N/A	Árbol
3	578782.39	2119892.41	*Alnus acuminata*	Aliso	9.3	28.1	Enfermo	Adulto	N/A	Árbol
4	578776.97	2119889.16	*Fraxinus uhdei*	Fresno	10	32.8	Enfermo	Adulto	N/A	Árbol
5	578772.20	2119885.53	*Fraxinus uhdei*	Fresno	3.9	12.8	Sano	Adulto	N/A	Árbol
6	578770.51	2119884.41	*Fraxinus uhdei*	Fresno	3.6	11.8	Sano	Adulto	N/A	Árbol
7	578769.30	2119880.87	*Fraxinus uhdei*	Fresno	4	13.1	Sano	Adulto	N/A	Árbol
8	578766.09	2119880.13	*Fraxinus uhdei*	Fresno	4.1	13.5	Sano	Adulto	N/A	Árbol

De los 8 individuos, 5 (62.5 %) se encuentran en condición Sana y 3 (37.5 %) en condición Enferma. Es relevante mencionar que el 100 % de los individuos de aliso (*Alnus acuminata*,) presenta condición enferma, asociada a la presencia de muérdago (*Psittacanthus calyculatus*), planta hemiparásita que se fija sobre las ramas y compite por agua y nutrientes con el árbol hospedero, debilitando progresivamente su vigor; esta especie hemiparásita fue igualmente registrada en el listado florístico del área de influencia, el área del proyecto y la región ecológica. En cuanto al fresno (*Fraxinus uhdei*), en cambio, la afectación es puntual (1 de 6 individuos, correspondiente al ejemplar de mayor porte) y se asocia a la presencia de *Septobasidium curtisii*, hongo formador de fieltro que coloniza la corteza en asociación con insectos escama, afectando la condición

fitosanitaria del fuste sin relacionarse con el porte o la edad del resto de los individuos de la especie.

FIGURA 39 CONDICIÓN ACTUAL DE LAS ESPECIES ARBÓREAS A RETIRAR



De izquierda a derecha: un ejemplar de *Alnus acuminata* en estado de deterioro por la presencia de enredaderas y muérdago (*Psittacanthus calyculatus*), seguido de un segundo individuo seco de la misma especie y un ejemplar de fresno (*Fraxinus uhdei*.).

3.5.1.2 Vegetación identificada en el Área de Influencia, Área del Proyecto y Región Ecológica

Durante la visita de campo se identificaron 22 especies, agrupadas en 17 familias botánicas, distribuidas en el área del proyecto (AP), su área de influencia (AI) y la región ecológica (RE). Salicaceae es la familia mejor representada (Ahuejote, Sauce y Álamo), seguida de Compositae, Verbenaceae y Poaceae, cada una con dos especies. Ninguna de las especies identificadas se encuentra listada en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Familia	Nombre común	Nombre científico	Forma de vida	Ubicación
Salicaceae	Ahuejote	*Salix bonplandiana*	Árbol	AI, AP, RE
Salicaceae	Sauce	*Salix humboldtiana*	Árbol	AI, AP, RE
Betulaceae	Aliso	*Alnus acuminata*	Árbol	AI, AP, RE
Salicaceae	Álamo	*Populus alba*	Árbol	AI, RE
Scrophulariaceae	Tepozán	*Buddleja cordata*	Árbol	RE
Oleaceae	Fresno	*Fraxinus uhdei*	Árbol	AI, AP, RE

Familia	Nombre común	Nombre científico	Forma de vida	Ubicación
Loranthaceae	Muérdago	*Psittacanthus calyculatus*	Arbusto hemiparásito	AI, AP, RE
Labiatae	Oreja de león	*Leonotis nepetifolia*	Herbácea	RE
Compositae	Polocote	*Tithonia tubaeformis*	Herbácea	AI, AP, RE
Onagraceae	Onagra alta	*Oenothera elata*	Herbácea	AP
Euphorbiaceae	Higuerilla	*Ricinus communis*	Herbácea	AI, AP, RE
Verbenaceae	Verbena del perro	*Verbena carolina*	Herbácea	AP
Nyctaginaceae	Maravilla	*Mirabilis jalapa*	Herbácea	AP, AI
Poaceae	Maíz	*Zea mays*	Cultivo	AI, RE
Polemoniaceae	Campana morada	*Cobaea scandens*	Herbácea	AP, AI
Poaceae	Pasto banderita	*Bouteloua curtipendula*	Herbácea	AP, AI, RE
Verbenaceae	Cinco negritos	*Lantana camara*	Arbusto	RE
Asparagaceae	Yuca	*Yucca periculosa*	Árbol	RE
Haloragaceae	Cola de zorro acuática	*Myriophyllum aquaticum*	Planta dulceacuícola	RE
Pontederiaceae	Lirio acuático	*Eichhornia crassipes*	Planta dulceacuícola	RE
Rosaceae	Níspero	*Eriobotrya japonica*	Árbol	RE
Compositae	Hierba del carbonero	*Baccharis salicifolia*	Arbusto	AP, AI, RE

De las 22 especies registradas, 9 (41 %) se encuentran simultáneamente en las tres unidades de análisis (AP, AI y RE); entre ellas, el fresno y el aliso —las dos especies presentes en el polígono a remover—, lo que indica que corresponden a especies ampliamente distribuidas en la región y no a elementos florísticos restringidos o de distribución exclusiva del sitio del proyecto. Las 13 especies restantes se distribuyen de forma parcial: 7 exclusivas de la región ecológica, 2 compartidas entre AI y RE, 2 exclusivas del área del proyecto y 2 compartidas entre AP y AI.

FIGURA 40 VEGETACIÓN PRESENTE EN EL SITIO DEL PROYECTO



FIGURA 41 VEGETACIÓN PRESENTE EN EL SITIO DEL PROYECTO



La comunidad vegetal registrada se compone de 8 especies arbóreas (36 %), 8 especies herbáceas (36 %), 2 arbustos (Lantana camara y Baccharis salicifolia), 1 arbusto hemiparásito (Psittacanthus calyculatus, muérdago, que parasita el arbolado y es un indicador de estrés en el hospedero), 2 plantas dulceacuícolas

(Myriophyllum aquaticum y Eichhornia crassipes) y 1 especie de cultivo (Zea mays, maíz).

- Estrato arbóreo: dominado por especies típicas de bosque de galería —ahuejote, sauce, aliso, álamo y fresno—, coincidentes con las especies registradas en el polígono a remover.
- Estrato herbáceo y arbustivo: predominan especies ruderales y de vegetación secundaria (higuerilla, verbena, maravilla, polocote, pasto banderita), asociadas a suelos perturbados por actividad agropecuaria y urbana.
- Vegetación acuática: la presencia de lirio acuático (Eichhornia crassipes) y cola de zorro acuática (Myriophyllum aquaticum), especies de amplia distribución en cuerpos de agua eutrofizados, es consistente con el grado de deterioro y contaminación reportado para los cauces de la cuenca Atoyac-Zahuapan.
- Presencia de cultivo (maíz), que evidencia uso agrícola activo dentro del área de influencia.

La vegetación registrada corresponde a un remanente de bosque de galería típico de la cuenca del Alto Atoyac, con un estrato arbóreo nativo (fresno, aliso, ahuejote, sauce, álamo) que coexiste con vegetación secundaria, ruderal y de cultivo, así como con especies acuáticas indicadoras de eutrofización. Esta composición es congruente con el patrón de deterioro ambiental documentado para la cuenca, donde la vegetación ribereña original se encuentra fuertemente reducida y fragmentada por la presión urbana y agrícola.

Los 8 individuos arbóreos localizados dentro del polígono del proyecto son representativos —no exclusivos— de esta comunidad regional: ambas especies (fresno y aliso) están ampliamente distribuidas en el área de influencia y la región ecológica, y ninguna se encuentra bajo alguna categoría de protección de la NOM-059-SEMARNAT-2010. No obstante, se observa una condición fitosanitaria ya deteriorada en el sitio, particularmente en la totalidad de los individuos de aliso (100 % enfermos) y en el ejemplar de fresno de mayor porte, lo que sugiere que la comunidad arbórea del polígono se encuentra bajo estrés ambiental incluso antes de la intervención del proyecto.

3.5.1.3 Fauna

La presente caracterización respecto al componente faunístico se sustenta en información secundaria: registros estatales y regionales de biodiversidad, listados oficiales de especies en riesgo, estudios científicos publicados sobre la mastofauna y avifauna de Tlaxcala, y fuentes gubernamentales (INEGI, INAFED, CONABIO, SEMARNAT). Esta aproximación es congruente con el carácter

fuertemente antropizado del municipio, donde el uso de suelo agrícola y urbano predomina sobre la cobertura vegetal natural.

Con esta información se conformaron listados de especies por grupo taxonómico (mastofauna, avifauna, herpetofauna e ictiofauna), contrastando la riqueza reportada a nivel estatal con las condiciones particulares de hábitat presentes en el municipio de Xicohtzinco, de manera que el listado final refleja razonablemente las especies con mayor probabilidad de presencia en el área del proyecto.

Pese a ser la entidad de menor extensión territorial del país, Tlaxcala alberga una diversidad faunística considerable en relación con su tamaño, aunque ocupa el lugar 31 de 32 entidades federativas en riqueza de especies de fauna silvestre a nivel nacional. De acuerdo con cifras de SEMARNAT y CONABIO, el inventario faunístico estatal reportado a 2015 asciende a 615 especies, de las cuales 198 corresponden a invertebrados y 417 a vertebrados: 54 especies de mamíferos, 310 de aves, 18 de anfibios, 32 de reptiles y 3 de peces. El estado concentra alrededor del 28% de la avifauna registrada para México y el 13% de los mamíferos voladores (murciélagos) del país.

De este inventario, un número importante de especies presenta alguna categoría de riesgo conforme a la NOM-059-SEMARNAT-2010: 22 especies de mamíferos, 15 de anfibios, 22 de reptiles y 52 de aves se encuentran catalogadas como probablemente extintas en el medio silvestre, en peligro de extinción, amenazadas o sujetas a protección especial.

Mastofauna

El estudio de referencia sobre mamíferos del estado (Sánchez-Cordero et al., 2014) documenta la presencia de especies asociadas tanto a remanentes de bosque templado como a zonas agrícolas y periurbanas del Altiplano tlaxcalteca. Entre las especies con mayor probabilidad de presencia en ambientes agrícolas y riparios similares a los del municipio de Xicohtzinco se encuentran las siguientes:

Nombre común	Nombre científico	Hábitat asociado
Tlacuache	*Didelphis virginiana*	Generalista; zonas agrícolas, riparias y periurbanas
Conejo castellano / de monte	*Sylvilagus floridanus* / *S. cunicularius*	Campos agrícolas, matorrales y orillas de camino
Liebre cola negra	*Lepus californicus*	Terrenos agrícolas abiertos
Ardilla arborícola gris	*Sciurus aureogaster*	Arbolado urbano y periurbano
Cacomixtle norteño	*Bassariscus astutus*	Zonas rocosas, periurbanas y agrícolas

Nombre común	Nombre científico	Hábitat asociado
Mapache	*Procyon lotor*	Riparia; cauces de los ríos Zahuapan y Atoyac
Comadreja cola larga	*Mustela frenata*	Agrícola y de matorral
Musaraña orejillas	*Cryptotis parva*	Pastizales y jardines con riego
Murciélago vampiro	*Desmodus rotundus*	Asociado a zonas ganaderas
Ratón de campo	*Peromyscus spp.*	Cultivos y linderos agrícolas

La mayoría de estas especies son de amplia distribución y hábitos generalistas, características que favorecen su persistencia en paisajes fuertemente modificados como el del municipio de Xicohtzinco. No se cuenta con registros bibliográficos que indiquen la presencia de especies de mamíferos de distribución restringida o de gran tamaño en el municipio.

Avifauna

Tlaxcala cuenta con uno de los inventarios de avifauna proporcionalmente más ricos del país en relación con su superficie: 241 especies pertenecientes a 17 órdenes y 50 familias, de las cuales 99 son migratorias y 142 residentes (Fernández, Windfield-Pérez y Corona, 2007). Siete especies están catalogadas bajo protección especial y cuatro como amenazadas conforme a la normatividad vigente.

En el contexto específico del municipio de Xicohtzinco, dominado por cultivos, zonas urbanas y el corredor ripario de los ríos Zahuapan y Atoyac, las especies de aves con mayor probabilidad de presencia corresponden a especies generalistas y asociadas a cuerpos de agua:

Nombre común	Nombre científico	Hábitat asociado
Gorrión cantor	*Melospiza melodia*	Vegetación riparia y de linderos
Tordo / bolsero dorsioscuro	*Icterus spurius*	Arbolado urbano y agrícola
Golondrina tijereta	*Hirundo rustica*	Zonas abiertas y agrícolas
Chorlo tildío	*Charadrius vociferus*	Riberas y suelos desnudos húmedos
Garceta / garza	*Ardea alba / Bubulcus ibis*	Cauces y zonas de riego
Zopilote / aura común	*Cathartes aura*	Amplia distribución, zonas abiertas
Aguililla pecho rojo	*Buteo lineatus*	Bordes agrícolas y arbolados
Lechuza de campanario	*Tyto alba*	Estructuras urbanas y zonas agrícolas
Gorrión doméstico	*Passer domesticus*	Ambientes urbanos
Pato mexicano*	*Anas diazi*	Cuerpos de agua; especie amenazada (NOM-059)

**El pato mexicano (Anas diazi) es endémico de México y está catalogado como amenazado en la NOM-059-SEMARNAT-2010; su presencia potencial se asocia a cuerpos de agua de la región, aunque no existen registros específicos para el cauce que atraviesa el proyecto propuesto.*

Herpetofauna

La herpetofauna reportada para Tlaxcala incluye 32 especies de reptiles y 18 de anfibios. En ambientes agrícolas y riparios de tierras bajas, como el que caracteriza a Xicohtzinco, las especies con mayor probabilidad de presencia son de amplia tolerancia ambiental:

- Reptiles: culebra de collar (Diadophis punctatus), culebra lineada de bosque (Storeria storerioides), lagartija escamosa de escamas grandes (Sceloporus grammicus) y, ocasionalmente, víbora de cascabel transvolcánica (Crotalus triseriatus) en zonas con vegetación de matorral remanente.
- Anfibios: rana del río (Lithobates berlandieri), asociada a los cauces de los ríos Zahuapan y Atoyac, y sapo de la meseta (Incilius occidentalis) en zonas de riego y acumulación temporal de agua.

La herpetofauna de mayor valor de conservación en el estado (como el ajolote del altiplano, Ambystoma spp., y el tlaconete moteado, Isthmura bellii) se asocia principalmente a cuerpos de agua permanentes de mejor calidad y a remanentes de bosque templado en altitudes mayores, hábitats que no están presentes en el municipio de Xicohtzinco.

Ictiofauna

El río Atoyac y su afluente el río Zahuapan, que definen en gran medida el contexto hidrológico del municipio, presentan un grado de contaminación severo derivado de descargas industriales, agrícolas y de aguas residuales urbanas de la cuenca alta, documentado ampliamente en la literatura (Espejel Rodríguez y Castillo Ramos). Estudios y monitoreos recientes sobre la calidad del agua de esta cuenca reportan la ausencia de peces y de vertebrados acuáticos en tramos significativos del cauce, con presencia ocasional de aves y prácticamente sin registros de anfibios, como consecuencia del deterioro ambiental del sistema hídrico. En congruencia con esta condición, no se considera probable la presencia de una ictiofauna diversa o de valor de conservación en el tramo de los ríos Zahuapan y Atoyac que atraviesa el área del proyecto.

La revisión bibliográfica realizada indica que el municipio de Xicohtzinco, por su reducida extensión, su relieve plano, su uso de suelo predominantemente agrícola

y urbano, y el deterioro ambiental de los ríos Zahuapan y Atoyac, sostiene una fauna silvestre de diversidad limitada, compuesta mayoritariamente por especies generalistas y tolerantes a la perturbación humana. No se identificaron en la literatura consultada registros de especies endémicas o de alto valor de conservación asociadas específicamente al sitio del proyecto, aunque a nivel regional el estado de Tlaxcala sí alberga especies catalogadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, cuya distribución se concentra en hábitats de mayor calidad ambiental fuera del área de influencia directa de la obra.

3.5.2 Especies identificadas en campo endémicas o que se encuentren en alguna categoría de riesgo conforme a la NOM-059-SEMARNAT-2010

Componente	Nombre científico	Nombre común	Categoría de riesgo	Endémica (Sí/No)	Número de individuos	Presencia		
						AP	AI	RE
Flora	No se registraron durante el recorrido de verificación individuos de flora silvestre enlistados en la NOM-059-SEMARNAT-2010. No aplica muestreo cuantitativo.							
Fauna	No se registraron durante el recorrido de verificación individuos de fauna silvestre enlistados en la NOM-059-SEMARNAT-2010. No aplica muestreo cuantitativo.							

3.6 Diagnóstico ambiental

3.6.1 Análisis del grado de conservación o deterioro de la región ecológica.

La Región Ecológica presenta un grado de deterioro alto respecto a su condición original de vegetación natural (bosques templados de pino-encino en la porción serrana y vegetación natural de valle), la cual ha sido sustituida en más del 99.9% de la superficie por agricultura, asentamientos humanos y pastizal inducido. La calidad ambiental del componente hídrico también se encuentra deteriorada: el río Zahuapan y sus tributarios, donde se ubica el sitio del proyecto, presentan una condición ecológica documentada como pobre en los tramos de influencia urbana, industrial y agrícola (Mena Mejía et al., 2017), consistente con lo observado en campo (aguas turbias, sedimentos y residuos sólidos en el cauce).

3.6.2 Diagnóstico integral de la situación de la región ecológica, conforme a la información analizada en las secciones anteriores.

En conjunto, la RE constituye un sistema ambiental fuertemente transformado, en el que los procesos ecológicos naturales han sido sustituidos por dinámicas agropecuarias y urbanas; conserva, no obstante, funciones ambientales relevantes asociadas a la microcuenca (recarga de los acuíferos Alto Atoyac y Valle de Puebla), a la producción agrícola de riego y temporal (base económica

regional), y a la conectividad ripario-arbórea remanente del cauce del proyecto, que actúa como corredor biológico residual dentro de la matriz antropizada.

3.6.3 Escenario a futuro de la región ecológica.

De mantenerse las tendencias documentadas de expansión urbana e industrial en el corredor Zacatelco–Xicohtzinco–Nativitas (Pérez Martínez et al., 2024), es previsible que continúe la conversión de suelo agrícola y pastizal hacia asentamientos humanos y vegetación secundaria, con la consecuente reducción adicional de la ya escasa cobertura natural y el incremento de la presión sobre la calidad del agua del río Zahuapan y sus tributarios. En este escenario, la conservación de la franja ripario-arbórea del cauce del proyecto adquiere relevancia como uno de los últimos corredores de vegetación leñosa continua de la RE.

3.7 Problemáticas ambientales en la Región Ecológica

Las principales problemáticas ambientales identificadas dentro de la RE son:

I. Contaminación del agua superficial por descargas de aguas residuales de origen urbano e industrial al río Zahuapan y sus tributarios, evidenciada en campo por la turbidez, acumulación de sedimentos y residuos sólidos en el cauce del sitio del proyecto
II. Pérdida histórica y continua de cobertura vegetal natural y agrícola por la expansión de asentamientos humanos e infraestructura industrial (corredor Panzacola).
III. Erosión y arrastre de sedimentos hacia el cauce, favorecidos por la escasa cobertura vegetal de protección en los taludes de las barrancas tributarias (Acapixtle, Corazón de Jesús/Chalmita, Tecuanatla);
IV. Riesgo de inundación en zonas bajas del municipio de Xicohtzinco (Tlatelpa, Tlalistaca, colonia El Valor), documentado históricamente por el Atlas de Riesgos municipal, asociado a la dinámica hidrológica de la propia microcuenca que constituye la RE.
V. Fragmentación del escaso remanente de vegetación de galería por infraestructura vial e hidráulica existente y proyectada.

4 IDENTIFICACIÓN, DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES Y LA DETERMINACIÓN DE LAS ACCIONES Y MEDIDAS PARA SU PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y COMPENSACIÓN

El presente capítulo tiene por objeto identificar, describir y evaluar los impactos ambientales positivos y negativos que podrían generarse como consecuencia de las actividades asociadas a las etapas de preparación del sitio, construcción, y operación y mantenimiento del proyecto.

Para ello, se emplea una metodología de evaluación —el Método EPM o Método Arboleda— que permite determinar la clase, presencia, duración, evolución y magnitud de los impactos potenciales sobre los distintos componentes del medio físico, biótico y socioeconómico presentes dentro del área de influencia del proyecto. Lo anterior permite establecer una valoración integral y jerarquizada de los efectos ambientales derivados de la ejecución de las obras y de la operación de la infraestructura propuesta.

Con base en los resultados obtenidos, se proponen las medidas de prevención, mitigación, restauración y, en su caso, compensación necesarias para evitar, reducir, controlar o corregir los efectos adversos identificados, así como para potenciar los beneficios ambientales y sociales asociados al proyecto, particularmente aquellos relacionados con la mejora de la conectividad vial, la reducción de riesgos por encharcamientos e inundaciones asociados al cruce actual, y el fortalecimiento del desarrollo económico y social del municipio.

Asimismo, se presentan los impactos significativos, acumulativos, sinérgicos y residuales identificados, así como los mecanismos de seguimiento y control establecidos mediante el Programa de Vigilancia Ambiental, con la finalidad de garantizar el adecuado desempeño ambiental del proyecto y el cumplimiento de la normatividad ambiental aplicable durante todas sus etapas de desarrollo.

4.1 Metodología

Como primera herramienta para la identificación de impactos se hizo uso de una revisión general del proyecto, para posteriormente ir definiendo de manera descriptiva las características cualitativas de estos impactos y culminar con un análisis de importancia para la jerarquización de estos.
Para realizar la identificación de los impactos a evaluar se utilizará la metodología de Listas de Revisión o de Chequeo y para realizar la evaluación de los impactos ambientales identificados se utilizará el Método EPM – Arboleda. En la siguiente tabla se describe en qué consiste cada uno.

Listas de revisión

El propósito de las Listas de Chequeo es permitir presentar los impactos de manera sistemática y resumir en forma concisa los efectos provocados por el proyecto en sus diferentes etapas; en general esto se hace por medio de una valoración cualitativa donde se realizan checks en las intersecciones entre las acciones impactantes y los factores ambientales que se consideran afectados. Algunas modificaciones que se pueden hacer a esta matriz incluyen la de incorporar símbolos para definir desde esta etapa cuáles son los impactos positivos y negativos que se están generando en el proyecto (Conesa, 1998). Para facilitar este análisis también se hace uso de claves aplicadas tanto para las actividades a evaluar como también para los factores ambientales, igualmente con esto se hacen más manejables las matrices de valoración.

Método EPM – Arboleda

El Método EPM, también conocido como Método Arboleda, fue desarrollado en 1985 por la Unidad de Planeación de Recursos Naturales de las Empresas Públicas de Medellín (EPM), con el propósito original de evaluar los impactos ambientales generados por proyectos de aprovechamiento hidroeléctrico de dicha empresa. Posteriormente, dada su versatilidad y solidez metodológica, se generalizó para la evaluación de todo tipo de proyectos, obras o actividades, siendo ampliamente adoptado por consultores e instituciones ambientales en Latinoamérica para estudios de impacto ambiental de proyectos de infraestructura vial, urbana, industrial y de servicios (Arboleda, 2008).

Se trata de un método de tipo cuantitativo-cualitativo, ya que combina la calificación numérica de criterios técnicos con la interpretación cualitativa de su significado ambiental. Su principal ventaja radica en que permite comparar de manera objetiva y sistemática la relevancia relativa de impactos de naturaleza distinta (por ejemplo, un impacto sobre la calidad del aire frente a uno sobre el empleo local), al expresarlos todos en una misma escala numérica.

4.2 Indicadores de Impacto

Un indicador ambiental es un factor ambiental que transmite información sobre el estado del ecosistema del que forma parte o de alguna característica de este. Por supuesto, la utilización de un indicador supone la aceptación del marco teórico en el que se encuadra y de ciertas hipótesis que muchas veces no están suficientemente contrastadas. También son indicadores ambientales el consumo de energía, de agua, la producción de residuos o de determinados contaminantes (Garmendia *et al.*, 2005).

Los indicadores ambientales constituyen una herramienta de apoyo fundamental dentro del proceso de evaluación de impacto ambiental, ya que permiten traducir información compleja sobre el estado de un componente ambiental en datos

sencillos, medibles y comparables en el tiempo. En este sentido, los indicadores no solo sirven para calificar la magnitud de un impacto conforme al Método EPM–Arboleda descrito previamente, sino que también constituyen la base para el diseño del Programa de Vigilancia Ambiental, al establecer una línea base contra la cual podrán compararse las condiciones ambientales durante y después de la ejecución del proyecto.

Los indicadores considerados en este apartado tienen como objetivo la determinación de las variaciones de los factores ambientales, de tal manera que para cada una de las etapas del proyecto se podrá observar alguna variación en los mismos y, por tanto, se podrán implementar las medidas correctivas que le sean pertinentes de manera oportuna.

Los indicadores se elaboraron para los siguientes factores:

FACTOR	COMPONENTE
Medio Abiótico	Componente Atmosfera Componente Agua Componente Suelo Medio Perceptual Infraestructura Población y economía
Medio biótico	Componente Flora Componente Fauna
Medio Social	Humanos

Muchos de los criterios de selección utilizados para el presente proyecto se rigen por lo que se muestra a continuación:

- Representatividad: Se refiere al grado de información que posee un indicador respecto al impacto global de la obra.
- Relevancia: La información que aporta es significativa sobre la magnitud e importancia del impacto.
- Excluyente: No existe una superposición entre los distintos indicadores.
- Cuantificable: Medible siempre que sea posible en términos cuantitativos.
- Fácil identificación: Definidos conceptualmente de modo claro y conciso.
- Sensibilidad: Capacidad del indicador de reflejar oportunamente los cambios ocurridos en el factor ambiental que representa, aun cuando estos sean de baja magnitud.
- Disponibilidad y factibilidad de medición: Se privilegian aquellos indicadores cuya información puede obtenerse con los recursos técnicos y económicos disponibles para el monitoreo del proyecto.
- Comparabilidad temporal: Permite que los valores obtenidos en distintas etapas del proyecto (preparación del sitio, construcción, operación) puedan compararse entre sí de manera consistente.

4.2.1 Criterios y metodologías de evaluación

Para realizar la evaluación de los impactos ambientales se utilizará la metodología propuesta por la Unidad de Planeación de Recursos Naturales de las Empresas Públicas de Medellín, comúnmente denominada Método EPM o Método Arboleda. La descripción y evaluación de los Impactos Ambientales (I.A.) generados durante las etapas de preparación del sitio, construcción, y operación y mantenimiento del proyecto se realiza de acuerdo con la matriz desarrollada para la identificación de estos, calificando cada impacto en función de su Clase, Presencia, Duración, Evolución y Magnitud, para determinar su Calificación Ambiental (Ca) y, con base en ella, su nivel de significancia dentro de una escala jerárquica de importancia. Asimismo, se identificaron las posibles medidas de mitigación a establecer para prevenir, reducir o contrarrestar los impactos negativos provocados, así como para potenciar los impactos positivos identificados.

Una vez identificados los indicadores de impacto y la etapa del proyecto en la que se presentarán, se procede a realizar la evaluación de impacto ambiental propiamente dicha, para lo cual se emplea el Método EPM – Arboleda.

4.2.1.1 Metodología de evaluación

Método EPM – Arboleda

La evaluación se basa en la Calificación Ambiental (Ca), que es la expresión de la acción conjugada de los criterios con los cuales se calificó el impacto ambiental, y representa la gravedad o importancia de la afectación que este está causando.

El procedimiento del método se desarrolla en tres etapas generales:

1. Desagregación del proyecto en sus componentes o acciones, es decir, la identificación de las Acciones Susceptibles de Producir Impacto (ASPI) en cada una de sus etapas (preparación del sitio, construcción, operación y mantenimiento, y abandono, en su caso).
2. Identificación de los impactos ambientales que dichas acciones pueden generar sobre los componentes del medio físico, biótico y socioeconómico, mediante el cruce de acciones y factores ambientales en una matriz.
3. Evaluación y calificación individual de cada impacto identificado, con base en cinco criterios técnicos, para obtener un índice numérico —la Calificación Ambiental— que permite jerarquizar los impactos según su importancia relativa.

Criterios de Evaluación

Cada impacto identificado se califica individualmente conforme a los siguientes cinco parámetros:

TABLA 21 CRITERIOS DE EVALUACIÓN.

CRITERIOS O PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DE Ca	
Clase (C)	Este criterio define el sentido del cambio ambiental producido por una determinada acción del proyecto, el cual puede ser: Positivo (+, P) si mejora la condición ambiental analizada o Negativo (-, N) si la desmejora.
Presencia (P)	En la mayoría de los impactos hay certeza absoluta de que se van a presentar, pero otros pocos tienen un nivel de incertidumbre que debe determinarse. Este criterio califica la posibilidad de que el impacto pueda darse y se expresa como un porcentaje de la probabilidad de ocurrencia.
Evolución (E)	Califica la rapidez con la que se presenta el impacto, es decir la velocidad como éste se despliega a partir del momento en que inician las afectaciones y hasta que el impacto se hace presente plenamente con todas sus consecuencias. Este criterio es importante porque dependiendo de la forma como evoluciona el impacto, se puede facilitar o no la forma de manejo. Se expresa en términos del tiempo trascurrido entre el inicio de las afectaciones hasta el momento en que el impacto alcanza sus mayores consecuencias o hasta cuando se presenta el máximo cambio sobre el factor considerado.
Magnitud (M)	Este criterio califica la dimensión o tamaño del cambio sufrido en el factor ambiental analizado por causa de una acción del proyecto. Se expresa en términos del porcentaje de afectación o de modificación del factor (por este motivo también se denomina magnitud relativa).
Duración (D)	Con este criterio se evalúa el período de existencia activa del impacto, desde el momento que se empiezan a manifestar sus consecuencias hasta que duren los efectos sobre el factor ambiental considerado. Se debe evaluar en forma independiente de las posibilidades de reversibilidad o manejo que tenga el impacto.

Elaboración propia de acuerdo con el Manual de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).

En la siguiente tabla se muestra los rangos de evaluación de los criterios anteriormente descritos:

TABLA 22 RANGOS DE EVALUACIÓN.

PRESENCIA (P)	PUNTAJE	EVOLUCIÓN (E)	PUNTAJE
Cierta	1.0	Muy rápida (< 1 mes)	1.0
Muy Probable	0.70 <0.99	Rápida (<1 mes y > 12 meses)	0.70 <0.99
Probable	0.40<0.69	Media (> 12 meses y < 18 meses)	0.40<0.69
Poco Probable	0.20<0.39	Lenta (>18 meses y < 24 meses)	0.20<0.39
No Probable	0.01<0.19	Muy lenta	0.01<0.19

PRESENCIA (P)	PUNTAJE	EVOLUCIÓN (E)	PUNTAJE
		(> 24 meses)	
DURACIÓN (D)	PUNTAJE	MAGNITUD (M)	PUNTAJE
Muy larga o permanente (> 10 años)	1.0	Muy alta (Mr>a80%	1.0
Larga (>7 años y <10 años)	0.70 <0.99	Alta (>60% y <80%	0.70 <0.99
Media (>4 años y <7 años)	0.40<0.69	Media (>40% y <60%)	0.40<0.69
Corta (>1 años y <4 años)	0.20<0.39	Baja (>20% y <40%)	0.20<0.39
Muy corta (<1 año)	0.01<0.19	Muy baja (<19%	0.01<0.19

Elaboración propia de acuerdo con el Manual de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).

Cálculo de la Calificación Ambiental

Una vez calificado cada uno de los cinco parámetros, se obtiene la Calificación Ambiental (Ca) de cada impacto mediante la siguiente ecuación general:

$$Ca = C \{P (a \times E \times M + b \times D)\}$$

Donde:

Ca = Calificación ambiental

C = Clase

P = Presencia

E = Evolución

M = Magnitud

D = Duración

a, b = Constantes de ponderación

Los valores de *a* y *b* son constantes de ponderación con las que se busca que la calificación arroje un valor absoluto de Ca mayor que 0 (cero) y menor o igual que 10 (diez). Para efectos de esta metodología, dichas constantes toman los valores de a = 7.0 y b = 3.0, quedando la ecuación de la siguiente manera:

$$Ca = C \{P [(7.0 \times E \times M) + (3.0 \times D)]\}$$

Estos coeficientes reflejan el peso relativo que el método asigna a la interacción Evolución-Magnitud frente a la Duración del impacto, otorgando mayor

ponderación a la intensidad y velocidad de manifestación del efecto que a su sola persistencia en el tiempo.

El resultado se expresa en una escala de 0.01 a 10 (en valor absoluto), la cual se interpreta conforme al siguiente criterio de importancia:

TABLA 23 VALORES NUMÉRICOS DE IMPACTOS.

CALIFICACIÓN AMBIENTALES (Puntos)	IMPORTANCIA DEL IMPACTO AMBIENTAL
0.01 - 2.5	Poco significativo o irrelevante
2.6 - 5.0	Moderadamente significativo o moderado
5.1 - 7.5	Significativo o relevante
7.5 - 10	Muy significativo o grave

Elaboración propia de acuerdo con el Manual de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).

4.2.2 Identificación de acciones del proyecto susceptibles de producir impacto (ASPI)

Como parte del procedimiento del Método EPM – Arboleda descrito en el apartado anterior, la primera etapa de la evaluación consiste en la desagregación del proyecto en sus componentes o acciones específicas, es decir, la identificación de las Acciones Susceptibles de Producir Impacto (ASPI) en cada una de las etapas del proyecto: preparación del sitio, construcción, y operación y mantenimiento.

Dichas acciones fueron identificadas con base en la descripción técnica y el proceso constructivo del proyecto, descritos en el Capítulo 1 del presente estudio, y se organizaron conforme a la secuencia de trabajo prevista: preparación del sitio, cimentación mediante pilas perforadas, construcción de subestructura y superestructura, obras complementarias, actividades transversales a la etapa constructiva, y operación y mantenimiento de la infraestructura.

La identificación de estas acciones permite establecer, de manera clara y trazable, el origen de cada uno de los impactos ambientales evaluados en los apartados subsecuentes, al vincular cada interacción proyecto-ambiente identificada en la matriz de evaluación con la actividad específica que la genera. En la siguiente tabla se presenta el listado de las ASPI identificadas.

TABLA 24 ASPI.

Etapa	Acción
Preparación del sitio	Limpieza y despalme del área
Preparación del sitio	Trazos y nivelaciones con control topográfico

Etapa	Acción
Preparación del sitio	Delimitación de zonas de trabajo y accesos
Preparación del sitio	Implementación de medidas de protección del cauce y control de escurrimientos
Cimentación (pilas perforadas)	Perforación con equipo especializado hasta 13 m
Cimentación (pilas perforadas)	Colocación de ademe metálico recuperable (0-10.80 m)
Cimentación (pilas perforadas)	Limpieza del fondo del barreno y verificación del estrato competente tipo SC
Cimentación (pilas perforadas)	Colocación de acero de refuerzo
Cimentación (pilas perforadas)	Colado de concreto con método Tremie
Cimentación (pilas perforadas)	Retiro de ademe y corte del concreto superficial contaminado
Cimentación (pilas perforadas)	Pruebas de integridad y control de calidad
Subestructura	Armado y colado de cabezales, pilas, muros de estribo y caballetes
Subestructura	Colocación de apoyos estructurales tipo neopreno
Superestructura	Montaje de trabes pretensadas prefabricadas
Superestructura	Construcción de losa de concreto, parapetos, guarniciones y juntas
Superestructura	Instalación de drenaje pluvial y elementos de protección
Obras complementarias	Conformación de accesos viales y empalmes con caminos existentes
Obras complementarias	Construcción de cunetas, bordillos y protección de taludes (incl. zampeado de protección)
Obras complementarias	Señalamiento vertical y horizontal
Obras complementarias	Obras de disipación y manejo de agua
Obras complementarias	Adecuación y habilitación del puente existente para uso peatonal
Transversal a la construcción	Operación de maquinaria pesada y equipo especializado
Transversal a la construcción	Tránsito de vehículos de carga y transporte de materiales
Transversal a la construcción	Generación y manejo de residuos (RCD, RME, peligrosos, lodos de perforación)
Transversal a la construcción	Desvíos y señalización de tránsito vehicular durante la obra
Operación y mantenimiento	Circulación vehicular sobre el puente nuevo
Operación y mantenimiento	Circulación peatonal sobre el puente existente adecuado
Operación y mantenimiento	Mantenimiento periódico de la estructura
Operación y mantenimiento	Mantenimiento del derecho de vía, taludes, zampeados y obras de drenaje

4.2.3 Identificación y evaluación de impactos ambientales del proyecto

Como se indicó anteriormente, para identificar los impactos ambientales a evaluar se utilizará el método de Listas de Revisión; en este caso se utilizará una lista de chequeo simple, para identificar en qué etapas del proyecto se presentarán los impactos.

La identificación de los impactos ambientales del proyecto se realizó mediante la metodología de listas de verificación, considerando las distintas etapas del proyecto (preparación del sitio, construcción, operación y mantenimiento y, en su caso, abandono), así como los factores ambientales involucrados dentro de su área de influencia.

El proyecto contempla el desarrollo de las obras y actividades descritas en el Capítulo 1 del presente estudio, las cuales fueron desagregadas en acciones específicas susceptibles de producir impacto para cada una de sus etapas, con el fin de facilitar su cruce con los factores ambientales identificados en el sistema ambiental y determinar así las interacciones proyecto-ambiente objeto de evaluación.

Dichas interacciones fueron posteriormente calificadas con el fin de jerarquizar los impactos identificados según su nivel de significancia y sustentar el diseño de las medidas de prevención, mitigación y/o compensaciones correspondientes.

TABLA 25 LISTA DE CHEQUEO PARA IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS.

Factor	Aspecto ambiental	Preparación del sitio y Construcción	Operación y Mantenimiento
Atmósfera	Emisión de gases de combustión por maquinaria, equipo de perforación y vehículos de transporte	X	
	Generación de polvo por desmonte, despalme y movimiento de tierras	X	
	Emisión de gases de combustión por incremento del tránsito vehicular		X
Ruido y vibraciones	Generación de ruido por maquinaria, perforación y actividades constructivas	X	
	Vibraciones por perforación y colocación de ademe metálico	X	
	Molestias a la vivienda colindante por ruido y vibraciones de obra	X	
	Incremento de ruido por circulación vehicular		X
Suelo	Remoción de cobertura vegetal y despalme	X	

Factor	Aspecto ambiental	Preparación del sitio y Construcción	Operación y Mantenimiento
	Compactación del suelo por tránsito de maquinaria pesada	X	
	Riesgo de contaminación por manejo de residuos peligrosos	X	
	Estabilidad de taludes y márgenes	X	X
Hidrología superficial	Reducción temporal de la sección hidráulica del cauce por presencia de dos estructuras	X	
	Riesgo de contaminación del agua por lodos de perforación, concreto y aditivos	X	
	Arrastre de sedimentos y modificación de la calidad del agua por erosión	X	
	Consumo de agua para mezcla de agregados	X	
	Alteración de la dinámica hidráulica por colocación de zampeados de protección	X	X
	Modificación del drenaje pluvial por obras de desalojo	X	X
Hidrología subterránea	Riesgo de afectación al nivel freático por perforación hasta 13 m de profundidad	X	
	Riesgo de infiltración de contaminantes hacia el subsuelo	X	
Flora y Fauna	Remoción de vegetación, incluyendo vegetación de ribera	X	
	Desplazamiento o ahuyentamiento de fauna terrestre por ruido y actividad constructiva	X	
	Alteración del hábitat acuático por trabajos cercanos al cauce	X	
	Riesgo de atropellamiento de fauna por incremento del tránsito vehicular		X
Paisaje (medio perceptual)	Modificación temporal del paisaje por maquinaria, campamento y frente de obra	X	
	Modificación permanente del paisaje por presencia simultánea de dos estructuras		X
Residuos	Generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU)	X	X
	Generación de Residuos de Manejo Especial (RME): concreto, ademe, lodos de perforación	X	
	Generación de residuos peligrosos (aceites, grasas, aditivos de concreto)	X	
	Generación de aguas residuales (sanitarios de obra)	X	

Factor	Aspecto ambiental	Preparación del sitio y Construcción	Operación y Mantenimiento
Infraestructura Vial	Afectación temporal al cruce vial durante la construcción	X	
	Dotación de servicios	X	X
	Adecuación del puente existente para uso peatonal	X	
	Mejora de la conectividad vial y peatonal		X
Socioeconómico	Generación de empleos temporales	X	
	Calidad de vida de la población (molestias por obra / beneficio por conectividad)	X	X
	Seguridad vial de los usuarios		X

4.2.4 Valoración de los impactos

Aplicación del Método EPM – Arboleda

La matriz de evaluación está compuesta, en las filas, por los factores ambientales y los aspectos susceptibles de ser afectados por la ejecución del proyecto, identificados anteriormente, en sus distintas etapas de desarrollo; y en las columnas, por los criterios de evaluación establecidos por el Método EPM – Arboleda (Clase, Presencia, Evolución, Magnitud y Duración), a partir de los cuales se obtiene la Calificación Ambiental (Ca) correspondiente a cada impacto identificado.

Una vez calificado cada uno de los criterios conforme a las escalas descritas anteriormente, se obtiene la Calificación Ambiental (Ca) de cada impacto mediante la ecuación $Ca = C \{P [(7.0 \times E \times M) + (3.0 \times D)]\}$, cuyo resultado se ubica en la columna correspondiente según el carácter positivo o negativo del impacto, permitiendo así jerarquizar los impactos identificados de acuerdo con su nivel de significancia.

A continuación, se presenta la matriz resultante de la aplicación del Método EPM – Arboleda para el proyecto de construcción del puente vehicular "La Torrecilla" sobre el río Zahuapan:

TABLA 26 MATRIZ DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS.

Matriz de Evaluación de Impactos Ambientales - Método EPM (Arboleda)										
Puente vehicular "La Torrecilla"										
Factor ambiental	Aspecto / Impacto identificado	Etapa	Criterios de Evaluación					Calificación Ambiental (Ca)	
			Clase	Presencia	Evolución	Magnitud	Duración	Negativo (–)	Positivo (+)
Atmósfera	Emisión de gases de combustión por maquinaria, equipo de perforación y vehículos de transporte	Preparación del sitio y Construcción	-	0.6	1	0.2	0.2	1.2	
	Generación de polvo por desmonte, despalme y movimiento de tierras	Preparación del sitio y Construcción	-	0.8	1	0.4	0.2	2.72	
	Emisión de gases de combustión por incremento del tránsito vehicular	Operación y Mantenimiento	-	1	0.2	0.2	1	3.28	
Ruido y vibraciones	Generación de ruido por maquinaria, perforación y actividades constructivas	Preparación del sitio y Construcción	-	0.8	1	0.4	0.2	2.72	
	Vibraciones por perforación y colocación de ademe metálico	Preparación del sitio y Construcción	-	0.6	1	0.2	0.2	1.2	
	Molestias a la vivienda colindante por ruido y vibraciones de obra	Preparación del sitio y Construcción	-	0.8	1	0.4	0.2	2.72	
	Incremento de ruido por circulación vehicular	Operación y Mantenimiento	-	0.6	0.2	0.2	1	1.97	
Suelo	Remoción de cobertura vegetal y despalme	Preparación del sitio y Construcción	-	1	1	0.2	0.4	2.6	
	Compactación del suelo por tránsito de maquinaria pesada	Preparación del sitio y Construcción	-	0.8	0.8	0.2	0.4	1.86	

Matriz de Evaluación de Impactos Ambientales - Método EPM (Arboleda)									
Puente vehicular "La Torrecilla"									
Factor ambiental	Aspecto / Impacto identificado	Etapa	Criterios de Evaluación					Calificación Ambiental (Ca)	
			Clase	Presencia	Evolución	Magnitud	Duración	Negativo (–)	Positivo (+)
	Riesgo de contaminación por manejo de residuos peligrosos	Preparación del sitio y Construcción	-	0.4	1	0.2	0.4	1.04	
	Estabilidad de taludes y márgenes	Preparación del sitio y Construcción	-	0.4	0.6	0.4	0.6	1.39	
	Estabilidad de taludes y márgenes	Operación y Mantenimiento	-	0.4	0.2	0.4	1	1.42	
Hidrología superficial	Reducción temporal de la sección hidráulica del cauce por presencia de dos estructuras	Preparación del sitio y Construcción	-	0.6	0.4	0.4	0.6	1.75	
	Riesgo de contaminación del agua por lodos de perforación, concreto y aditivos	Preparación del sitio y Construcción	-	0.6	1	0.4	0.2	2.04	
	Arrastre de sedimentos y modificación de la calidad del agua por erosión	Preparación del sitio y Construcción	-	0.8	0.8	0.4	0.4	2.75	
	Consumo de agua para mezcla de agregados	Preparación del sitio y Construcción	-	1	1	0.2	0.2	2	
	Alteración de la dinámica hidráulica por colocación de zampeados de protección	Preparación del sitio y Construcción	-	0.6	0.4	0.4	0.8	2.11	
	Alteración de la dinámica hidráulica por colocación de zampeados de protección	Operación y Mantenimiento	+	0.8	0.2	0.4	1		2.85

Matriz de Evaluación de Impactos Ambientales - Método EPM (Arboleda)										
Puente vehicular "La Torrecilla"										
Factor ambiental	Aspecto / Impacto identificado	Etapa	Criterios de Evaluación					Calificación Ambiental (Ca)	
			Clase	Presencia	Evolución	Magnitud	Duración	Negativo (–)	Positivo (+)
	Modificación del drenaje pluvial por obras de desalojo	Preparación del sitio y Construcción	-	0.6	0.8	0.2	0.4	1.39	
	Modificación del drenaje pluvial por obras de desalojo	Operación y Mantenimiento	+	0.8	0.2	0.4	1		2.85
Hidrología subterránea	Riesgo de afectación al nivel freático por perforación hasta 13 m de profundidad	Preparación del sitio y Construcción	-	0.4	0.8	0.2	0.4	0.93	
	Riesgo de infiltración de contaminantes hacia el subsuelo	Preparación del sitio y Construcción	-	0.4	0.8	0.2	0.4	0.93	
Flora y Fauna	Remoción de vegetación, incluyendo vegetación de ribera	Preparación del sitio y Construcción	-	1	1	0.4	0.6	4.6	
	Desplazamiento o ahuyentamiento de fauna terrestre por ruido y actividad constructiva	Preparación del sitio y Construcción	-	0.8	1	0.4	0.2	2.72	
	Alteración del hábitat acuático (fauna íctica) por trabajos cercanos al cauce	Preparación del sitio y Construcción	-	0.6	0.4	0.4	0.6	1.75	
	Riesgo de atropellamiento de fauna por incremento del tránsito vehicular	Operación y Mantenimiento	-	0.4	0.2	0.2	1	1.31	
Paisaje (medio perceptual)	Modificación temporal del paisaje por maquinaria, campamento y frente de obra	Preparación del sitio y Construcción	-	1	1	0.4	0.2	3.4	

Matriz de Evaluación de Impactos Ambientales - Método EPM (Arboleda)									
Puente vehicular "La Torrecilla"									
Factor ambiental	Aspecto / Impacto identificado	Etapa	Criterios de Evaluación					Calificación Ambiental (Ca)	
			Clase	Presencia	Evolución	Magnitud	Duración	Negativo (–)	Positivo (+)
	Modificación permanente del paisaje por presencia simultánea de dos estructuras	Operación y Mantenimiento	-	1	0.2	0.4	1	3.56	
Residuos	Generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU)	Preparación del sitio y Construcción	-	1	1	0.2	0.2	2	
	Generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU)	Operación y Mantenimiento	-	0.6	0.2	0.2	1	1.97	
	Generación de Residuos de Manejo Especial (RME): concreto, ademe, lodos de perforación	Preparación del sitio y Construcción	-	1	0.8	0.4	0.4	3.44	
	Generación de residuos peligrosos (aceites, grasas, aditivos de concreto)	Preparación del sitio y Construcción	-	0.6	1	0.2	0.2	1.2	
	Generación de aguas residuales (sanitarios de obra)	Preparación del sitio y Construcción	-	1	1	0.2	0.2	2	
Infraestructura Vial	Afectación temporal al cruce vial durante la construcción	Preparación del sitio y Construcción	-	1	0.8	0.4	0.4	3.44	
	Dotación de servicios	Preparación del sitio y Construcción	+	0.6	0.6	0.2	0.4		1.22
	Dotación de servicios	Operación y Mantenimiento	+	0.8	0.4	0.4	1		3.3

Matriz de Evaluación de Impactos Ambientales - Método EPM (Arboleda)

Puente vehicular "La Torrecilla"

Factor ambiental	Aspecto / Impacto identificado	Etapa	Criterios de Evaluación					Calificación Ambiental (Ca)	
			Clase	Presencia	Evolución	Magnitud	Duración	Negativo (–)	Positivo (+)
	Adecuación del puente existente para uso peatonal	Preparación del sitio y Construcción	+	1	0.6	0.4	1		4.68
	Mejora de la conectividad vial y peatonal	Operación y Mantenimiento	+	1	0.4	0.6	1		4.68
Socioeconómico	Generación de empleos temporales	Preparación del sitio y Construcción	+	1	0.8	0.4	0.4		3.44
	Calidad de vida de la población (molestias por obra)	Preparación del sitio y Construcción	-	0.8	0.8	0.4	0.4	2.75	
	Calidad de vida de la población (beneficio por conectividad)	Operación y Mantenimiento	+	0.8	0.4	0.4	1		3.3
	Seguridad vial de los usuarios	Operación y Mantenimiento	+	0.8	0.4	0.6	1		3.74

En la siguiente tabla se presenta el resumen de los resultados obtenidos de la evaluación de los impactos ambientales identificados para el proyecto, incluyendo su clasificación conforme a la metodología EPM de Arboleda. La evaluación integra la identificación del factor ambiental afectado, el aspecto o impacto generado, la etapa del proyecto en la que ocurre y la calificación de importancia ambiental correspondiente. Con base en dicha calificación, los impactos se clasifican según su nivel de significancia, lo que permite establecer prioridades para la implementación de las medidas de manejo ambiental y orientar la toma de decisiones encaminadas a prevenir, mitigar, restaurar o, en su caso, compensar los efectos derivados del desarrollo del proyecto:

TABLA 27 RESUMEN DE MATRIZ DE IMPACTOS.

Factor ambiental	Aspecto / Impacto identificado	Etapa	Calificación Ambiental (Ca)	
			Negativo (−)	Positivo (+)
Atmósfera	Emisión de gases de combustión por maquinaria, equipo de perforación y vehículos de transporte	Preparación del sitio y Construcción	1.2	
	Generación de polvo por desmonte, despalme y movimiento de tierras	Preparación del sitio y Construcción	2.72	
	Emisión de gases de combustión por incremento del tránsito vehicular	Operación y Mantenimiento	3.28	
Ruido y vibraciones	Generación de ruido por maquinaria, perforación y actividades constructivas	Preparación del sitio y Construcción	2.72	
	Vibraciones por perforación y colocación de ademe metálico	Preparación del sitio y Construcción	1.2	
	Molestias a la vivienda colindante por ruido y vibraciones de obra	Preparación del sitio y Construcción	2.72	
	Incremento de ruido por circulación vehicular	Operación y Mantenimiento	1.97	
Suelo	Remoción de cobertura vegetal y despalme	Preparación del sitio y Construcción	2.6	
	Compactación del suelo por tránsito de maquinaria pesada	Preparación del sitio y Construcción	1.86	
	Riesgo de contaminación por manejo de residuos peligrosos	Preparación del sitio y Construcción	1.04	

Factor ambiental	Aspecto / Impacto identificado	Etapa	Calificación Ambiental (Ca)	
			Negativo (−)	Positivo (+)
	Estabilidad de taludes y márgenes	Preparación del sitio y Construcción	1.39	
	Estabilidad de taludes y márgenes	Operación y Mantenimiento	1.42	
Hidrología superficial	Reducción temporal de la sección hidráulica del cauce por presencia de dos estructuras	Preparación del sitio y Construcción	1.75	
	Riesgo de contaminación del agua por lodos de perforación, concreto y aditivos	Preparación del sitio y Construcción	2.04	
	Arrastre de sedimentos y modificación de la calidad del agua por erosión	Preparación del sitio y Construcción	2.75	
	Consumo de agua para mezcla de agregados	Preparación del sitio y Construcción	2	
	Alteración de la dinámica hidráulica por colocación de zampeados de protección	Preparación del sitio y Construcción	2.11	
	Alteración de la dinámica hidráulica por colocación de zampeados de protección	Operación y Mantenimiento		2.85
	Modificación del drenaje pluvial por obras de desalojo	Preparación del sitio y Construcción	1.39	
	Modificación del drenaje pluvial por obras de desalojo	Operación y Mantenimiento		2.85
Hidrología subterránea	Riesgo de afectación al nivel freático por perforación hasta 13 m de profundidad	Preparación del sitio y Construcción	0.93	
	Riesgo de infiltración de contaminantes hacia el subsuelo	Preparación del sitio y Construcción	0.93	
Flora y Fauna	Remoción de vegetación, incluyendo vegetación de ribera	Preparación del sitio y Construcción	4.6	
	Desplazamiento o ahuyentamiento de fauna terrestre por ruido y actividad constructiva	Preparación del sitio y Construcción	2.72	
	Alteración del hábitat acuático (fauna íctica) por trabajos cercanos al cauce	Preparación del sitio y Construcción	1.75	
	Riesgo de atropellamiento de fauna por incremento del tránsito vehicular	Operación y Mantenimiento	1.31	

Factor ambiental	Aspecto / Impacto identificado	Etapa	Calificación Ambiental (Ca)	
			Negativo (−)	Positivo (+)
Paisaje (medio perceptual)	Modificación temporal del paisaje por maquinaria, campamento y frente de obra	Preparación del sitio y Construcción	3.4	
	Modificación permanente del paisaje por presencia simultánea de dos estructuras	Operación y Mantenimiento	3.56	
Residuos	Generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU)	Preparación del sitio y Construcción	2	
	Generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU)	Operación y Mantenimiento	1.97	
	Generación de Residuos de Manejo Especial (RME): concreto, ademe, lodos de perforación	Preparación del sitio y Construcción	3.44	
	Generación de residuos peligrosos (aceites, grasas, aditivos de concreto)	Preparación del sitio y Construcción	1.2	
	Generación de aguas residuales (sanitarios de obra)	Preparación del sitio y Construcción	2	
Infraestructura Vial	Afectación temporal al cruce vial durante la construcción	Preparación del sitio y Construcción	3.44	
	Dotación de servicios	Preparación del sitio y Construcción		1.22
	Dotación de servicios	Operación y Mantenimiento		3.3
	Adecuación del puente existente para uso peatonal	Preparación del sitio y Construcción		4.68
	Mejora de la conectividad vial y peatonal	Operación y Mantenimiento		4.68
Socioeconómico	Generación de empleos temporales	Preparación del sitio y Construcción		3.44
	Calidad de vida de la población (molestias por obra)	Preparación del sitio y Construcción	2.72	
	Calidad de vida de la población (beneficio por conectividad)	Operación y Mantenimiento		3.3
	Seguridad vial de los usuarios	Operación y Mantenimiento		3.74

De acuerdo con la valoración realizada se identificaron un total de 43 impactos ambientales asociados al desarrollo del proyecto. De éstos, 21 corresponden a impactos poco significativos o irrelevantes y 21 a impactos moderadamente significativos o moderados; no se identificaron impactos clasificados como significativos o relevantes, ni muy significativos o graves. La distribución de los impactos de acuerdo con su nivel de importancia ambiental se presenta en la siguiente tabla:

TABLA 28 TOTAL DE IMPACTOS.

CALIFICACIÓN AMBIENTALES (Puntos)	IMPORTANCIA DEL IMPACTO AMBIENTAL	TOTAL
0.01 - 2.5	Poco significativo o irrelevante	21
2.6 - 5.0	Moderadamente significativo o moderado	21
5.1 - 7.5	Significativo o relevante	0
7.5 - 10	Muy significativo o grave	0
TOTAL DE IMPACTOS		42

De igual manera se tiene que de los 42 impactos identificados 33 corresponden a impactos negativos y 9 a impactos positivos. Del total de impactos negativos, 21 fueron clasificados como poco significativos o irrelevantes y 13 como moderadamente significativos o moderados. Por su parte, los impactos positivos se distribuyen en 1 (uno) poco significativo o irrelevante y 8 moderadamente significativos o moderados. No se identificaron impactos clasificados como significativos o relevantes, ni como muy significativos o graves. La distribución de los impactos conforme a su importancia ambiental se presenta en la siguiente tabla.

TABLA 29 IMPACTOS NEGATIVOS Y POSITIVOS.

IMPORTANCIA DEL IMPACTO AMBIENTAL	TOTAL	
	-	+
Poco significativo o irrelevante	20	1
Moderadamente significativo o moderado	13	8
Significativo o relevante		
Muy significativo o grave		
TOTAL DE IMPACTOS	33	9
TOTAL GENERAL	42	

De la aplicación del Método EPM – Arboleda a las 42 interacciones identificadas entre las acciones del proyecto y los factores ambientales del área de influencia, se obtuvieron 34 impactos de carácter negativo y 9 de carácter positivo. Ninguno de los impactos evaluados alcanzó un nivel de significancia "significativo" o "muy significativo" (Ca > 5.0), lo cual indica que el proyecto, en las condiciones

descritas y considerando la implementación de las medidas de manejo ambiental correspondientes, no genera afectaciones ambientales de carácter grave o irreversible.

Impactos negativos

De los 33 impactos negativos identificados, 20 se clasificaron como poco significativos (Ca ≤ 2.5) y 13 como moderadamente significativos (Ca entre 2.6 y 5.0). Entre los impactos negativos de mayor calificación destacan:

- La remoción de vegetación riparia asociada principalmente a las actividades de desmonte y despalme durante la preparación del sitio.
- La modificación permanente del paisaje por la presencia simultánea de dos estructuras sobre el cauce, como resultado de la coexistencia del puente existente adecuado para uso peatonal y el nuevo puente vehicular.
- La generación de Residuos de Manejo Especial —concreto, ademe metálico y lodos de perforación— y la afectación temporal al cruce vial durante la construcción.

La emisión de gases de combustión por el incremento del tránsito vehicular durante la etapa de operación.

Estos impactos, si bien no alcanzan un nivel crítico, corresponden a los aspectos ambientales que requieren mayor atención en el diseño del Programa de Manejo Ambiental, particularmente en lo relativo a la protección de la vegetación de ribera, el manejo adecuado de residuos de construcción y el control del tránsito vehicular durante la etapa constructiva.

Por su parte, los impactos de menor calificación (Ca entre 0.93 y 1.20) se relacionan con actividades puntuales y de baja probabilidad de ocurrencia o magnitud reducida, como el riesgo de afectación al nivel freático y de infiltración de contaminantes hacia el subsuelo durante la perforación de las pilas, dado que dichas actividades se realizan bajo condiciones controladas y con equipo especializado.

Impactos positivos

De los 9 impactos positivos identificados, 8 se clasificaron como moderadamente significativos, destacando la adecuación del puente existente para uso peatonal y la mejora de la conectividad vial y peatonal (ambos con Ca = 4.68), seguidos de la mejora en la seguridad vial de los usuarios (Ca = 3.74) y la generación de empleos temporales durante la etapa constructiva (Ca = 3.44). Estos resultados reflejan que los principales beneficios del proyecto se concentran en la etapa de operación, consistentes con el objetivo del proyecto de mejorar la conectividad y seguridad vial del municipio de Xicohtzinco.

Los resultados obtenidos permiten concluir que los impactos ambientales adversos del proyecto son, en su mayoría, temporales y de baja a moderada significancia, asociados principalmente a la etapa de preparación del sitio y construcción, mientras que los impactos positivos se concentran en la etapa de operación y mantenimiento, con una vigencia de largo plazo. Con base en esta jerarquización, a continuación se desarrollan las medidas de prevención, mitigación y compensación orientadas a atender de manera prioritaria los impactos moderadamente significativos identificados en el presente análisis.

4.3 Impactos ambientales del proyecto y medidas de prevención, mitigación, compensación y restauración

Con base en los resultados obtenidos de la evaluación, en el presente apartado se desarrollan las medidas de prevención, mitigación, restauración y compensación orientadas a evitar, reducir, controlar o corregir los efectos adversos identificados, así como a potenciar los impactos positivos asociados al proyecto.

Las medidas se clasifican conforme a los siguientes criterios:

- Prevención: acciones dirigidas a evitar la ocurrencia del impacto antes de que se manifieste.
- Mitigación: acciones dirigidas a atenuar, minimizar o reducir la magnitud de un impacto que no puede evitarse en su totalidad.
- Restauración: acciones dirigidas a recuperar las condiciones ambientales previas de un componente afectado por el proyecto.
- Compensación: acciones dirigidas a resarcir un efecto adverso no mitigable, mediante la generación de un beneficio ambiental equivalente en otro sitio o componente.

Las medidas propuestas se orientan de manera prioritaria a los impactos identificados como moderadamente significativos en la matriz de evaluación aunado a ello también se establecen medidas generales de buenas prácticas ambientales aplicables a los impactos de menor significancia, con el fin de mantener condiciones ambientales adecuadas durante todas las etapas del proyecto.

TABLA 30 MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN, COMPENSACIÓN Y RESTAURACIÓN.

Factor	Impacto Identificado	Etapa	Tipo de medida	Medida propuesta
Atmósfera	Generación de polvo por desmonte, despalme y movimiento de tierras	Preparación del sitio y Construcción	Mitigación	Se deberá realizar riego periódico de superficies expuestas y cubrir con lona los materiales durante su transporte y almacenamiento.
	Emisión de gases por incremento del tránsito vehicular	Operación y Mantenimiento	Mitigación	Se deberá colocar señalización que favorezca flujo continuo y evite frenados y/o arranques innecesarios.
			Mitigación	Se deberá limitar la velocidad de circulación de maquinaria y vehículos dentro del frente de obra (máximo 20 km/h).
			Mitigación	Mantener la maquinaria y los vehículos en condiciones óptimas de operación mediante mantenimiento preventivo, evitando mantener motores encendidos cuando no se encuentren en uso.
Ruido	Molestias a la vivienda colindante	Preparación del sitio y Construcción	Mitigación	Aplicar las medidas de control de ruido establecidas para la maquinaria y equipo, informar de forma oportuna sobre el programa de obra a los vecinos del área de influencia.
			Mitigación	En caso de utilizar plantas generadoras de energía o compresores, éstos deberán colocarse lo más alejados posible de las viviendas y contar con dispositivos de atenuación acústica.
	Generación de ruido por maquinaria, perforación y construcción	Preparación del sitio y Construcción.	Mitigación	Utilizar maquinaria y equipo con silenciadores en buen estado, realizar mantenimiento preventivo de forma periódica y restringir la ejecución de las actividades que generen mayores niveles de ruido al horario diurno, con el fin de reducir las emisiones sonoras y minimizar las molestias a la población y a la fauna del área de influencia.

Factor	Impacto Identificado	Etapa	Tipo de medida	Medida propuesta
Suelo	Remoción de cobertura vegetal y despalme	Preparación del sitio y Construcción	Restauración	Conservación y reutilización, en la medida de lo posible, de los materiales producto de despalme y excavación en las propias actividades del proyecto (rellenos, nivelaciones y restauración de áreas afectadas), antes de considerar su disposición fuera del sitio.
	Compactación del suelo por tránsito de maquinaria pesada	Preparación del sitio y Construcción.	Prevención / Mitigación	Evitar la compactación innecesaria del suelo restringiendo el tránsito de maquinaria exclusivamente a las áreas autorizadas.
				En caso de derrames de combustibles, aceites o lubricantes, retirar inmediatamente el suelo contaminado para su manejo como residuo conforme a la normatividad aplicable.
	Estabilidad de taludes y márgenes	Preparación del Sitio, Construcción, Operación y Mantenimiento	Restauración	Rehabilitación y estabilización de los taludes y márgenes intervenidos, una vez concluidas las actividades constructivas en cada frente de trabajo, mediante su conformación, compactación y, en su caso, revegetación, con el fin de prevenir procesos erosivos y mantener la estabilidad del terreno.
Hidrología superficial	Riesgo de contaminación del agua por lodos, concreto y aditivos	Preparación del sitio y Construcción	Prevención	Queda prohibido el lavado de equipo y descarga de residuos de concreto directamente al cauce; se deberán usas contenedores para almacenamiento temporal de lodos y aditivos.
			Prevención	Se deberá de colocar barreras de retención de sedimentos (costales, geotextiles, filtros o estructuras temporales equivalentes) cuando exista riesgo de arrastre de materiales hacia el cauce.
			Prevención	En caso de que se almacenen combustibles, aceites y sustancias químicas deberán almacenarse fuera de la zona federal y en áreas impermeabilizadas o en su caso con una cubierta previa del suelo con el fin de que no se encuentre en contacto directo.
			Prevención	Evitar el depósito temporal de materiales de construcción dentro del cauce o sobre los márgenes del río.

Factor	Impacto Identificado	Etapa	Tipo de medida	Medida propuesta
	Arrastre de sedimentos y modificación de la calidad del agua por erosión	Preparación del sitio y Construcción	Restauración	En la medida de lo posible, se deberá restaurar la vegetación riparia en las áreas de ribera que hayan sido afectadas por las actividades constructivas, una vez concluidas las obras cercanas al cauce.
Flora y Fauna	Alteración del hábitat acuático (fauna íctica)	Preparación del sitio y Construcción	Prevención / Mitigación	Se deberá de realizar el ahuyentamiento y/o rescate de fauna previo al inicio de actividades cercanas al cauce en caso de ser necesario; ejecución de trabajos en el cauce durante la temporada de estiaje (época de menor caudal del río), cuando sea posible.
			Prevención / Mitigación	Queda estrictamente la captura, caza, alimentación o molestia de ejemplares de fauna silvestre por parte del personal de obra.
	Remoción de vegetación, incluyendo vegetación de ribera	Preparación del sitio y Construcción	Prevención	Delimitar y señalizar las áreas estrictamente necesarias de desmonte, evitando la afectación de vegetación fuera del área de trabajo.
			Compensación	Dado que la construcción del puente y sus obras complementarias implica la pérdida permanente de vegetación riparia y arbórea, se realizará la compensación mediante la reforestación o revegetación con especies nativas en áreas definidas por la autoridad competente.
Paisaje	Modificación temporal del paisaje por obra	Preparación del sitio y Construcción.	Mitigación	Mantener orden y limpieza en el frente de obra; delimitar de forma clara el área de trabajo; retiro oportuno de materiales sobrantes al concluir cada etapa.
Residuos	Generación de RME: concreto, acero de ademe, lodos de perforación	Preparación del sitio y Construcción	Mitigación	Los materiales generados durante la ejecución de las cimentaciones profundas, incluyendo material de excavación, concreto residual y, en su caso, lodos de perforación, deberán manejarse y disponerse conforme a la normatividad aplicable, privilegiando su reutilización cuando sea técnica y ambientalmente viable.

Factor	Impacto Identificado	Etapa	Tipo de medida	Medida propuesta
	Generación de residuos peligrosos (aceites, grasas, aditivos de concreto)	Preparación del sitio y Construcción	Mitigación	Los residuos peligrosos (estopas impregnadas, envases de aceites, filtros, absorbentes contaminados), en caso de generarse, deberán almacenarse temporalmente en recipientes identificados y entregarse a un prestador autorizado.
Infraestructura vial	Afectación temporal al cruce vial	Preparación del sitio y Construcción	Prevención / Mitigación	Implementación de señalización, banderilleros y rutas alternas durante la obra para minimizar afectaciones a los usuarios del cruce.
		Preparación del sitio y Construcción	Restauración	Se deberá de restituir las condiciones originales de pavimentos, banquetas y señalamientos que resulten afectados durante la construcción.
Socioeconómico	Generación de empleos temporales	Preparación del sitio y Construcción	Mitigación	Priorizar la contratación de mano de obra local y la adquisición preferente de insumos disponibles en la región.
	Calidad de vida de la población - molestias por obra			

Además de las medidas específicas descritas en el apartado anterior, se establecen las siguientes medidas de carácter general, aplicables de manera transversal a todas las actividades y etapas del proyecto, con el fin de asegurar un desempeño ambiental adecuado durante su desarrollo.

Medidas de gestión y organización ambiental

- Designar un responsable ambiental de obra encargado de supervisar el cumplimiento de las medidas de mitigación establecidas en el presente estudio.
- Capacitar al personal de obra, previo al inicio de actividades, en materia de protección ambiental, manejo de residuos, prevención de contingencias y conducta responsable dentro del área del proyecto.
- Contar con la autorización en materia de impacto ambiental, así como con los permisos correspondientes previo al inicio de obras.
- Llevar un control de obra donde se registren las actividades relevantes.
- Queda prohibido al personal realizar quemas de cualquier tipo de residuo en la zona del proyecto o en cualquier otro sitio colindante al mismo.
- Se deberá evitar el almacenamiento temporal de materiales, maquinaria, combustibles o residuos dentro del cauce y de la zona federal, manteniendo libre el flujo del mismo durante todas las etapas del proyecto.

Medidas generales durante la preparación del sitio y construcción

- Mantener delimitada el área de trabajo para evitar afectaciones a superficies fuera del polígono autorizado del proyecto.
- Se deberá de contar con sanitarios portátiles en la obra siendo 1 por cada 10 trabajadores en sitio, asegurando su mantenimiento periódico y la disposición adecuada de las aguas residuales mediante empresa autorizada.
- Realizar el mantenimiento de maquinaria y equipo en sitios designados para tal fin, preferentemente en un taller autorizado.
- Contar con un kit de contención de derrames (material absorbente, contenedores) disponible en el frente de obra.
- Establecer horarios de trabajo que minimicen las molestias a la población (evitando actividades ruidosas en horario nocturno).
- Suspender actividades ante condiciones climáticas adversas (lluvias intensas, crecidas del cauce) que puedan incrementar el riesgo ambiental o de seguridad.

Medidas generales durante la operación y mantenimiento

- Establecer un programa de mantenimiento periódico de la estructura del puente, taludes, zampeados y obras de drenaje, para conservar su

funcionalidad y prevenir deterioro ambiental asociado a fallas estructurales.

- Dar mantenimiento a la señalización vial y peatonal para preservar las condiciones de seguridad de los usuarios.
- Conservar la vegetación de reforestación o restauración establecida durante la etapa constructiva, mediante riego y mantenimiento durante el periodo de establecimiento.
- Realizar inspecciones periódicas posteriores a eventos extraordinarios (avenidas máximas, lluvias intensas o sismos) para verificar la estabilidad de pilas, estribos, zampeados y obras de protección.

Medidas de seguimiento

- Implementar un Programa de Vigilancia Ambiental (desarrollado en el apartado correspondiente de este capítulo) que permita verificar el cumplimiento de las medidas aquí establecidas y la efectividad de estas durante las distintas etapas del proyecto. .

4.4 Resumen del análisis de los impactos ambientales significativos, acumulativos, sinérgicos y residuales

En el presente apartado se realiza un análisis complementario de los impactos ambientales identificados, considerando no solo su calificación individual, sino también la forma en que estos se suman a los impactos existentes en la región ecológica del proyecto interactúa entre sí, y persisten una vez aplicadas las medidas de prevención, mitigación, restauración y compensación descritas en el presente capítulo. Para ello, se identifican y justifican los impactos de carácter significativo, acumulativo, sinérgico y residual asociados al proyecto de construcción del puente vehicular "La Torrecilla".

4.4.1 Impactos significativos

Los impactos significativos corresponden a aquellos cuya calificación ambiental (Ca), obtenida mediante el Método EPM – Arboleda, refleja una afectación relevante sobre algún componente ambiental, aun cuando no comprometa la viabilidad ambiental del proyecto.

Impacto significativo	Justificación
Remoción de vegetación, incluyendo vegetación de ribera	Es el impacto de mayor calificación del proyecto; la vegetación de ribera cumple funciones de estabilización de márgenes y hábitat para fauna asociada al cauce del río Zahuapan.
Modificación permanente del paisaje por presencia simultánea	La coexistencia del puente existente adecuado para uso peatonal y el nuevo puente vehicular altera de

Impacto significativo	Justificación
de dos estructuras sobre el cauce	forma permanente la percepción visual del entorno del cruce.
Generación de Residuos de Manejo Especial: concreto, ademe metálico y lodos de perforación	El proceso constructivo de las pilas perforadas mediante método Tremie genera volúmenes considerables de residuos que requieren manejo y disposición controlada.
Afectación temporal al cruce vial de cuatro direcciones durante la construcción.	El sitio del proyecto corresponde a un nodo vial activo, por lo que la obra interactúa directamente con la movilidad cotidiana de la población.

4.4.2 Impactos acumulativos

Los impactos acumulativos corresponden a aquellos cuyos efectos se incrementan progresivamente debido a la interacción del proyecto con otras actividades existentes o futuras dentro del área de influencia.

En el caso del presente proyecto, se identifica como principal interacción de este tipo la coexistencia hidráulica entre el puente existente —adecuado para uso peatonal— y el nuevo puente vehicular sobre el río Zahuapan, la cual se suma a otras intervenciones puntuales presentes en el cauce, así como al incremento gradual del tránsito vehicular derivado del crecimiento urbano del municipio. No obstante, dicha interacción se limita al sitio del proyecto y a su área de influencia directa, sin que se identifiquen elementos que permitan prever que estos efectos, de manera conjunta con otras actividades de la región, puedan ocasionar la destrucción, el aislamiento o la fragmentación de los ecosistemas presentes en la región ecológica.

4.4.3 Impactos sinérgicos

Los impactos sinérgicos corresponden a aquellos cuyo efecto conjunto es de magnitud mayor a la que resultaría de la suma simple de los efectos individuales que lo componen.

Para el presente proyecto, se identificó como posible efecto de este tipo la interacción entre la remoción de vegetación de ribera y los trabajos constructivos cercanos al cauce, que en conjunto podrían incrementar temporalmente la exposición del hábitat de fauna asociado al río. Este efecto, sin embargo, es de naturaleza local y temporal, se limita a la etapa de preparación del sitio y construcción, y es atendido de manera directa mediante las medidas de restauración de vegetación riparia y de protección de fauna, sin que se identifiquen indicios de un efecto sinérgico que comprometa la integridad funcional de los ecosistemas de la región.

4.4.4 Impactos residuales

Los impactos residuales corresponden a aquellos que persisten después de la aplicación de las medidas de prevención, mitigación, restauración o compensación establecidas para el proyecto.

En función a los anteriores criterios se establece que no existirán impactos residuales del proyecto sobre ningún factor evaluado.

El análisis complementario de los impactos acumulativos, sinérgicos y residuales permitió identificar que los efectos del proyecto sobre el sistema ambiental son de carácter local y se limitan al sitio del proyecto y su área de influencia directa, sin que se identifiquen elementos que permitan prever, individual o en conjunto con otras actividades de la región, la destrucción, el aislamiento o la fragmentación de los ecosistemas presentes.

4.5 Programa de Vigilancia Ambiental

Objetivo General

Verificar la correcta implementación y eficacia de las medidas de prevención, mitigación, restauración y compensación propuestas para el proyecto, con la finalidad de reducir los impactos ambientales adversos identificados y asegurar el adecuado desempeño ambiental del mismo durante las etapas de preparación del sitio, construcción, operación y mantenimiento.

Objetivos específicos

- Programar y dar seguimiento a las medidas ambientales propuestas para prevenir, mitigar, restaurar o compensar los impactos ambientales identificados durante las distintas etapas del proyecto.
- Diseñar e implementar acciones de monitoreo y seguimiento de los componentes ambientales susceptibles de afectación dentro del área de influencia del proyecto.
- Establecer indicadores y parámetros de verificación que permitan evaluar el desempeño ambiental del proyecto y la eficacia de las medidas implementadas.
- Identificar oportunamente desviaciones respecto a las condiciones ambientales previstas y, en su caso, definir e implementar acciones correctivas adicionales.
- Garantizar el cumplimiento de la normatividad ambiental aplicable y de las condicionantes que, en su caso, establezca la autoridad competente.

Alcance del Programa de Vigilancia Ambiental

El Programa de Vigilancia Ambiental integra las medidas de seguimiento, control y verificación asociadas a los impactos ambientales identificados para las distintas etapas del proyecto y se estructura conforme a las siguientes líneas estratégicas:

- Preparación del sitio.
- Construcción.
- Operación y mantenimiento.

Responsables

La empresa promovente, a través del personal responsable de la operación del proyecto y de los contratistas que participen en las distintas etapas de ejecución, será responsable de la implementación, seguimiento y cumplimiento de las medidas establecidas en el presente Programa de Vigilancia Ambiental, así como de la protección y conservación del entorno físico, biológico y socioeconómico presente dentro del área de influencia del proyecto.

Para tal efecto, la promovente garantizará que el personal y los contratistas involucrados conozcan y apliquen las medidas ambientales, de seguridad y de prevención de riesgos establecidas para el proyecto, promoviendo el cumplimiento de la normatividad ambiental y de las mejores prácticas aplicables.

Procedimiento

Para el cumplimiento de los objetivos del presente Programa de Vigilancia Ambiental se elaboraron fichas técnicas de seguimiento para aquellos componentes ambientales e impactos considerados relevantes, significativos o susceptibles de monitoreo durante las distintas etapas del proyecto. Dichas fichas establecen los objetivos, actuaciones, sitios de inspección, periodicidad, medidas de prevención y corrección, así como los parámetros e indicadores que permitirán evaluar el desempeño ambiental del proyecto y la eficacia de las medidas implementadas.

Con el propósito de facilitar la identificación y ubicación de las medidas de prevención, mitigación, restauración y compensación descritas previamente en el presente capítulo, se asignó a cada una de ellas una clave de referencia, conforme a su naturaleza: P (Prevención), M (Mitigación), R (Restauración), C (Compensación) y G (Gestión y organización ambiental). Dicha codificación se presenta en el catálogo de medidas en la tabla que se muestra a continuación, dicha tabla será la utilizada para referenciar las medidas aplicables dentro de cada una de las fichas técnicas de seguimiento del presente Programa de Vigilancia Ambiental.

TABLA 31 CATÁLOGO DE MEDIDAS AMBIENTALES.

Catálogo de Medidas Ambientales	
Clave	Medida
Medidas de Prevención	
P1	Delimitar y señalizar las áreas estrictamente necesarias de desmonte, evitando la afectación de vegetación fuera del área de trabajo.
P2	Queda prohibido el lavado de equipo y descarga de residuos de concreto directamente al cauce; se deberán usas contenedores para almacenamiento temporal de lodos y aditivos.
P3	Se deberá de colocar barreras de retención de sedimentos (costales, geotextiles, filtros o estructuras temporales equivalentes) cuando exista riesgo de arrastre hacia el cauce.
P4	En caso de que se almacenen combustibles, aceites y sustancias químicas deberán almacenarse fuera de la zona federal y en áreas impermeabilizadas o en su caso con una cubierta previa del suelo con el fin de que no se encuentre en contacto directo.
P5	Evitar el almacenamiento temporal de materiales de construcción dentro del cauce o sobre las márgenes del río.
P6	Se deberá de realizar el ahuyentamiento y/o rescate de fauna previo al inicio de actividades cercanas al cauce en caso de ser necesario; ejecución de trabajos en el cauce durante la temporada de estiaje (época de menor caudal del río), cuando sea posible.
P7	Queda estrictamente la captura, caza, alimentación o molestia de ejemplares de fauna silvestre por parte del personal de obra.
P8	Implementación de señalización, banderilleros y rutas alternas durante la obra para minimizar afectaciones a los usuarios del cruce.
P9	Evitar la compactación innecesaria del suelo, restringiendo el tránsito de maquinaria a las áreas autorizadas.
P10	Queda prohibido de realizar quemas de cualquier tipo de residuo en la zona del proyecto o en cualquier otro sitio colindante al mismo.
P11	Se deberá evitar el almacenamiento temporal de materiales, maquinaria, combustibles o residuos dentro del cauce y de la zona federal, manteniendo libre el flujo del mismo durante todas las etapas del proyecto.
P12	Mantener delimitada el área de trabajo para evitar afectaciones a superficies fuera del polígono autorizado del proyecto.
P13	Realizar el mantenimiento de maquinaria y equipo en sitios designados para tal fin, preferentemente en un taller autorizado.
P14	Contar con un kit de contención de derrames (material absorbente, contenedores) en el frente de obra.
P15	Suspender actividades ante condiciones climáticas adversas (lluvias intensas, crecidas del cauce) que puedan incrementar el riesgo ambiental o de seguridad.
Medidas de Mitigación	
Clave	Medida
M1	Se deberá realizar riego periódico de superficies expuestas y cubrir con lona los materiales durante su transporte y almacenamiento.

Catálogo de Medidas Ambientales	
Clave	Medida
M2	Se deberá colocar señalización que favorezca flujo continuo y evite frenados y/o arranques innecesarios.
M3	Se deberá limitar la velocidad de circulación de maquinaria y vehículos dentro del frente de obra (máximo 20 km/h).
M4	Mantener la maquinaria y los vehículos en condiciones óptimas de operación mediante mantenimiento preventivo, evitando mantener motores encendidos cuando no se encuentren en uso.
M5	Aplicar las medidas de control de ruido establecidas para la maquinaria y equipo.
M6	Utilizar maquinaria y equipo con silenciadores en buen estado, realizar mantenimiento preventivo de forma periódica y restringir la ejecución de las actividades que generen mayores niveles de ruido al horario diurno, con el fin de reducir las emisiones sonoras y minimizar las molestias a la población y a la fauna del área de influencia.
M7	Los materiales generados durante la ejecución de las cimentaciones profundas, incluyendo material de excavación, concreto residual y, en su caso, lodos de perforación, deberán manejarse y disponerse conforme a la normatividad aplicable, privilegiando su reutilización cuando sea técnica y ambientalmente viable.
M8	Los residuos peligrosos (estopas impregnadas, envases de aceites, filtros, absorbentes contaminados), en caso de generarse, deberán almacenarse temporalmente en recipientes identificados y entregarse a un prestador autorizado.
M9	En caso de derrames de combustibles, aceites o lubricantes, retirar inmediatamente el suelo contaminado para su manejo como residuo conforme a la normatividad aplicable.
M11	Priorizar la contratación de mano de obra local y la adquisición preferente de insumos disponibles en la región.
M12	Informar de forma oportuna sobre el programa de obra a los vecinos del área de influencia.
M13	En caso de utilizar plantas generadoras de energía o compresores, éstos deberán colocarse lo más alejados posible de las viviendas y contar con dispositivos de atenuación acústica.
M14	Mantener orden y limpieza en el frente de obra; delimitar de forma clara el área de trabajo; retiro oportuno de materiales sobrantes al concluir cada etapa.
M15	Se deberá de contar con sanitarios portátiles en la obra siendo 1 por cada 10 trabajadores en sitio, asegurando su mantenimiento periódico y la disposición adecuada de las aguas residuales mediante empresa autorizada.
M16	Establecer horarios de trabajo que minimicen las molestias a la población (evitando actividades ruidosas en horario nocturno).
M18	Establecer un programa de mantenimiento periódico de la estructura del puente, taludes, zampeados y obras de drenaje, para conservar su funcionalidad y prevenir deterioro ambiental asociado a fallas estructurales.
M19	Dar mantenimiento a la señalización vial y peatonal para preservar las condiciones de seguridad de los usuarios.

Catálogo de Medidas Ambientales	
Clave	Medida
M20	Realizar inspecciones periódicas posteriores a eventos extraordinarios (avenidas máximas, lluvias intensas o sismos) para verificar la estabilidad de pilas, estribos, zampeados y obras de protección.
Medidas de Restauración	
Clave	Medida
R1	Conservación y reutilización, en la medida de lo posible, de los materiales producto de despalme y excavación en las propias actividades del proyecto (rellenos, nivelaciones y restauración de áreas afectadas), antes de considerar su disposición fuera del sitio
R2	En la medida de lo posible, se deberá restaurar la vegetación riparia en las áreas de ribera que hayan sido afectadas por las actividades constructivas, una vez concluidas las obras cercanas al cauce.
R3	Rehabilitación y estabilización de los taludes y márgenes intervenidos, una vez concluidas las actividades constructivas en cada frente de trabajo, mediante su conformación, compactación y, en su caso, revegetación, con el fin de prevenir procesos erosivos y mantener la estabilidad del terreno.
R4	Se deberá de restituir las condiciones originales de pavimentos, banquetas y señalamientos afectados durante la construcción.
Medidas de Compensación	
Clave	Medida
C1	Dado que la construcción del puente y sus obras complementarias implica la pérdida permanente de vegetación riparia y arbórea, se realizará la compensación mediante la reforestación o revegetación con especies nativas en áreas definidas por la autoridad competente.
Medidas de Gestión y Organización Ambiental	
Clave	Medida
G1	Designar un responsable ambiental de obra encargado de supervisar el cumplimiento de las medidas de mitigación establecidas en el presente estudio.
G2	Capacitar al personal de obra, previo al inicio de actividades, en materia de protección ambiental, manejo de residuos, prevención de contingencias y conducta responsable dentro del área del proyecto.
G3	Contar con la autorización en materia de impacto ambiental, así como con los permisos correspondientes previo al inicio de obras.
G4	Llevar un control de obra donde se registren las actividades relevantes.
G5	Implementar el Programa de Vigilancia Ambiental para verificar el cumplimiento y efectividad de las medidas establecidas.

En las siguientes fichas se muestra el programa de seguimiento ambiental a implementar durante las distintas etapas del proyecto, las cuales retoman las claves de las medidas de prevención, mitigación, restauración y compensación descritas en el catálogo anterior:

PROTECCIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES Y CONTROL DE SEDIMENTOS
Objetivos
Prevenir afectaciones a la calidad del agua y a la estabilidad del cauce del río Zahuapan, derivadas de la construcción de la cimentación, zampeados y obras complementarias del puente.
Actuaciones
Supervisar la instalación y mantenimiento de barreras de retención de sedimentos. Verificar que las obras dentro o cerca del cauce se ejecuten preferentemente durante estiaje. Revisar la estabilidad de taludes y márgenes intervenidos. Verificar la restitución del cauce y áreas afectadas al concluir la obra.
Lugar de inspección
Cauce del río Zahuapan en el sitio del proyecto, así como zonas aguas arriba y aguas abajo del cruce.
Parámetros y control de umbrales
Ausencia de arrastre visible de sedimentos. Ausencia de turbidez anormal aguas abajo. Correcta operación de barreras de control. Evidencia fotográfica periódica.
Periodicidad de la inspección
Inspecciones semanales durante las obras cercanas al cauce y extraordinarias después de eventos de lluvia intensa.
Medidas de prevención y corrección
P2, P3, P4, P5, P11, P16, M7, R2, R3

CALIDAD DEL AIRE Y CONTROL DE EMISIONES
Objetivos
Prevenir y mitigar la afectación a la calidad del aire por generación de polvo y emisiones de combustión durante la construcción y operación del puente.
Actuaciones
Verificar el riego periódico de superficies expuestas. Supervisar la cobertura de materiales durante transporte. Revisar el estado y mantenimiento de la maquinaria y vehículos.
Lugar de inspección
Frente de obra, accesos provisionales y vialidades de transporte de materiales.
Parámetros y control de umbrales
Ausencia de generación visible de polvo fuera del área de trabajo. Vehículos sin emisiones visibles de humo negro. Bitácora de mantenimiento de maquinaria al día.
Periodicidad de la inspección
Inspecciones semanales durante la etapa de preparación del sitio y construcción.
Medidas de prevención y corrección
M1, M2, M4

CONTROL DE RUIDO Y VIBRACIONES
Objetivos
Prevenir y mitigar molestias por ruido y vibraciones a la población colindante y a la fauna del área, generadas por maquinaria, perforación y actividades constructivas.
Actuaciones
Verificar el uso de equipo con silenciadores en buen estado. Supervisar el cumplimiento de horarios de trabajo diurno. Dar seguimiento a la comunicación con la vivienda colindante al sitio del proyecto.
Lugar de inspección
Frente de obra y vivienda colindante identificada en el área de influencia directa del proyecto.
Parámetros y control de umbrales
Cumplimiento de horarios establecidos. Ausencia de quejas reiteradas de la vivienda colindante. Verificación de dispositivos de atenuación acústica cuando aplique.
Periodicidad de la inspección
Inspecciones semanales durante la etapa de preparación del sitio y construcción.
Medidas de prevención y corrección
M5, M6, M13, P16

PROTECCIÓN DE FLORA (VEGETACIÓN DE RIBERA), FAUNA SILVESTRE Y ACUÁTICA
Objetivos
Prevenir y mitigar la afectación a la fauna terrestre y acuática asociada al cauce del río Zahuapan y su vegetación de ribera. Prevenir la afectación innecesaria de vegetación y asegurar la compensación de la cobertura vegetal removida, particularmente la vegetación de ribera del río Zahuapan.
Actuaciones
Realizar el ahuyentamiento y rescate de fauna previo a actividades cercanas al cauce. Supervisar el cumplimiento de la prohibición de caza, captura o molestia a fauna silvestre. Verificar la delimitación de las áreas de desmonte autorizadas. Supervisar el rescate previo de especies de valor ecológico. Dar seguimiento a la reforestación compensatoria (sobrevivencia, riego, mantenimiento).
Lugar de inspección
Cauce del río Zahuapan y vegetación de ribera en el área de influencia del proyecto. Polígono del proyecto, márgenes del río Zahuapan y sitio(s) de reforestación compensatoria.
Parámetros y control de umbrales
Evidencia de la realización del ahuyentamiento previo al inicio de obras en el cauce. Ausencia de reportes de captura, caza o daño a fauna por personal de obra. Superficie de desmonte no mayor a la autorizada. Registro fotográfico de avance de reforestación.
Periodicidad de la inspección
Inspección previa al inicio de actividades en el cauce; seguimiento quincenal durante la construcción.

Medidas de prevención y corrección
P1, P6, P7, P10, P12, C1, R1

MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS, DE MANEJO ESPECIAL Y PELIGROSOS
Objetivos
Prevenir la contaminación del suelo, agua y aire por el inadecuado manejo de residuos generados durante la construcción y operación del proyecto.
Actuaciones
Supervisar la separación, almacenamiento temporal y disposición de RSU, RME y residuos peligrosos. Verificar la entrega a prestadores de servicios autorizados y su documentación (manifiestos).
Lugar de inspección
Áreas de almacenamiento temporal de residuos en el frente de obra.
Parámetros y control de umbrales
Residuos correctamente segregados e identificados. Ausencia de residuos dispersos fuera de las áreas designadas. Manifiestos de entrega a prestadores autorizados disponibles en bitácora.
Periodicidad de la inspección
Inspecciones quincenales durante la etapa constructiva.
Medidas de prevención y corrección
M7, M8, M9, M15, P4, R1

ESTABILIDAD DE TALUDES, MÁRGENES Y OBRAS DE PROTECCIÓN
Objetivos
Prevenir procesos de erosión e inestabilidad en taludes y márgenes del río Zahuapan, y verificar el adecuado funcionamiento de las obras de protección (zampeados) durante la construcción y operación.
Actuaciones
Verificar la estabilización temporal de taludes durante la obra. Supervisar la correcta colocación de zampeados de protección. Realizar inspecciones posteriores a eventos hidrometeorológicos extraordinarios.
Lugar de inspección
Márgenes del río Zahuapan en la zona de caballetes y zampeados de protección.
Parámetros y control de umbrales
Ausencia de socavación visible en la base de los caballetes. Integridad de los zampeados de protección. Ausencia de deslizamientos o agrietamientos en taludes intervenidos.
Periodicidad de la inspección
Inspecciones quincenales durante la construcción; inspecciones anuales y extraordinarias posteriores a avenidas máximas durante la operación.
Medidas de prevención y corrección
P9, R3, M16, M18

VIALIDAD, TRÁNSITO Y RESTITUCIÓN DE INFRAESTRUCTURA
Objetivos
Prevenir y mitigar afectaciones a la movilidad vial y peatonal del cruce durante la construcción, y asegurar la restitución de la infraestructura afectada.
Actuaciones
Verificar la implementación del Programa de Manejo de Tránsito. Supervisar la señalización y presencia de banderilleros. Verificar la restitución de pavimentos, banquetas y señalamientos afectados.
Lugar de inspección
Cruce vial de cuatro direcciones y vialidades de acceso al sitio del proyecto.
Parámetros y control de umbrales
Señalización visible y en buen estado. Ausencia de reportes de accidentes viales asociados a la obra. Restitución completa de infraestructura afectada al concluir la obra.
Periodicidad de la inspección
Inspecciones semanales durante la etapa constructiva; verificación final previa a la entrega de la obra.
Medidas de prevención y corrección
P8, R4, M17

GESTIÓN AMBIENTAL Y ATENCIÓN A CONTINGENCIAS
Objetivos
Asegurar la adecuada gestión ambiental del proyecto y la atención oportuna de contingencias ambientales durante todas sus etapas.
Actuaciones
Verificar la designación y actuación del responsable ambiental de obra. Supervisar la capacitación del personal. Revisar la bitácora ambiental de obra. Verificar la disponibilidad del kit de contención de derrames.
Lugar de inspección
Oficinas de obra y frente de trabajo en general.
Parámetros y control de umbrales
Bitácora ambiental actualizada. Constancias de capacitación del personal. Kit de contención de derrames completo y disponible. Permisos y autorizaciones vigentes.
Periodicidad de la inspección
Inspección mensual durante toda la etapa constructiva.
Medidas de prevención y corrección
G1, G4, P14, P15

CALIDAD DE VIDA Y BIENESTAR DE LA POBLACIÓN
Objetivos
Prevenir y mitigar molestias a la población del área de influencia y dar seguimiento a los beneficios sociales asociados al proyecto.
Actuaciones

Verificar el funcionamiento del mecanismo de atención a quejas. Supervisar la difusión oportuna del programa de obra a la población. Dar seguimiento a la contratación de mano de obra local.
Lugar de inspección
Área de influencia directa del proyecto, particularmente la vivienda colindante y usuarios del cruce.
Parámetros y control de umbrales
Registro de quejas recibidas y atendidas. Porcentaje de mano de obra local contratada. Evidencia de difusión del programa de obra.
Periodicidad de la inspección
Mensual durante la etapa constructiva.
Medidas de prevención y corrección
M10, M11, M15

Las fichas técnicas anteriores constituyen el instrumento operativo del presente Programa de Vigilancia Ambiental, al establecer de manera específica los objetivos, actuaciones, sitios de inspección, parámetros de control, periodicidad y medidas aplicables para cada componente ambiental susceptible de afectación por el proyecto. Su implementación permitirá dar seguimiento sistemático al desempeño ambiental de la obra durante las etapas de preparación del sitio, construcción, y operación y mantenimiento, así como identificar de manera oportuna cualquier desviación respecto a las condiciones previstas, a fin de establecer las acciones correctivas adicionales que, en su caso, resulten necesarias. Los resultados derivados de la aplicación de este programa deberán quedar debidamente documentados en la bitácora ambiental de obra, como evidencia del cumplimiento de las medidas establecidas en el presente estudio y de la normatividad ambiental aplicable

4.6 Conclusiones Generales

De acuerdo con el análisis de los componentes ambientales, técnicos y socioeconómicos, así como de los impactos ambientales identificados y de las medidas de prevención, mitigación, restauración y, en su caso, compensaciones propuestas, se concluye que el proyecto “PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE” se concluye que es ambiental, técnica y socialmente viable.

El proyecto contempla la construcción de un nuevo puente vehicular sobre el río Zahuapan, conservando el puente existente para destinarlo al tránsito peatonal, lo que permitirá mejorar la conectividad entre ambas márgenes del río, incrementar la seguridad de los usuarios y optimizar la movilidad local y regional

mediante una infraestructura diseñada con base en las condiciones geotécnicas e hidráulicas del sitio.

Durante las etapas de preparación del sitio y construcción se prevén impactos asociados principalmente a la remoción temporal de vegetación riparia, el movimiento de tierras, la generación de emisiones de polvo y ruido, el manejo de residuos de construcción y la intervención temporal en las inmediaciones del cauce; sin embargo, éstos fueron evaluados como impactos de carácter temporal, localizado y mitigable, por lo que pueden ser prevenidos, mitigados o restaurados mediante la aplicación de las medidas ambientales propuestas y su seguimiento a través del Programa de Vigilancia Ambiental.

En consecuencia, considerando que los beneficios permanentes derivados del mejoramiento de la infraestructura vial y peatonal, el incremento en la seguridad de los usuarios y la conservación del puente existente para uso peatonal superan los impactos ambientales temporales previstos, se concluye que la ejecución del proyecto no generará desequilibrios ecológicos significativos ni alterará de manera permanente las condiciones ambientales del área de influencia, por lo que, con base en la información contenida en la presente Manifestación de Impacto Ambiental, este grupo consultor considera que el proyecto es ambientalmente viable.

4.7 Anexos de proyecto

4.7.1 Documentos Legales del promovente

4.7.2 Documentos del responsable del Estudio

4.7.3 Planos del proyecto

4.7.4 Reporte Fotográfico

4.7.5 Cartografía

4.7.6 Información Técnica

4.7.7 Archivos KMl del proyecto

4.8 Glosario de términos

Adaptación: Medidas y ajustes en sistemas humanos o naturales, como respuesta a estímulos climáticos, proyectados o reales, o sus efectos, que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos.

Adaptación al cambio climático: La capacidad de adaptación, definida como la habilidad de un sistema para ajustarse al cambio climático (incluida la variabilidad del clima y sus extremos) para moderar daños posibles, aprovecharse de oportunidades o enfrentarse a las consecuencias, será el mecanismo para reducir la vulnerabilidad en México.

Arrecife: Banco formado en el mar por rocas, puntas de roca o políperos y llega casi a flor de agua.

Banco de material: Sitio donde se encuentran acumulados en estado natural, los materiales que utilizarán en la construcción de una obra.

Batimetría: Representación gráfica de las curvas de igual profundidad.

Braza: Medida de longitud usada en la marina equivalente a 1.829 metros del sistema inglés, 1.624 metros del francés; y 1.671 metros del español.

Beneficioso o perjudicial: Positivo o negativo.

Calado: Profundidad a la cual se sumerge el barco en el agua, marcada siempre en números en proa y popa del barco; el máximo calado permitido del buque está indicado por la línea de máxima de inmersión.

Cambio Climático: Variación del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera global y se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables.

Componentes ambientales críticos: Serán definidos de acuerdo con los siguientes criterios: fragilidad, vulnerabilidad, importancia en la estructura y función del sistema, presencia de especies de flora, fauna y otros recursos naturales considerados en alguna categoría de protección, así como aquellos elementos de importancia desde el punto de vista cultural, religioso y social.

Componentes ambientales relevantes: Se determinarán sobre la base de la importancia que tienen en el equilibrio y mantenimiento del sistema, así como por las interacciones proyecto ambiente previstas.

Contingencias ambientales: Situación de riesgo derivado de actividades humanas o de fenómenos naturales que pueden poner en peligro a uno o varios ecosistemas.

Daño ambiental: Es el que ocurre sobre algún elemento ambiental a consecuencia de un impacto ambiental adverso.

Daño a los ecosistemas: Es el resultado de uno o más impactos ambientales sobre uno o varios elementos ambientales o procesos del ecosistema que desencadenan un desequilibrio ecológico.

Daño grave al ecosistema: Es aquel que propicia la pérdida de uno o varios elementos ambientales, que afecta la estructura o función, o que modifica las tendencias evolutivas o sucesionales del ecosistema.

Dársena: Parte interior y resguardada de un puerto, en donde las embarcaciones realizan operaciones de maniobrabilidad.

Deforestación: Destrucción de la superficie forestal causada por la acción del hombre sobre la naturaleza, principalmente debido a las talas o quemas realizadas por la industria maderera, así como por la obtención de suelo para la agricultura, minería y ganadería.

Degradación: Reducción del contenido de carbono en la vegetación natural, ecosistemas o suelos, debido a la intervención humana, con relación a la misma vegetación ecosistemas o suelos, si no hubiera existido dicha intervención.

Desequilibrio ecológico grave: Alteración significativa de las condiciones ambienta- les en las que se prevén impactos acumulativos, sinérgicos y residuales que ocasionarían la destrucción, el aislamiento o la fragmentación de los ecosistemas.

Desmonte: Remoción de la vegetación existente en las áreas destinadas a la instalación de la obra.

Draga: Barco provisto de maquinaria especial para extraer materiales sólidos de los fondos o lechos marinos, en los canales de los puertos, ríos y esteros a fin de mantener las profundidades adecuadas.

Dragado: Acción de ahondar y limpiar de fango y arena los puertos, esteros, lagunas costeras, ríos, canales.

Duración: El tiempo de duración del impacto; por ejemplo, permanente o temporal.

Ecosistema costero: La franja en la cual el medio marino y terrestre adyacente se constituyen en un sistema cuyos elementos interactúan entre sí, comprendiendo la transición física entre la tierra y el mar, los ecosistemas terrestres adyacentes que afectan el mar a través de los flujos biológicos como el flujo de nutrientes y energía y los ecosistemas marinos afectados por su proximidad, tales como lagunas costeras, estuarios, manglares, dunas y playa.

Embarcación: Barco, nave, vehículo para la navegación por agua.

Escollera: Rompeolas, obra de resguardo en los puertos, hecha con rocas arrojadas sin orden al fondo del agua, para defender de la mar de fuera una cala, puerto o ensenada.

Especies de difícil regeneración: Las especies vulnerables a la extinción biológica por la especificidad de sus requerimientos de hábitat y de las condiciones para su reproducción.

Espigón: Trozo de muelle que se deriva de otro principal para aumentar el abrigo de un puerto.

Impacto ambiental: Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.

Impacto ambiental residual: El impacto que persiste después de la aplicación de medidas de mitigación.

Impacto ambiental significativo o relevante: Aquel que resulta de la acción del hombre o de la naturaleza, que provoca alteraciones en los ecosistemas y sus recursos naturales o en la salud, obstaculizando la existencia y desarrollo del hombre y de los demás seres vivos, así como la continuidad de los procesos naturales.

Importancia: Indica qué tan significativo es el efecto del impacto en el ambiente. Para ello se considera lo siguiente:

a) La condición en que se encuentran el o los elementos o componentes ambientales que se verán afectados.

b) La relevancia de la o las funciones afectadas en el sistema ambiental.

c) La calidad ambiental del sitio, la incidencia del impacto en los procesos de deterioro.

d) La capacidad ambiental expresada como el potencial de asimilación del impacto y la de regeneración o autorregulación del sistema.

e) El grado de concordancia con los usos del suelo y/o de los recursos naturales actuales y proyectados.

Indicadores: Es un valor observado representativo de un fenómeno determinado. En general, los indicadores cuantifican la información mediante la agregación de múltiples y diferentes datos. La información resultante se encuentra pues sintetizada. En resumen, los indicadores simplifican una información que puede ayudar a revelar fenómenos complejos.

Índices: Valor cuantitativo en el monitoreo de cambios en los extremos del clima, estos son calculados a partir de las series de datos observados de temperatura y precipitación.

Instalaciones turísticas: Toda construcción y/o equipamiento cuya función es facilitar la práctica de actividades netamente turísticas dentro de los desarrollos inmobiliarios turísticos.

Irreversible: Aquel cuyo efecto supone la imposibilidad o dificultad extrema de retornar por medios naturales a la situación existente antes de que se ejecutara la acción que produce el impacto.

Magnitud: Extensión del impacto con respecto al área de influencia a través del tiempo, expresada en términos cuantitativos.

Medidas de prevención: Conjunto de acciones que deberá ejecutar el promovente para evitar efectos previsibles de deterioro del ambiente.

Medidas de mitigación: Conjunto de acciones que deberá ejecutar el promovente para atenuar el impacto ambiental y restablecer o compensar las condiciones ambienta les existentes antes de la perturbación que se causará con la realización de un proyecto en cualquiera de sus etapas.

Mitigación del cambio climático: Medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero por fuente y/o de incrementar la eliminación de carbono mediante sumideros (FAO).

Muelle: Estructura edificada en la orilla del mar, de un estero o laguna costera, de un río o dentro de algún cuerpo de agua continental, para permitir el atraque de las embarcaciones y poder efectuar carga y descarga de mercancía o personas.

Naturaleza del impacto: Se refiere al efecto benéfico o adverso de la acción sobre el ambiente.

Planes de seguridad hídrica local: La capacidad de una determinada población para salvaguardar el acceso a cantidades adecuadas de agua de calidad

aceptable, que permita sustentar tanto la salud humana como la del ecosistema, basándose en las cuencas hidrográficas, así como garantizar la protección de la vida y la propiedad contra riesgos relacionados con el agua – inundaciones, derrumbes, subsidencia de suelos y sequías.

Relleno: Conjunto de operaciones necesarias para depositar materiales en una zona terrestre generalmente baja.

Reversibilidad: Ocurre cuando la alteración causada por impactos generados por la realización de obras o actividades sobre el medio natural puede ser asimilada por el entorno debido al funcionamiento de procesos naturales de la sucesión ecológica y de los mecanismos de autodepuración del medio.

Sistema ambiental: Es la interacción entre el ecosistema (componentes abióticos y bióticos) y el subsistema socioeconómico (incluidos los aspectos culturales) de la zona donde se pretende establecer el proyecto.

Susceptibilidad: indica la probabilidad que algo suceda, está vinculado a aquello capaz de ser modificado o de recibir impresión por algo o alguien.

Urgencia de aplicación de medidas de mitigación: Rapidez e importancia de las medidas correctivas para mitigar el impacto, considerando como criterios si el impacto sobrepasa umbrales o la relevancia de la pérdida ambiental, principalmente cuando afecta las estructuras o funciones críticas.

Vegetación forestal: El conjunto de plantas y hongos que crecen y se desarrollan en forma natural, formando bosques, selvas, zonas áridas y semiáridas, y otros ecosistemas, dando lugar al desarrollo y convivencia equilibrada de otros recursos y procesos naturales.

Vulnerabilidad: Nivel a que un sistema es susceptible, o no es capaz de soportar los efectos adversos del Cambio Climático, incluida la variabilidad climática y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad está en función del carácter, magnitud y velocidad de la variación climática a la que se encuentra expuesto un sistema, su sensibilidad, y su capacidad de adaptación.

Zona de tiro: Área destinada al depósito del material dragado en el continente.

4.9 Referencias bibliográficas

Arias-Del Razo, I., Pérez Carreto, Z. J. y López Domínguez, J. C. (2021). Vegetación nativa tlaxcalteca, ¿qué persiste y cómo conservarla? Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta, UATx. https://ecosysteam.uatx.mx/articulos/numero6/vegetacion_nativa.html

CIPAMEX (2007). Avifaunas estatales de México: Tlaxcala.

CONABIO/INEGI. Conjuntos de datos vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación (Serie VII), Edafología, Climas, Geología (Servicio Geológico Mexicano) y Provincias/Subprovincias Fisiográficas, escala 1:250,000-1,000,000.

CONAGUA. Cuencas hidrológicas (Región Hidrológica 18, Río Balsas) y disponibilidad de acuíferos (Alto Atoyac, clave 2901; Valle de Puebla, clave 2104).

Fernández, J. A. et al. Mamíferos de Tlaxcala, México.

Gobierno del Estado de Tlaxcala. Atlas de Riesgo Municipal – Xicohtzinco. https://atlas.tlaxcala.gob.mx/municipios/57/

Mena Mejía, I., Bustamante González, Á., Vargas López, S., Olvera Hernández, J. I. y Méndez Espinoza, J. A. (2017). Evaluación de la condición ecológica del río Zahuapan. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 33(1), 7–19.

Municipium (2015). Atlas de Riesgos de Origen Natural, Xicohtzinco, Tlaxcala. 2014.

Pérez Martínez, J., Ortega López, G. y Leija Loredo, E. G. (2024). Análisis comparativo del cambio de los usos de suelo y vegetación de la microrregión Tlaxcala-Apizaco, 2013–2021. Ciencia e Innovación Agroalimentaria UG, 5(2), 1–17.

Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México (edición digital). CONABIO.

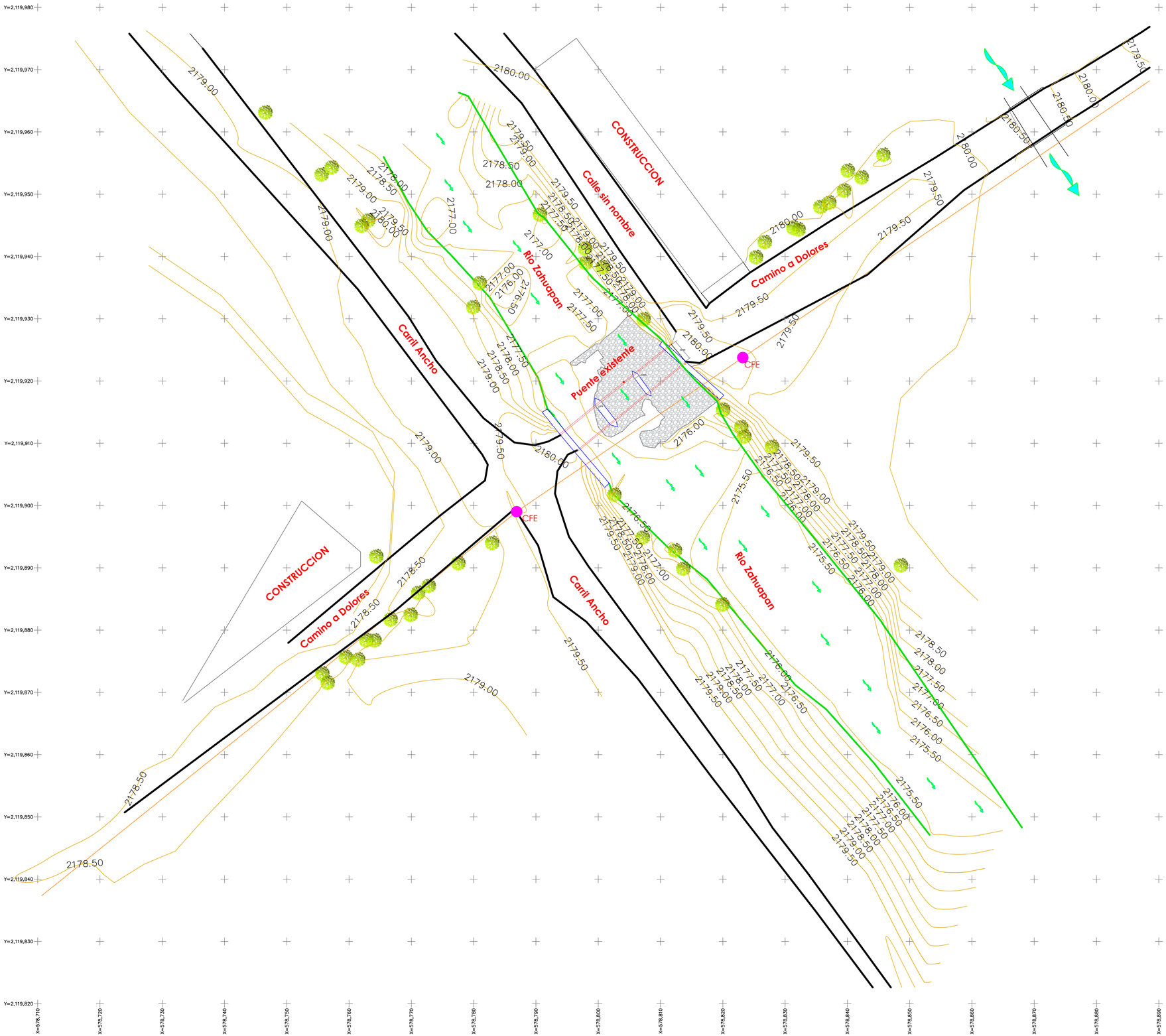
Espejel Rodríguez, A. y Castillo Ramos, I. Problemas ambientales de la cuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México. Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM. Disponible en: https://ru.iiec.unam.mx/5109/1/1-075-Espejel-Castillo.pdf

Fernández, J. A., Windfield-Pérez, J. C. y Corona, M. C. (2007). Avifaunas estatales de México: Tlaxcala. En Ortiz-Pulido, R., Navarro-Sigüenza, A., Gómez de Silva, H., Rojas-Soto, O. y Peterson, A. T. (eds.), Avifaunas Estatales de México (pp. 137–164). CIPAMEX.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Xicohtzinco, estado de Tlaxcala: cuaderno estadístico municipal.

Rothschuh Osorio, U. (2024). Flora y fauna de Tlaxcala. EcologíaVerde. https://www.ecologiaverde.com/flora-y-fauna-de-tlaxcala-4941.html

Sánchez-Cordero, V., Botello, F., Flores, J. J., Gómez, R. A., Guevara, L., Gutiérrez, G. y Rodríguez, A. (2014). Mamíferos de Tlaxcala, México. Therya, 5(1), 97–110.



NORTE

CROQUIS DE UBICACIÓN



PROPIETARIO

MUNICIPIO DE XICOHTZINCO

DIRECCIÓN

Camino a Dolores, entre Río Zahuapan y Barranca de Sánchez

SIMBOLOGÍA

- CURVA DE NIVEL
- LIMITE DEL CAUCE
- SENTIDO DEL AGUA
- CFE — POSTE CFE
- LINEA DE CFE
- PILASTRAS

OBRA:

PUENTE VEHICULAR
"LA TORRECILLA"

NOMBRE DEL PROYECTO:

"ESTUDIO Y PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA".

EMPRESA: ROCA SOULT S.A. DE C.V.

H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

DESCRIPCIÓN DEL PLANO:

TOPOGRÁFICO

No. PLANO:	COTAS:	CLAVE DE PLANO:
01 DE 12	M2	TOPG-01

No. CONTRATO:	FECHA:
MXT-DOP-IR-PIE254201	20/DICIEMBRE/2025

AUTORIZÓ:

ING. JUAN RAMIREZ AVALOS
PRESIDENTE MUNICIPAL CONSTITUCIONAL XICOHTZINCO, TLAXCALA

ELABORÓ	REVISO	APROBÓ
ING. SUPERINTENDENTE DE OBRA	ING. SUPERVISOR DE OBRA EXTERNA	ING. DIRECTOR DE OBRAS PUBLICAS

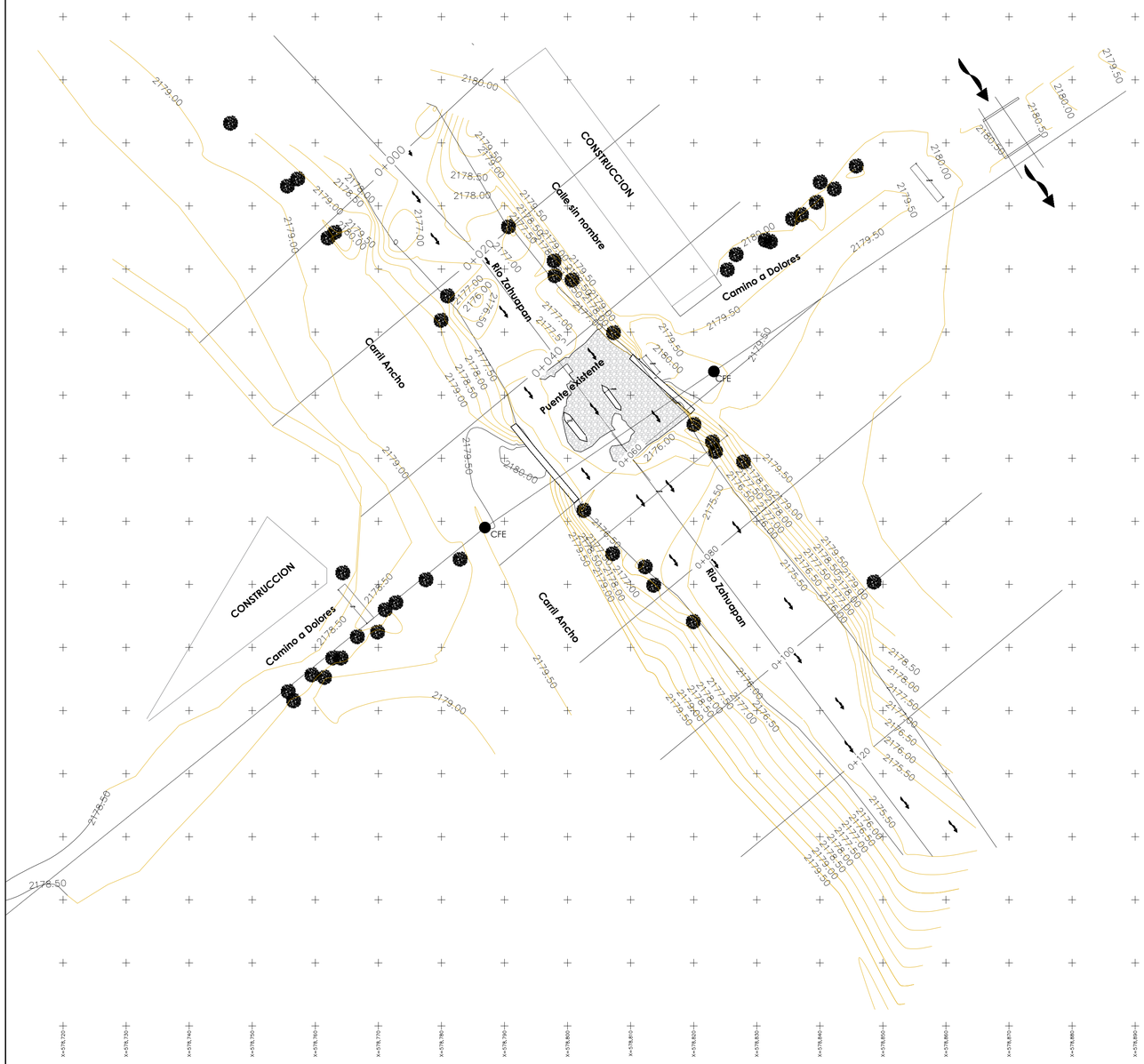
DATOS TÉCNICOS:

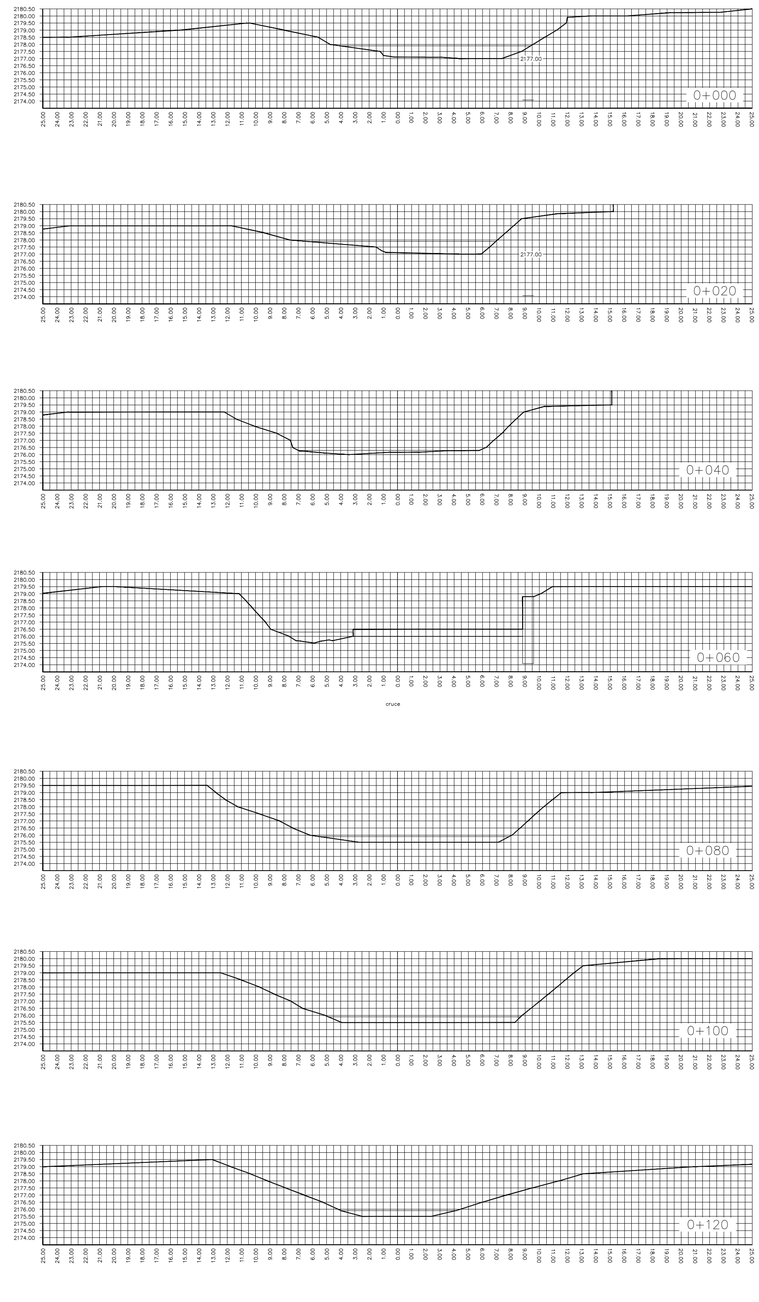
ESCALA:

ESCALA GRAFICA:

0M 10.00M 20.00M 40.00M 60.00M

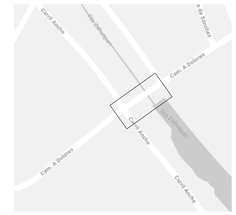
1:300





NORTE

CROQUIS DE UBICACIÓN



PROPIETARIO

MUNICIPIO DE XICOHTZINCO

DIRECCIÓN

Camino a Dolores, entre Río Zahuapan y Barranca de Sánchez

SIMBOLOGÍA

- CURVA DE NIVEL
- PUENTE EXISTENTE
- PILASTRA
- CALLE (CAMINO)
- CFE — POSTE CFE
- LINEA CFE
- CONSTRUCCIÓN

OBRA:

PUENTE VEHICULAR
"LA TORRECILLA"

NOMBRE DEL PROYECTO:

"ESTUDIO Y PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA".

EMPRESA: ROCA SOULT S.A. DE C.V.

M. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

DESCRIPCIÓN DEL PLANO:
PLANO TOPOHIDRÁULICO (SECCIONES)

No. PLANO:	COTAS:	CLAVE DE PLANO:
03 DE 12	M2	TOPH-01

No. CONTRATO:	FECHA:
MXT-DOP-IR-PIE254201	29/NOVIEMBRE/2025

AUTORIZÓ:

ING. JUAN RAMIREZ ÁVALOS
PRESIDENTE MUNICIPAL CONSTITUCIONAL XICOHTZINCO, TLAXCALA

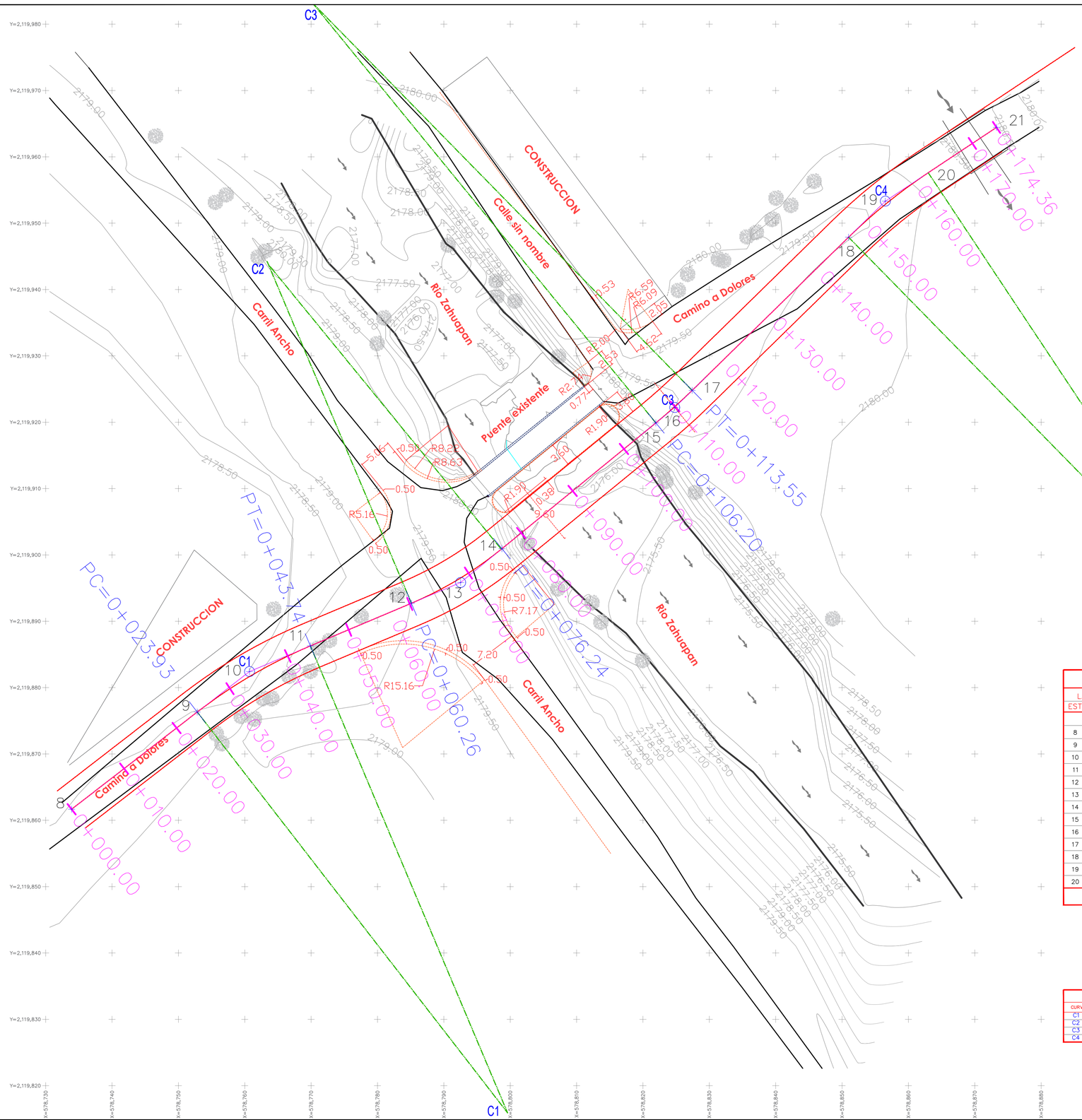
ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
ARQ. SUPERINTENDENTE DE OBRA	ING. SUPERVISIÓN DE OBRA EXTERNA	ING. DIRECTOR DE OBRAS PÚBLICAS

DATOS TÉCNICOS:

ESCALA GRAFICA:
0M 10.00M 20.00M 30.00M 60.00M

ESCALA:

1:400



CUADRO DE DATOS DE CURVAS

CURVA	INFORMACIÓN
C1	Δ = 16°22'56.55" izq ST = 8.046 PI = 0+068.31 Gc = 20°30'0.00" Lc = 15.983 Rc = 55.898 Sc = 2.00% Ac = 0.00 Le entrada = 5.00 Le salida = 5.00
C2	Δ = 14°51'18.23" der ST = 9.959 PI = 0+033.89 Gc = 15°0'0.00" Lc = 19.807 Rc = 76.394 Sc = 2.00% Ac = 0.00 Le entrada = 5.00 Le salida = 5.00
C3	Δ = 10°49'44.55" der ST = 7.758 PI = 0+154.29 Gc = 14°0'0.00" Lc = 15.470 Rc = 81.851 Sc = 2.00% Ac = 0.00 Le entrada = 5.00 Le salida = 5.00
C4	Δ = 5°8'44.67" izq ST = 3.678 PI = 0+109.87 Gc = 14°0'0.00" Lc = 7.351 Rc = 81.851 Sc = 2.00% Ac = 0.00 Le entrada = 5.00 Le salida = 5.00

CUADRO DE CONSTRUCCION DE EJE VIALIDAD

LADO EST	LADO PV	RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS Y	COORDENADAS X
				8	2,119,861.6700	578,733.9091
8	9	N 52°15'32.93" E	23.935	9	2,119,876.3202	578,752.8363
9	10	N 52°15'32.93" E	9.959	10	2,119,882.4162	578,760.7120
10	11	N 67°06'51.16" E	9.959	11	2,119,886.2893	578,769.8872
11	12	N 67°06'51.16" E	16.524	12	2,119,892.7153	578,785.1103
12	13	N 67°06'51.16" E	8.046	13	2,119,895.8445	578,792.5232
13	14	N 50°43'54.61" E	8.046	14	2,119,900.9374	578,798.7525
14	15	N 50°43'54.61" E	29.953	15	2,119,919.8961	578,821.9419
15	16	N 50°43'54.61" E	3.678	16	2,119,922.2241	578,824.7893
16	17	N 45°35'09.93" E	3.678	17	2,119,924.7981	578,827.4165
17	18	N 45°35'09.93" E	32.987	18	2,119,947.8838	578,850.9794
18	19	N 45°35'09.93" E	7.758	19	2,119,953.3132	578,856.5211
19	20	N 56°24'54.48" E	7.758	20	2,119,957.6048	578,862.9842
20	21	N 56°24'54.48" E	12.360	21	2,119,964.4418	578,873.2805

LONGITUD = 174.369m

CUADRO DE CURVAS

CURVA	DELTA	RADIO	ARCO	STAN	CUERDA	Gc
C1	14°51'18.23"	76.394	19.807	9.959	19.751	15°0'0"
C2	16°22'56.55"	55.898	15.983	8.046	15.928	20°30'0"
C3	05°8'44.67"	81.851	7.351	3.678	7.349	14°0'0"
C4	10°49'44.55"	81.851	15.470	7.758	15.447	14°0'0"

NORTE

CROQUIS DE UBICACIÓN



PROPIETARIO

MUNICIPIO DE XICOHTZINCO

DIRECCIÓN

Camino a Dolores, entre Río Zahuapan y Barranca de Sánchez

SIMBOLOGÍA

- ALINEAMIENTO TANGENTE
- EJE DEL PUENTE
- 0+000.00 CADENAMIENTO
- PC= PRINCIPIO DE CURVA
- PT= FINAL DE CURVA

OBRA:

PUENTE VEHICULAR
"LA TORRECILLA"

NOMBRE DEL PROYECTO:

"ESTUDIO Y PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR "LA TORRECILLA" DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA".

EMPRESA: ROCA SOULT S.A. DE C.V.

H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

DESCRIPCIÓN DEL PLANO: TRAZO GEOMÉTRICO

No. PLANO:	COTAS:	CLAVE DE PLANO:
04 DE 12	M2	TGEO-01

No. CONTRATO:	FECHA:
MXT-DOP-IR-PIE254201	20/DICIEMBRE/2025

D.R.O.:

ARQ. YEIMI MORALES DIAZ
D.R.O. NO. 0044

AUTORIZO:

ING. JUAN RAMIREZ AVALOS
PRESIDENTE MUNICIPAL CONSTITUCIONAL XICOHTZINCO, TLAXCALA

ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
ING. ALEJANDRO ROCA SOULT	ARQ. ALEJANDRO ROCA ESTRADA	DIRECTOR DE OBRAS PÚBLICAS

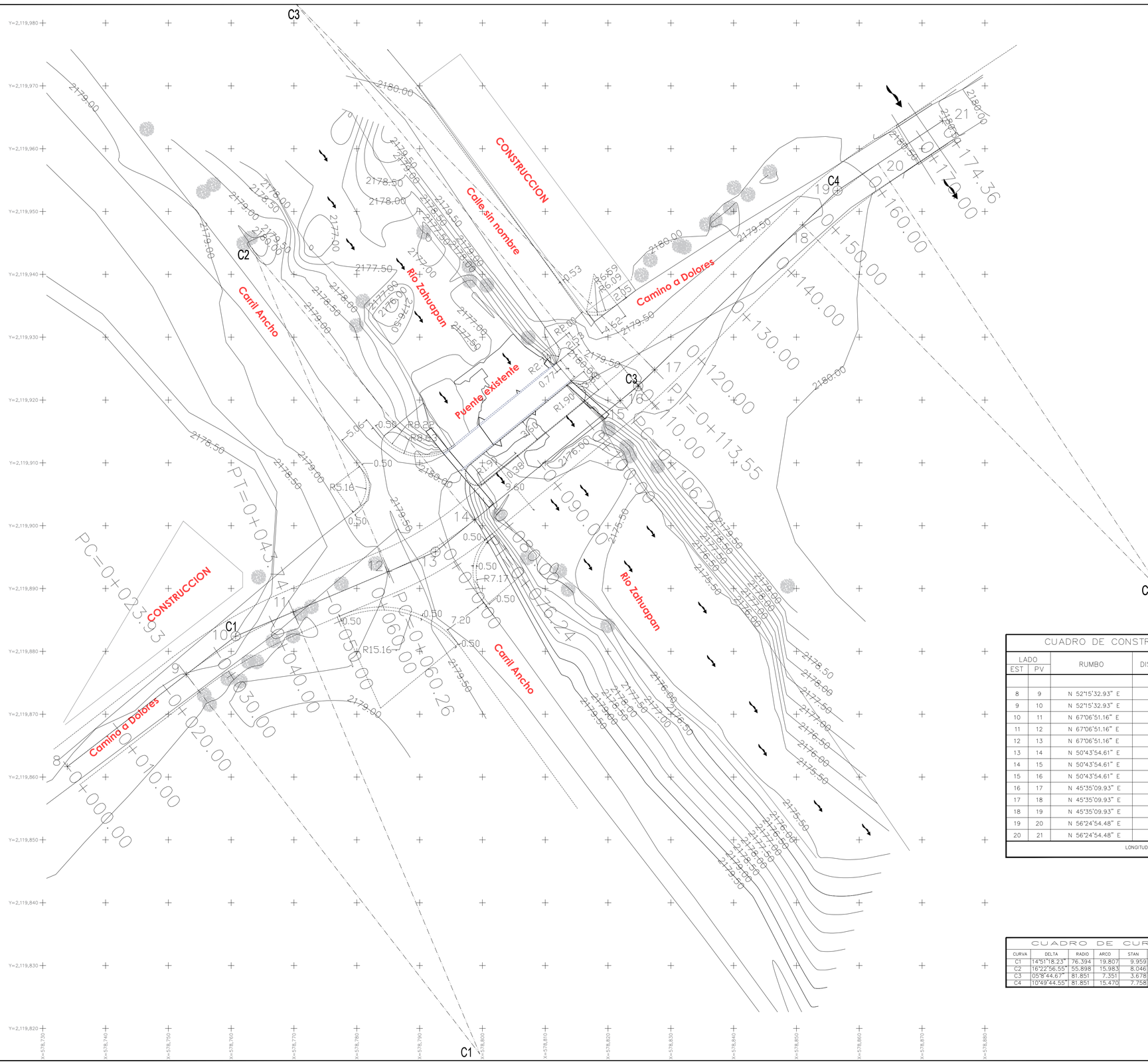
DATOS TÉCNICOS:

ESCALA:

ESCALA GRAFICA:

0M 10.00M 20.00M 40.00M 60.00M

1:300



CUADRO DE DATOS DE CURVAS

CURVA	INFORMACIÓN
C1	Δ = 16°22'56.55" izq ST = 8.046 PI = 0+068.31 Gc = 20°30'0.00" Lc = 15.983 Rc = 55.898 Sc = 2.00% Ac = 0.00 Le entrada = 5.00 Le salida = 5.00
C2	Δ = 14°51'18.23" der ST = 9.959 PI = 0+033.89 Gc = 15°0'0.00" Lc = 19.807 Rc = 76.394 Sc = 2.00% Ac = 0.00 Le entrada = 5.00 Le salida = 5.00
C3	Δ = 10°49'44.55" der ST = 7.758 PI = 0+154.29 Gc = 14°0'0.00" Lc = 15.470 Rc = 81.851 Sc = 2.00% Ac = 0.00 Le entrada = 5.00 Le salida = 5.00
C4	Δ = 5°8'44.67" izq ST = 3.678 PI = 0+109.87 Gc = 14°0'0.00" Lc = 7.351 Rc = 81.851 Sc = 2.00% Ac = 0.00 Le entrada = 5.00 Le salida = 5.00

CUADRO DE CONSTRUCCION DE EJE VIALIDAD

LADO EST	LADO PV	RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS Y	COORDENADAS X
				8	2,119,861.6700	578,733.9091
8	9	N 52°15'32.93" E	23.935	9	2,119,876.3202	578,752.8363
9	10	N 52°15'32.93" E	9.959	10	2,119,882.4162	578,760.7120
10	11	N 67°06'51.16" E	9.959	11	2,119,886.2893	578,769.8872
11	12	N 67°06'51.16" E	16.524	12	2,119,892.7153	578,785.1103
12	13	N 67°06'51.16" E	8.046	13	2,119,895.8445	578,792.5232
13	14	N 50°43'54.61" E	8.046	14	2,119,900.9374	578,798.7525
14	15	N 50°43'54.61" E	29.953	15	2,119,919.8961	578,821.9419
15	16	N 50°43'54.61" E	3.678	16	2,119,922.2241	578,824.7893
16	17	N 45°35'09.93" E	3.678	17	2,119,924.7981	578,827.4165
17	18	N 45°35'09.93" E	32.987	18	2,119,947.8838	578,850.9794
18	19	N 45°35'09.93" E	7.758	19	2,119,953.3132	578,856.5211
19	20	N 56°24'54.48" E	7.758	20	2,119,957.6048	578,862.9842
20	21	N 56°24'54.48" E	12.360	21	2,119,964.4418	578,873.2805
LONGITUD = 174.369m						

CUADRO DE CURVAS

CURVA	DELTA	RADIO	ARCO	STAN	CUERDA	Gc
C1	14°51'18.23"	76.394	19.807	9.959	19.751	15°0'0"
C2	16°22'56.55"	55.898	15.983	8.046	15.928	20°30'0"
C3	05°8'44.67"	81.851	7.351	3.678	7.349	14°0'0"
C4	10°49'44.55"	81.851	15.470	7.758	15.447	14°0'0"

NORTE

CROQUIS DE UBICACIÓN



PROPIETARIO

MUNICIPIO DE XICOHTZINCO

DIRECCIÓN

Camino a Dolores, entre Río Zahuapan y Barranca de Sánchez

SIMBOLOGÍA

————	ALINEAMIENTO TANGENTE
————	EJE DEL PUENTE
0+000.00	CADENAMIENTO
PC=	PRINCIPIO DE CURVA
PT=	FINAL DE CURVA

OBRA:

PUENTE VEHICULAR
"LA TORRECILLA"

NOMBRE DEL PROYECTO:

"ESTUDIO Y PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA".

EMPRESA: ROCA SOULT S.A. DE C.V.

H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

DESCRIPCIÓN DEL PLANO:
TRAZO GEOMÉTRICO

No. PLANO:	COTAS:	CLAVE DE PLANO:
04 DE 12	M2	TGEO-01

No. CONTRATO:	FECHA:
MXT-DOP-IR-PIE254201	20/DICIEMBRE/2025

D.R.O.:
ARQ. YEANI MORALES DIAZ
D.R.O. NO. 00244

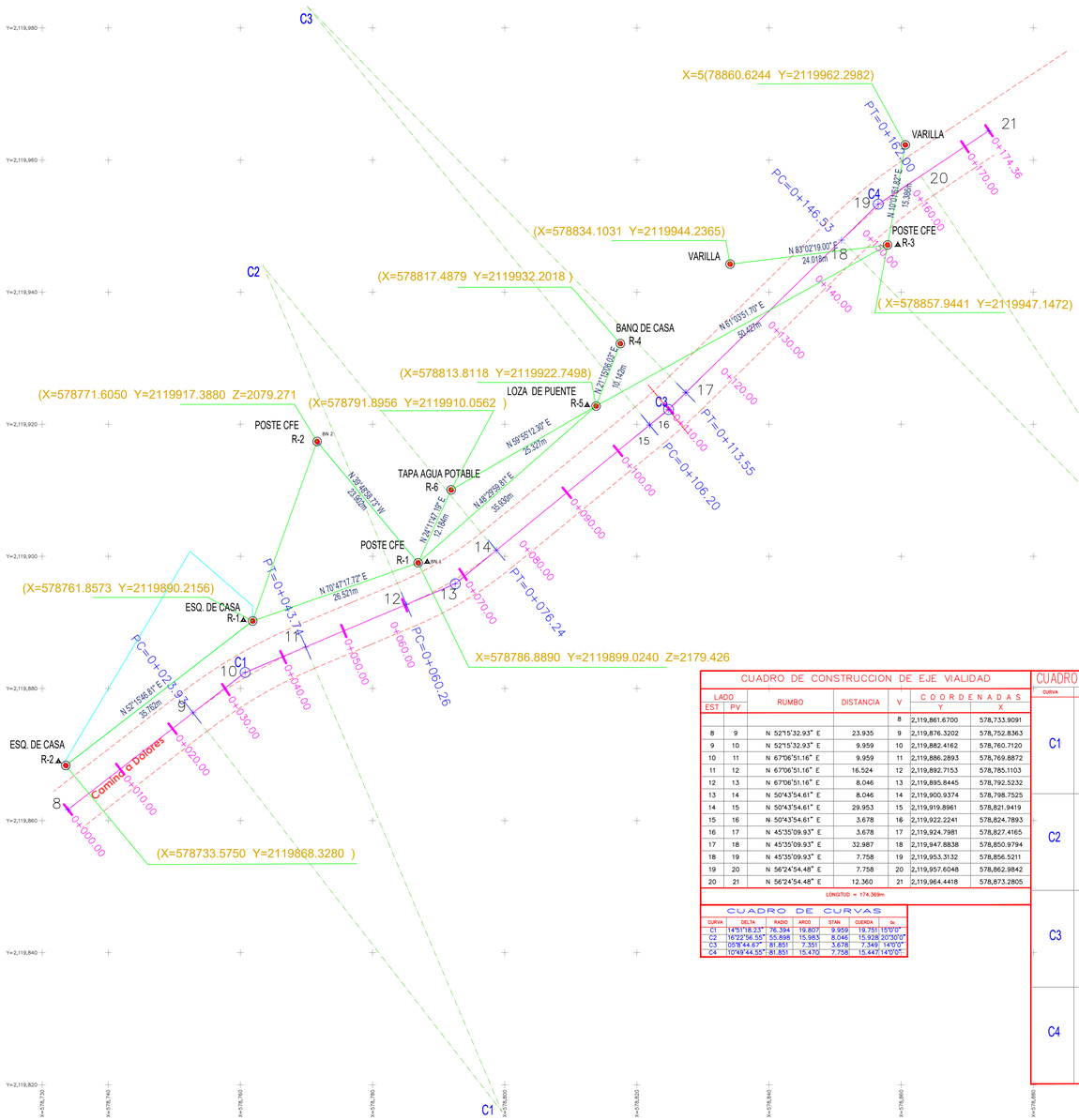
AUTORIZÓ:
ING. JUAN RAMIREZ AVALOS
PRESIDENTE MUNICIPAL CONSTITUCIONAL XICOHTZINCO, TLAXCALA

ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
RESIDENTE DE OBRA	SUPERVISOR DE OBRA	RESIDENTE DE SUPERVISIÓN

DATOS TÉCNICOS:

ESCALA:
1:300

ESCALA GRAFICA:
0M 10.00M 20.00M 40.00M 60.00M



CUADRO DE CONSTRUCCION DE EJE VIALIDAD

LADO EST	LADO PV	RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS Y	COORDENADAS X
				8	2,119,861.6700	578,733.9091
8	9	N 52°15'32.93" E	23.935	9	2,119,876.3202	578,752.8363
9	10	N 52°15'32.93" E	9.959	10	2,119,882.4162	578,760.7120
10	11	N 67°06'51.16" E	9.959	11	2,119,886.2893	578,769.8872
11	12	N 67°06'51.16" E	16.524	12	2,119,892.7153	578,785.1103
12	13	N 67°06'51.16" E	8.046	13	2,119,895.8445	578,792.5232
13	14	N 50°43'54.61" E	8.046	14	2,119,900.9374	578,798.7525
14	15	N 50°43'54.61" E	29.953	15	2,119,919.8961	578,821.9419
15	16	N 50°43'54.61" E	3.678	16	2,119,922.2241	578,824.7893
16	17	N 45°35'09.93" E	3.678	17	2,119,924.7981	578,827.4165
17	18	N 45°35'09.93" E	32.987	18	2,119,947.8838	578,850.9794
18	19	N 45°35'09.93" E	7.758	19	2,119,953.3132	578,856.5211
19	20	N 56°24'54.48" E	7.758	20	2,119,957.6048	578,862.9842
20	21	N 56°24'54.48" E	12.360	21	2,119,964.4418	578,873.2805

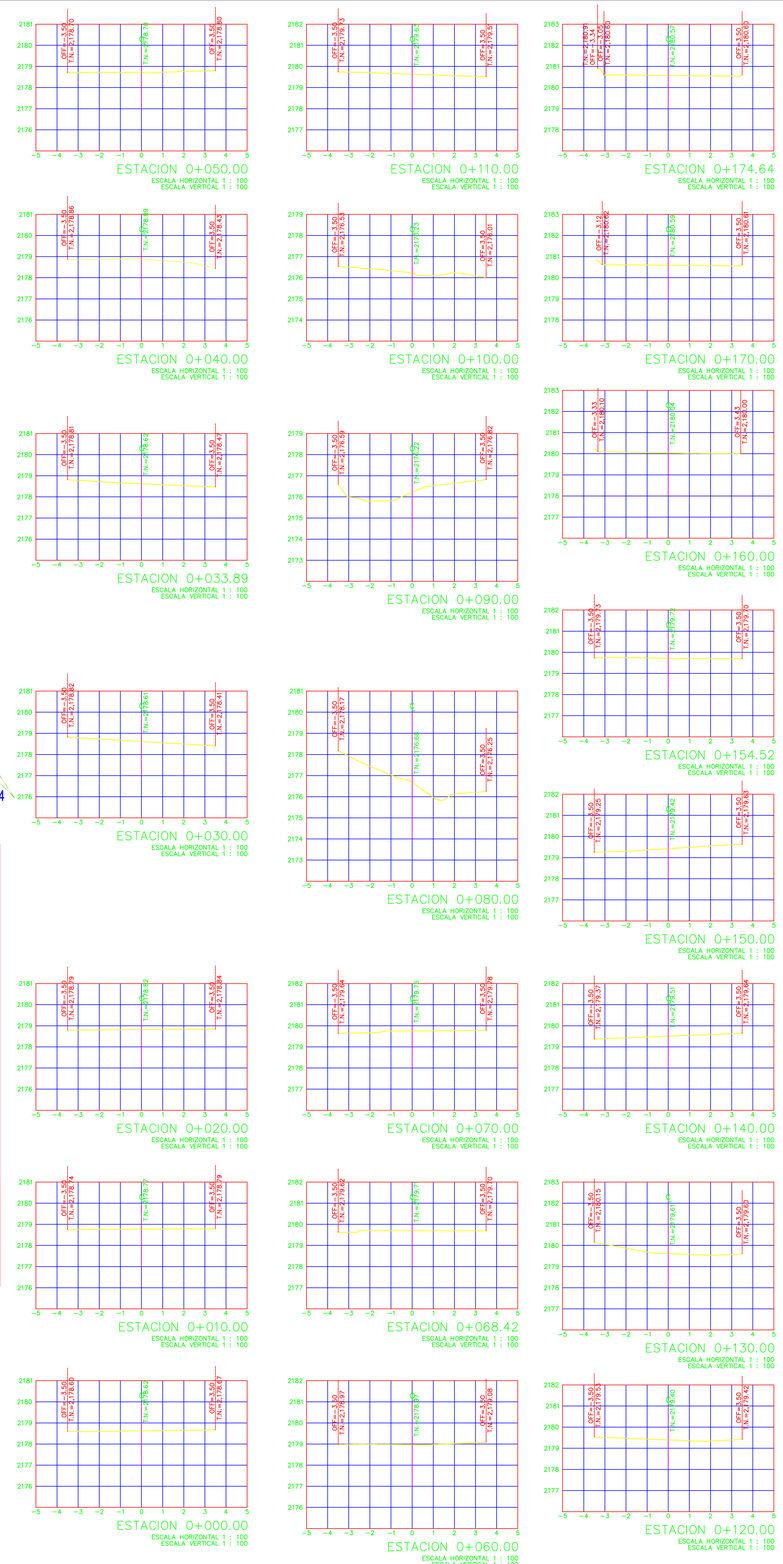
LONGITUD = 174.369m

CUADRO DE CURVAS

CURVA	DELTA	RADIO	ARCO	STAN	CUERDA	dx
C1	14°51'18.23"	76.394	19.807	9.959	19.751	15°0'0"
C2	16°22'56.55"	55.898	15.983	8.046	15.928	20°30'0"
C3	10°49'44.67"	81.851	7.351	3.678	7.343	14°0'0"
C4	10°49'44.55"	81.851	15.470	7.758	15.447	14°0'0"

CUADRO DE DATOS DE CURVAS

CURVA	INFORMACIÓN
C1	Δ = 16°22'56.55" izq ST = 8.046 PI = 0+068.31 Gc = 20°30'0.00" Lc = 15.983 Rc = 55.898 Sc = 2.00% Ac = 0.00 Le entrada = 5.00 Le salida = 5.00
C2	Δ = 14°51'18.23" der ST = 9.959 PI = 0+033.89 Gc = 15°0'0.00" Lc = 19.807 Rc = 76.394 Sc = 2.00% Ac = 0.00 Le entrada = 5.00 Le salida = 5.00
C3	Δ = 10°49'44.55" der ST = 7.758 PI = 0+154.29 Gc = 14°0'0.00" Lc = 15.470 Rc = 81.851 Sc = 2.00% Ac = 0.00 Le entrada = 5.00 Le salida = 5.00
C4	Δ = 5°8'44.67" izq ST = 3.678 PI = 0+109.87 Gc = 14°0'0.00" Lc = 7.351 Rc = 81.851 Sc = 2.00% Ac = 0.00 Le entrada = 5.00 Le salida = 5.00



NORTE

CROQUIS DE UBICACIÓN



PROPIETARIO

MUNICIPIO DE XICOHTZINCO

DIRECCIÓN

Camino a Dolores, entre Río Zahuapan y Barranca de Sánchez

SIMBOLOGÍA

- ALINEAMIENTO TANGENTE
- EJE DEL PUENTE
- 0+000.00 CADENAMIENTO
- PC= PRINCIPIO DE CURVA
- PT= FINAL DE CURVA

OBRA:

PUENTE VEHICULAR
"LA TORRECILLA"

NOMBRE DEL PROYECTO:

"ESTUDIO Y PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR "LA TORRECILLA" DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA".

EMPRESA: ROCA SOULT S.A. DE C.V.

H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

DESCRIPCIÓN DEL PLANO:
TRAZO GEOMÉTRICO

No. PLANO:	COTAS:	CLAVE DE PLANO:
13 DE 13	M2	TGEO-02

No. CONTRATO:	FECHA:
MXT-DOP-IR-PIE254201	20/DICIEMBRE/2025

D.R.O.

ARQ. YEANI MORALES DIAZ
D.R.O. NO. 00244

AUTORIZÓ:

ING. JUAN RAMIREZ AVALOS
PRESIDENTE MUNICIPAL CONSTITUCIONAL XICOHTZINCO, TLAXCALA

ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ

DATOS TÉCNICOS:

ESCALA GRAFICA:
0M 10.00M 20.00M 40.00M 60.00M

ESCALA:

1:400



REPORTE FOTOGRÁFICO

PUENTE VEHICULAR "LA TORRECILLA" DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA.

PUENTE VEHICULAR "LA TORRECILLA" DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA

Figura 1 Estado actual del puente



Figura 2 Estado actual del puente



Figura 3 Estado actual del puente



Figura 4 Vista aérea del puente



Figura 5 Condiciones actuales del puente









Figura 6 Vegetación presente en el área de influencia directa

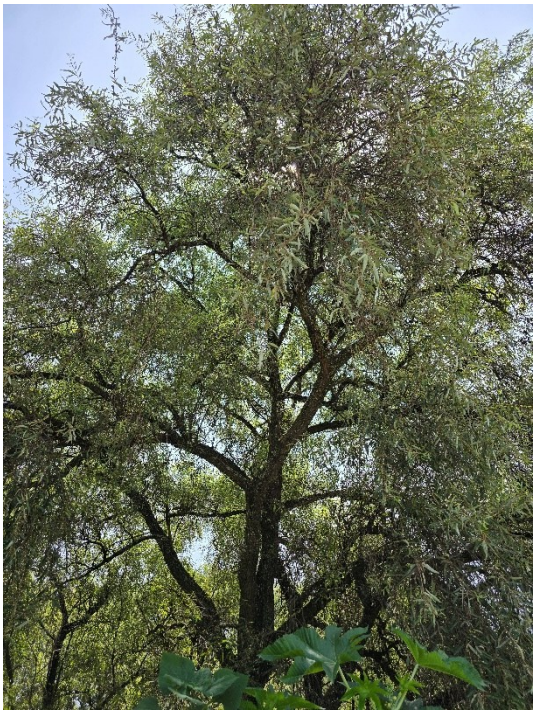








Figura 7 Vegetación acuática









PUENTE VEHICULAR "LA TORRECILLA" DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA









H. AYUNTAMIENTO
XICOHTZINCO
2024 - 2027

PUENTE VEHICULAR "LA TORRECILLA" DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA





PUENTE VEHICULAR "LA TORRECILLA" DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA



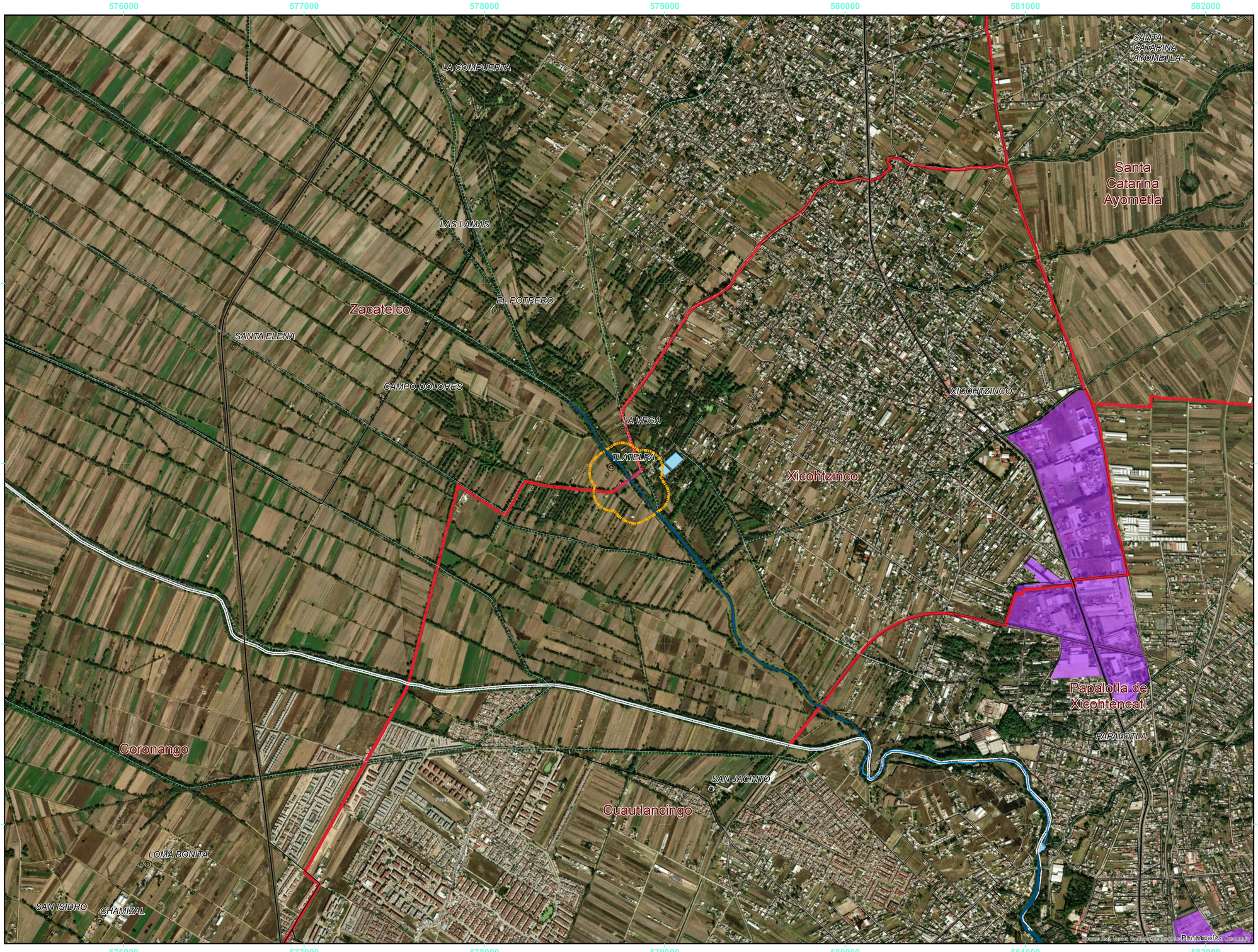


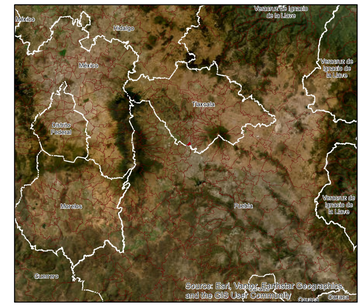
PUENTE VEHICULAR "LA TORRECILLA" DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA

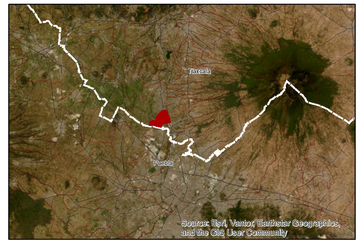




MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN MODALIDAD PARTICULAR
"PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE"







NOMBRE DEL MAPA:

MICROLOCALIZACIÓN

SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL

- LÍMITES ESTATALES
- LÍMITE MUNICIPAL
- ZONA INDUSTRIAL
- CARRETERAS

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

- INTERMITENTE
- PERENNE
- CANALES
- MANZANAS
- INTERMITENTE
- PERENNE

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- ÁREA DE INFLUENCIA
- SUPERFICIE DE INTERVENCIÓN

ESCALA: 1:10,000

0 0.125 0.25 0.5 0.75 1 KILÓMETROS

DATOS DE PROYECCIÓN

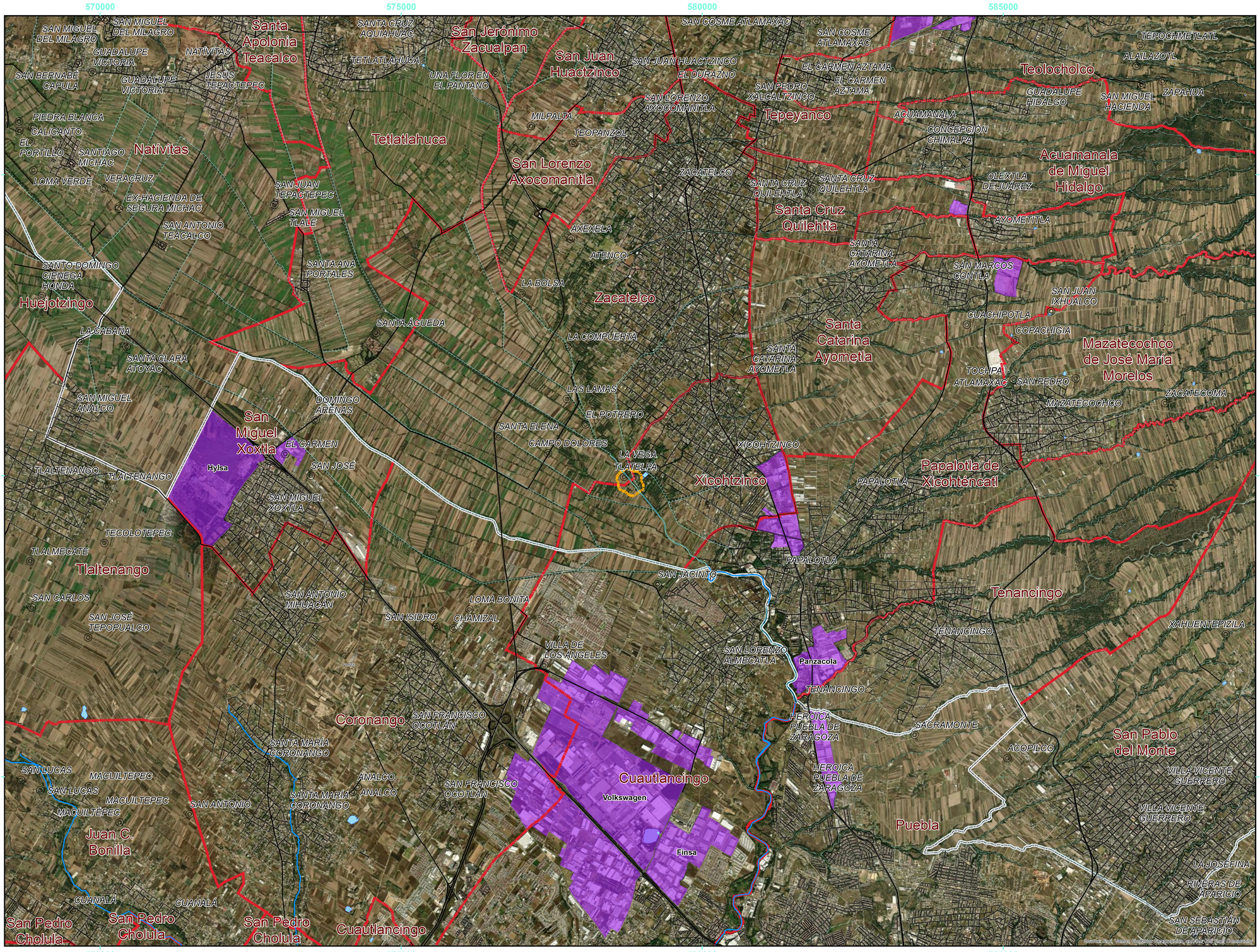
Universal Transversa de Mercator (UTM)
GEOIDE: WGS 84, Zona 14 Norte

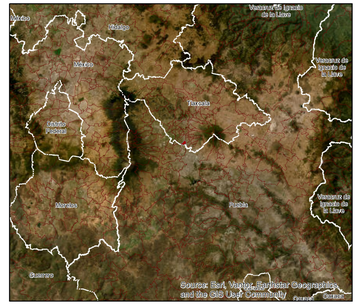
N

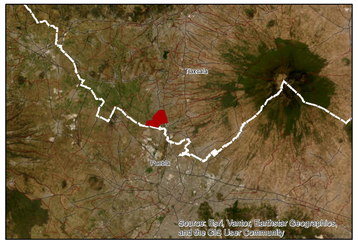
H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

CEMAUR

MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN MODALIDAD PARTICULAR
"PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE"







NOMBRE DEL MAPA:

MACROLOCALIZACIÓN

SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL

- LÍMITES ESTATALES
- LÍMITE MUNICIPAL
- ZONA INDUSTRIAL
- CARRETERAS

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

- INTERMITENTE
- PERENNE
- CANALES
- MANZANAS
- INTERMITENTE
- PERENNE

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- ÁREA DE INFLUENCIA
- SUPERFICIE DE INTERVENCIÓN

ESCALA: 1:30,000

0 0.5 1 2 3 4 KILÓMETROS

DATOS DE PROYECCIÓN

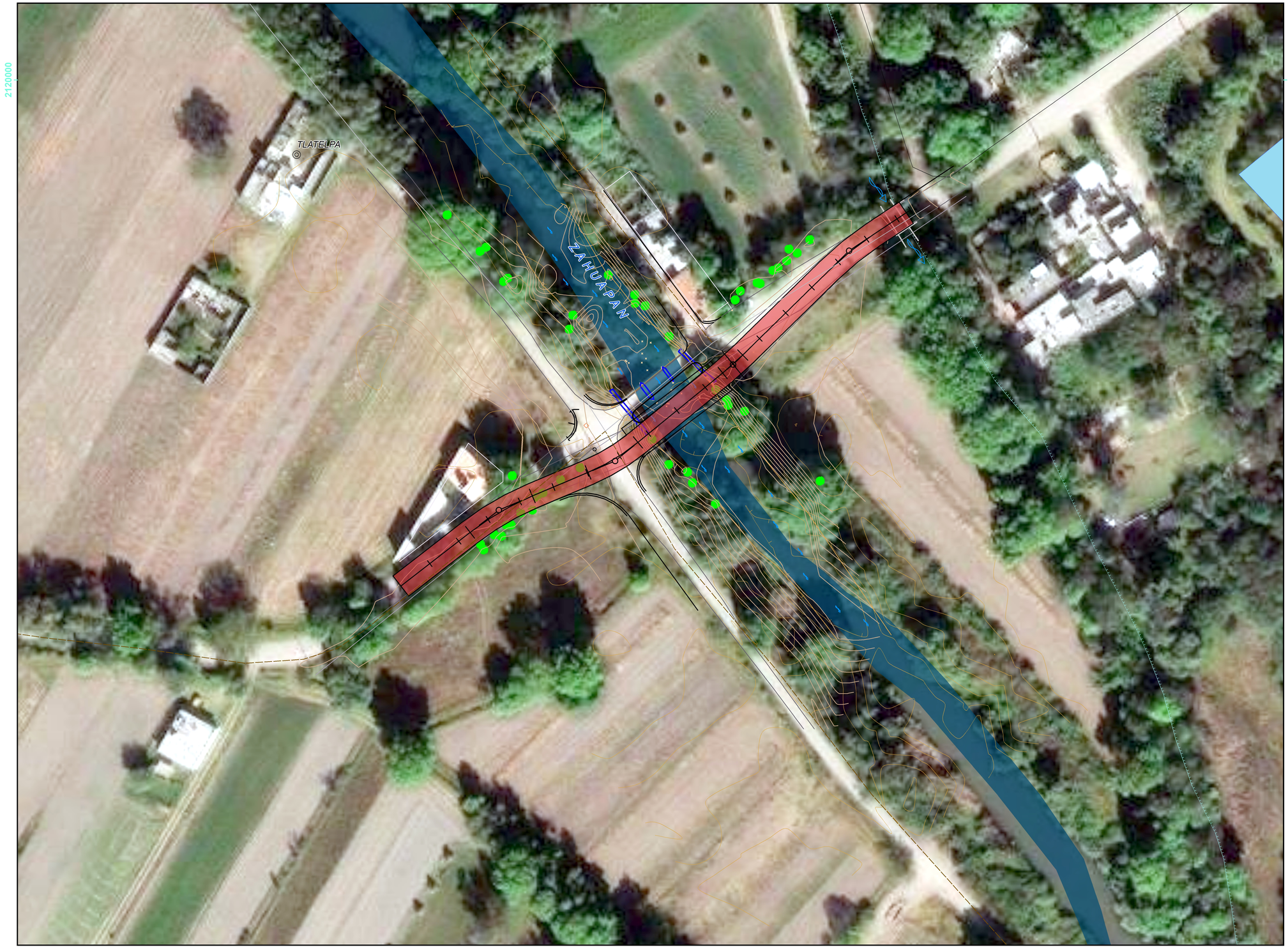
Universal Transversa de Mercator (UTM)
GEOIDE: WGS 84, Zona 14 Norte

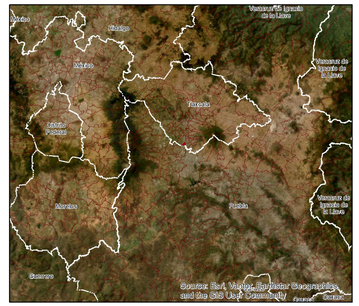
N

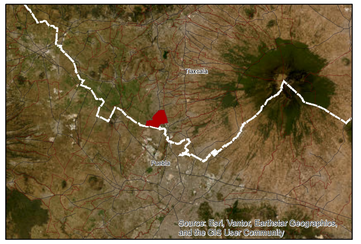
H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

CEMAUR

MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN MODALIDAD PARTICULAR
"PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE"







NOMBRE DEL MAPA:

UBICACIÓN PROYECTO

SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL

- ZONA INDUSTRIAL
- CARRETERAS

CAMINOS

- BRECHA
- TERRACERÍA
- VEREDA

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

- INTERMITENTE
- PERENNE
- CANALES
- MANZANAS
- INTERMITENTE
- PERENNE
- CORRIENTE DE AGUA

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- SUPERFICIE DE INTERVENCIÓN
- PROYECTO GEOMÉTRICO

ESCALA: 1:500

0 0.005 0.01 0.02 0.03 0.04 KILÓMETROS

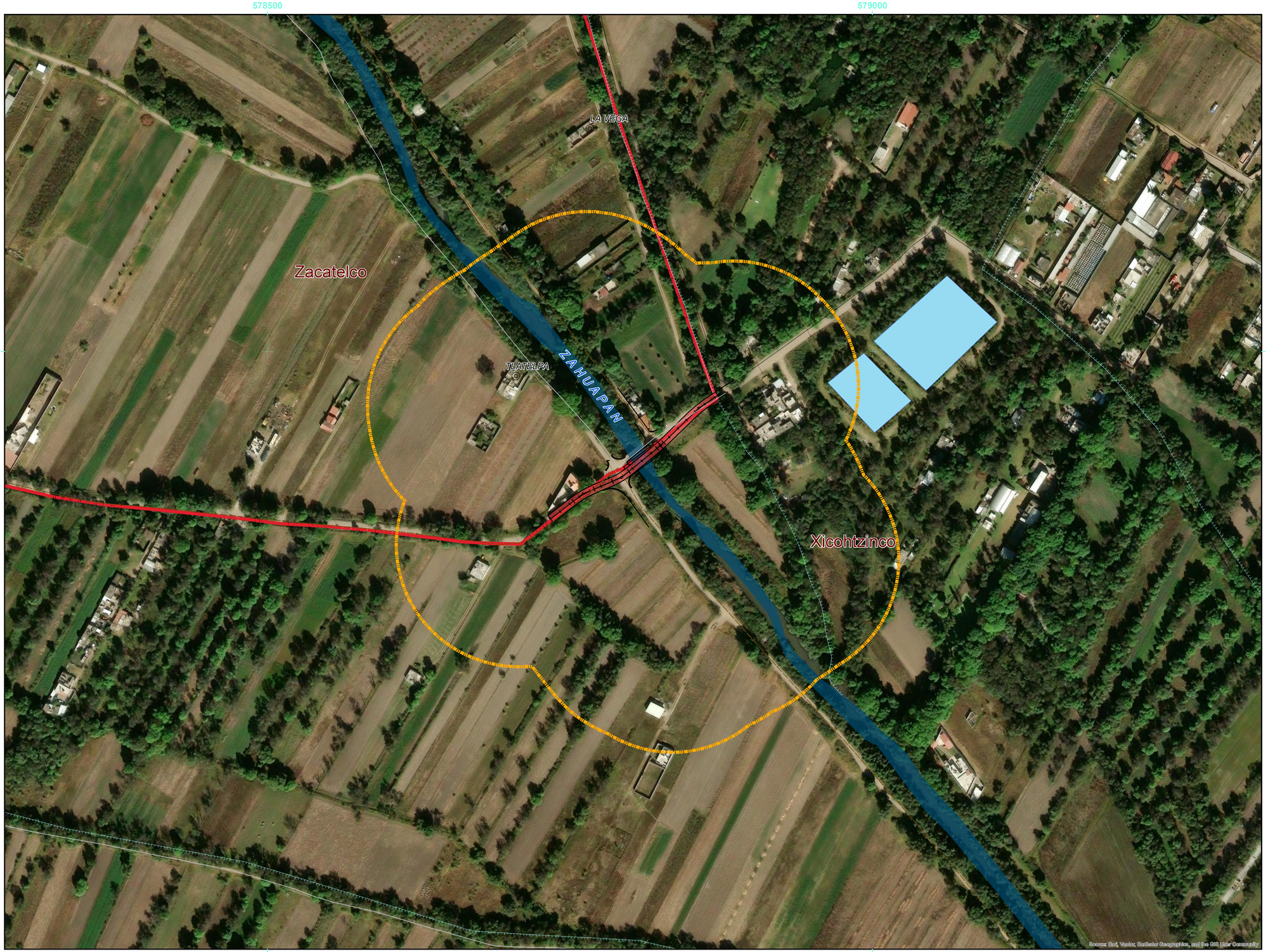
DATOS DE PROYECCIÓN

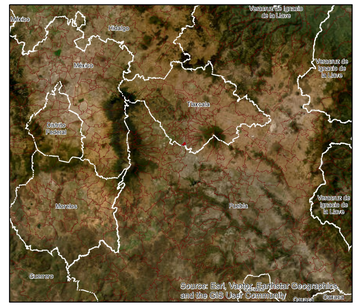
Universal Transversa de Mercator (UTM)
GEOIDE: WGS 84, Zona 14 Norte

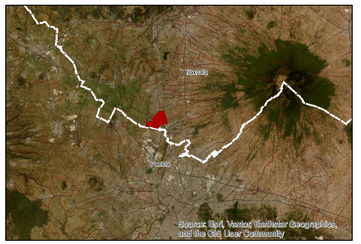
N

H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN MODALIDAD PARTICULAR
"PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE"







NOMBRE DEL MAPA:

ÁREA DE INFLUENCIA

SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL

- LÍMITE MUNICIPAL
- ZONA INDUSTRIAL
- CARRETERAS

CAMINOS

- BRECHA
- TERRACERÍA
- VEREDA

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

- INTERMITENTE
- PERENNE
- CANALES
- MANZANAS
- INTERMITENTE
- PERENNE
- CORRIENTE DE AGUA

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- ÁREA DE INFLUENCIA
- SUPERFICIE DE INTERVENCIÓN
- PROYECTO GEOMÉTRICO

ESCALA: 1:1,500

0 0.02 0.04 0.08 0.12 0.16 KILÓMETROS

DATOS DE PROYECCIÓN

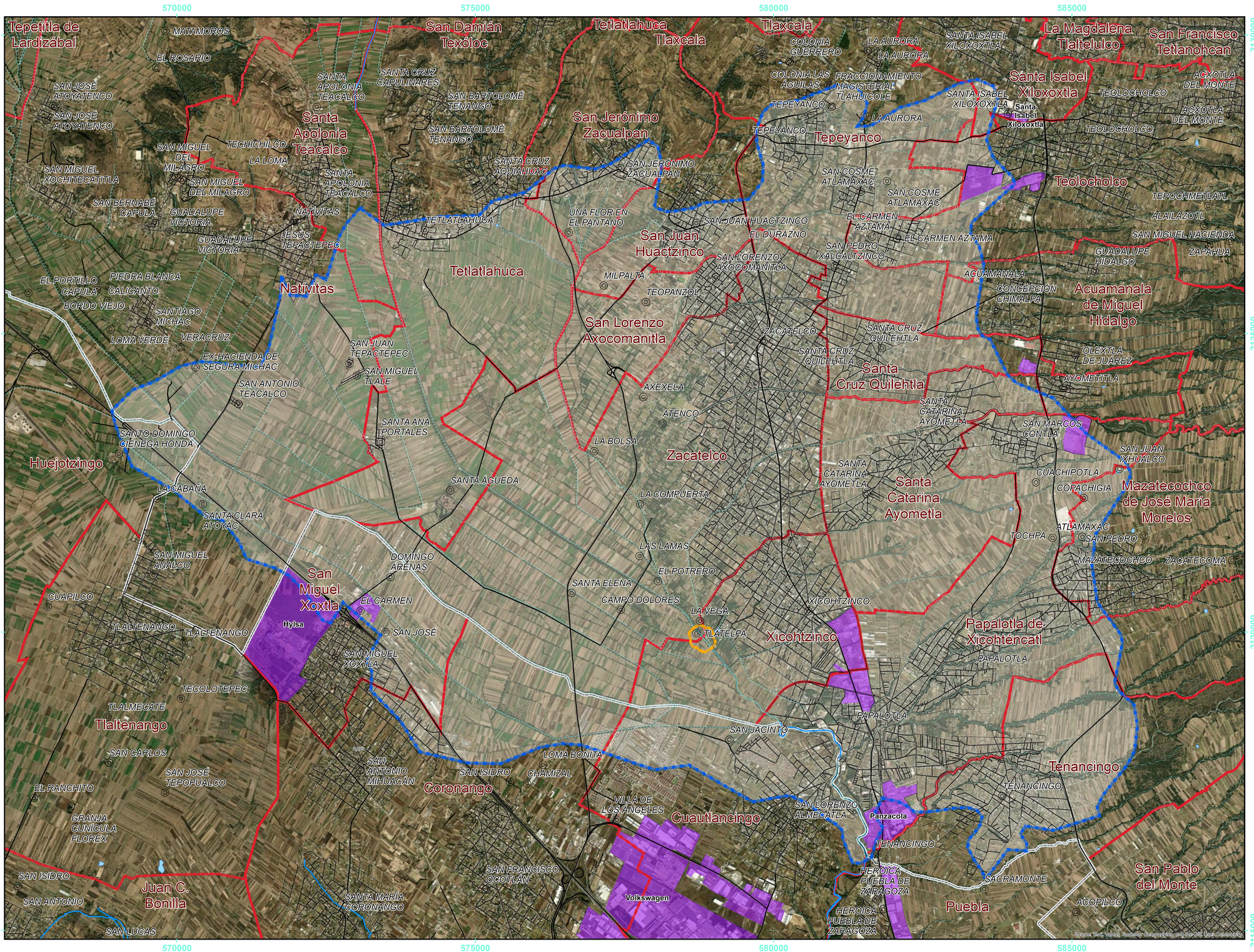
Universal Transversa de Mercator (UTM)
GEOIDE: WGS 84, Zona 14 Norte

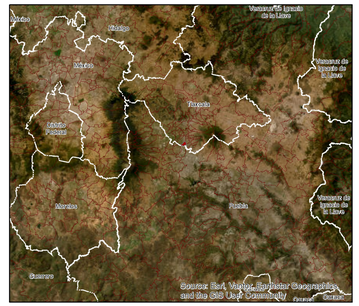
N

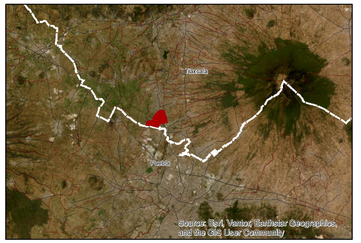
H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

CEMAUR

MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN MODALIDAD PARTICULAR
"PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE"







NOMBRE DEL MAPA:

REGIÓN ECOLÓGICA

SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL

- LÍMITES ESTATALES
- LÍMITE MUNICIPAL
- ZONA INDUSTRIAL
- CARRETERAS

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

- INTERMITENTE
- PERENNE
- CANALES
- MANZANAS
- INTERMITENTE
- PERENNE

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- REGIÓN ECOLÓGICA
- ÁREA DE INFLUENCIA
- SUPERFICIE DE INTERVENCIÓN

ESCALA: 1:30,000

0 0.4 0.8 1.6 2.4 3.2 KILÓMETROS

DATOS DE PROYECCIÓN

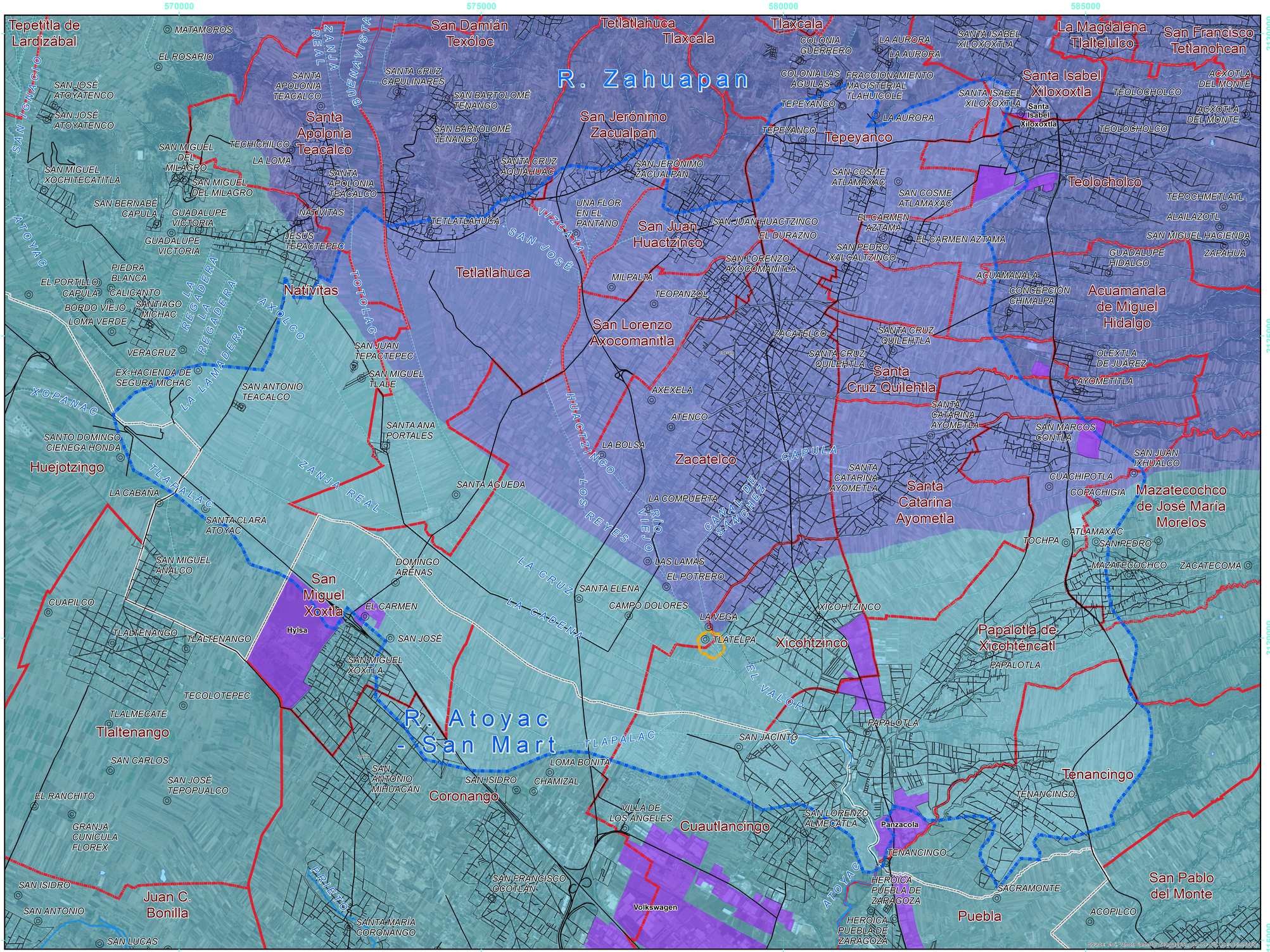
Universal Transversa de Mercator (UTM)
GEOIDE: WGS 84, Zona 14 Norte

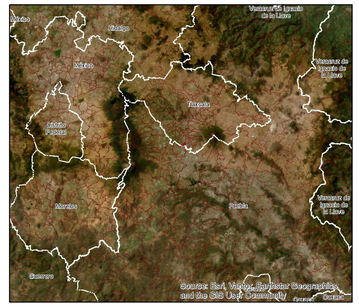
N

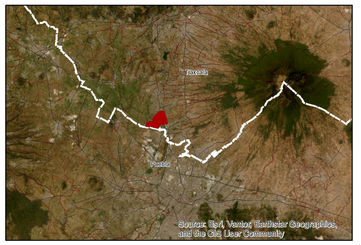
H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

CEMAUR

MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN MODALIDAD PARTICULAR
"PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE"







NOMBRE DEL MAPA:

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL

- LÍMITES ESTATALES
- LÍMITE MUNICIPAL
- ZONA INDUSTRIAL
- CARRETERAS

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

- INTERMITENTE
- PERENNE
- CANALES
- MANZANAS
- INTERMITENTE
- PERENNE

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- REGIÓN ECOLÓGICA
- ÁREA DE INFLUENCIA
- SUPERFICIE DE INTERVENCIÓN
- SUBCUENCA R. ATOYAC - SAN MARTÍN
- SUBCUENCA R. ZAHUAPAN

ESCALA: 1:30,000

0 0.5 1 2 3 4 KILÓMETROS

DATOS DE PROYECCIÓN

Universal Transversa de Mercator (UTM)
GEOIDE: WGS 84, Zona 14 Norte

N

H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

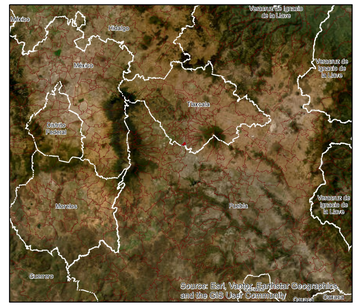
CEMAUR

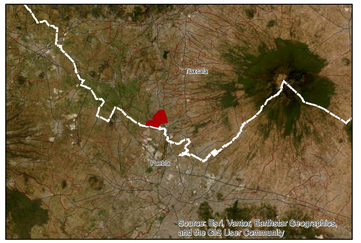
MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN MODALIDAD PARTICULAR
"PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE"

570000 575000 580000 585000

2125000 2120000 2115000

Santa Apolonia Teacalco
San Jerónimo Zacualpan
San Juan Huactzinco
Tepeyanco
Teolocholco
Tetlatlahuca
Natívitas
San Lorenzo Axocomanitla
Acuamanala de Miguel Hidalgo
Santa Cruz Quilehtla
RAS
Huejotzingo
Zacatelco
RA
Santa Catarina Ayometla
Mazatecochco de José María Morelos
Hylsa
San Miguel Xoxtla
Xicohtzinco
Papalotla de Xicohténcatl
TA
BP
TAS
Tlaltenango
Tenancingo
Panzacola
TAP
Coronango
RS
Cuautlancingo
Volkswagen
AH
PI
San Pablo del Monte
Puebla
Juan C. Bonilla
RAP
San Pedro Cholula
San Pedro Cholula
Cuautlancingo
Finsa





NOMBRE DEL MAPA:

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN SERIE VII

SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL

- LÍMITES ESTATALES
- LÍMITE MUNICIPAL
- ZONA INDUSTRIAL
- MANZANAS
- CARRETERAS

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

- INTERMITENTE
- PERENNE
- CANALES
- INTERMITENTE
- PERENNE

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- ÁREA DE INFLUENCIA
- SUPERFICIE DE INTERVENCIÓN

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN SERIE VII

- AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL
- AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL Y PERMANENTE
- AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL Y SEMIPERMANE...
- AGRICULTURA DE RIEGO SEMIPERMANE...
- AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL
- AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL Y PERMANENTE
- AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL Y SEMIPERMANE...
- ASENTAMIENTOS HUMANOS
- BOSQUE DE PINO
- PASTIZAL INDUCIDO

ESCALA: 1:30,000

0 0.25 0.5 1 1.5 2 KILÓMETROS

DATOS DE PROYECCIÓN

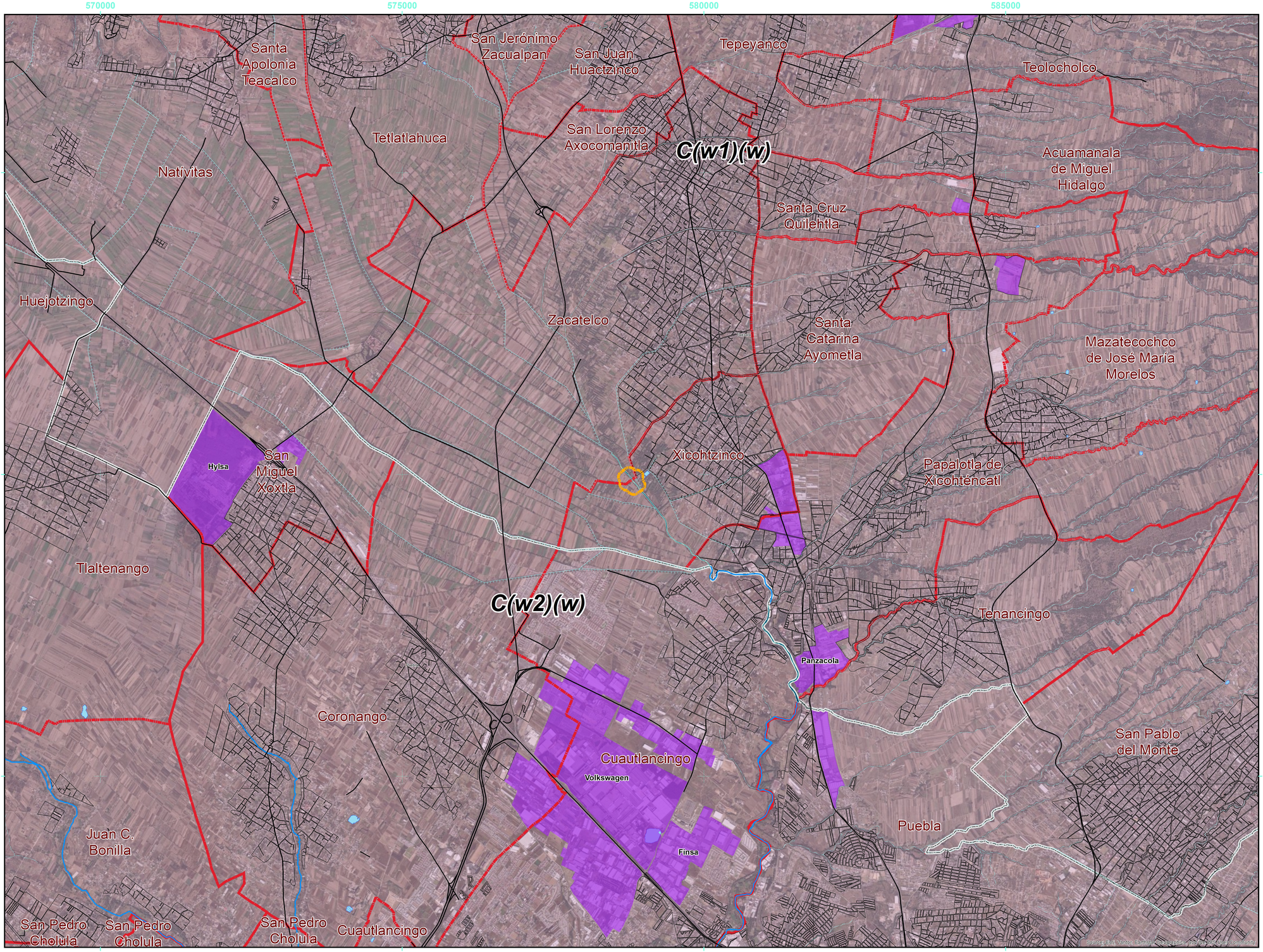
Universal Transversa de Mercator (UTM)
GEOIDE: WGS 84, Zona 14 Norte

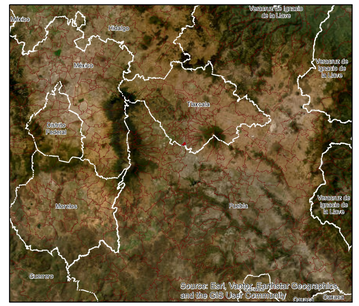
N

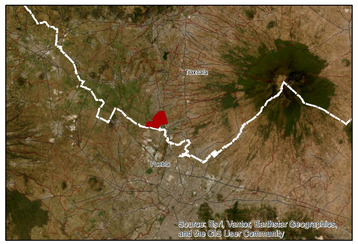
H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

CEMAUR

MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN MODALIDAD PARTICULAR
"PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE"







NOMBRE DEL MAPA:

UNIDADES CLIMÁTICAS

SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL

- LÍMITES ESTATALES
- LÍMITE MUNICIPAL
- ZONA INDUSTRIAL
- MANZANAS
- CARRETERAS

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

- INTERMITENTE
- PERENNE
- CANALES
- INTERMITENTE
- PERENNE

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- ÁREA DE INFLUENCIA
- SUPERFICIE DE INTERVENCIÓN

UNIDADES CLIMÁTICAS

- Templado subhúmedo

ESCALA: 1:30,000

0 0.25 0.5 1 1.5 2 KILÓMETROS

DATOS DE PROYECCIÓN

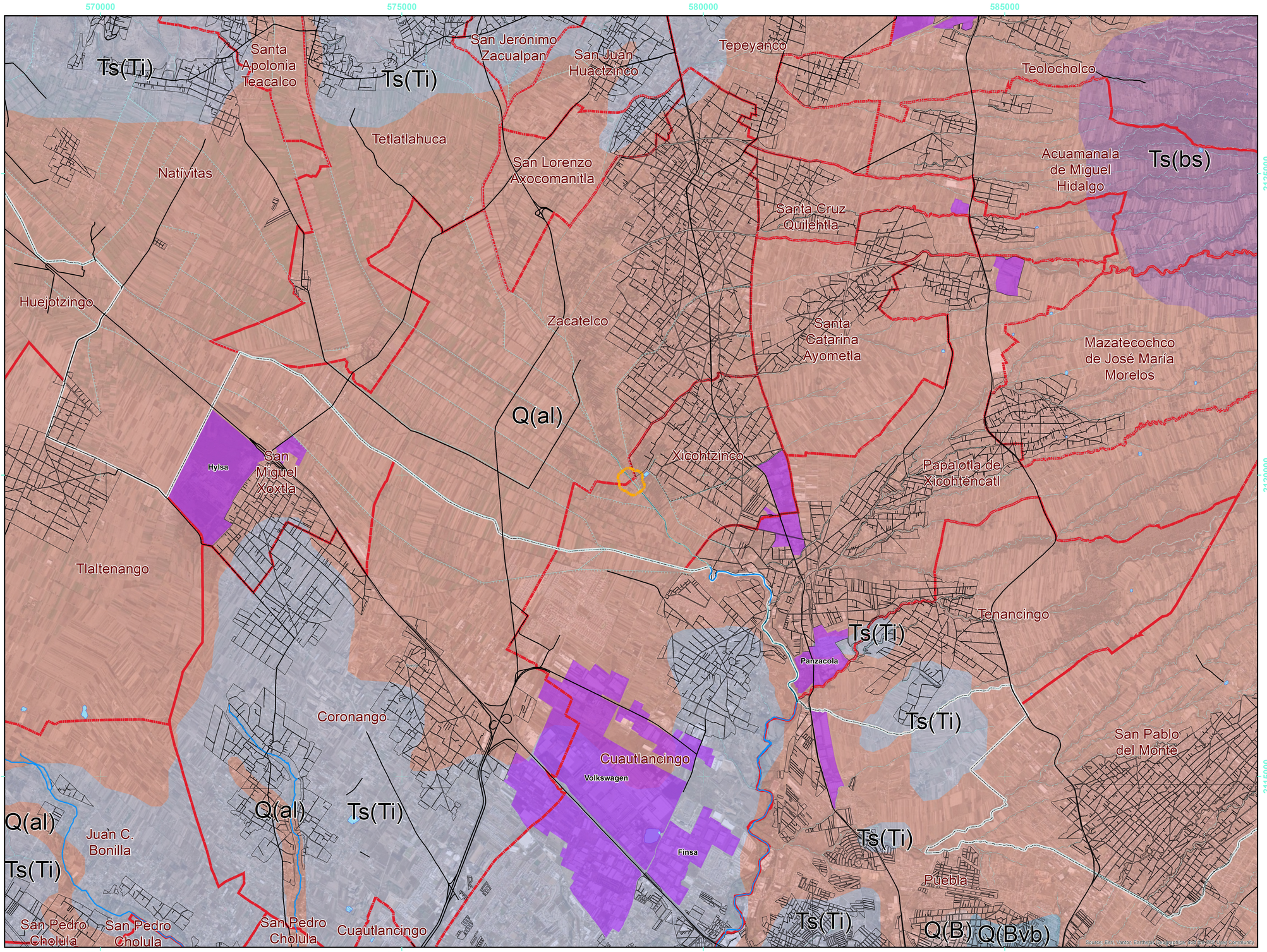
Universal Transversa de Mercator (UTM)
GEOIDE: WGS 84, Zona 14 Norte

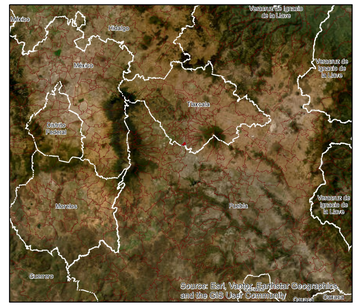
N

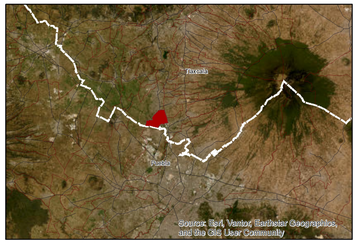
H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

CEMAUR

MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN MODALIDAD PARTICULAR
"PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE"







NOMBRE DEL MAPA:

GEOLOGÍA

SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL

- LÍMITES ESTATALES
- LÍMITE MUNICIPAL
- ZONA INDUSTRIAL
- MANZANAS
- CARRETERAS

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

- INTERMITENTE
- PERENNE
- CANALES
- INTERMITENTE
- PERENNE

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- ÁREA DE INFLUENCIA
- SUPERFICIE DE INTERVENCIÓN

GEOLOGÍA

- Aluvial
- Basalto
- Brecha sedimentaria
- Brecha volcánica básica
- Toba intermedia

ESCALA: 1:30,000

0 0.25 0.5 1 1.5 2 KILÓMETROS

DATOS DE PROYECCIÓN

Universal Transversa de Mercator (UTM)
GEOIDE: WGS 84, Zona 14 Norte

N

H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

CEMAUR

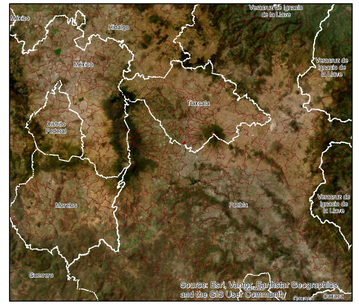
MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN MODALIDAD PARTICULAR
"PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE"

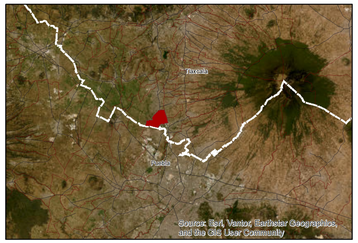
570000 575000 580000 585000

2125000 2120000 2115000

Je Be Santa Apolonia Teacalco Be San Jerónimo Zacualpan Be San Juan Huactzinco Tepeyanco Teolocholco Re Tetlatlahuca Je Natívitas San Lorenzo Axocomanitla Acuamanala de Miguel Hidalgo Santa Cruz Quilehtla Je Huejotzingo Zacatelco Santa Catarina Ayometla Mazatecochco de José María Morelos Re Hc Hylsa San Miguel Xoxtla Xicohtzinco Papalotla de Xicohténcatl Re Be Tlaltenango Tenancingo Panzacola Vp Re Coronango Cuautlancingo Volkswagen San Pablo del Monte Finsa Re Juan C. Bonilla Puebla Hh Be Re San Pedro Cholula

Source: Esri, Vantor, Earthstar Geographics, and the GIS User Community





NOMBRE DEL MAPA:

EDAFOLOGÍA

SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL

- LÍMITES ESTATALES
- LÍMITE MUNICIPAL
- ZONA INDUSTRIAL
- MANZANAS
- CARRETERAS

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

- INTERMITENTE
- PERENNE
- CANALES
- INTERMITENTE
- PERENNE

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- ÁREA DE INFLUENCIA
- SUPERFICIE DE INTERVENCIÓN

EDAFOLOGÍA

- CAMBISOL EUTRICO
- FEOZEM CALCARICO
- FEOZEM HAPLICO
- FLUVISOL EUTRICO
- REGOSOL EUTRICO
- VERTISOL PELICO

ESCALA: 1:30,000

0 0.25 0.5 1 1.5 2 KILÓMETROS

DATOS DE PROYECCIÓN

Universal Transversa de Mercator (UTM)
GEOIDE: WGS 84, Zona 14 Norte

N

H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

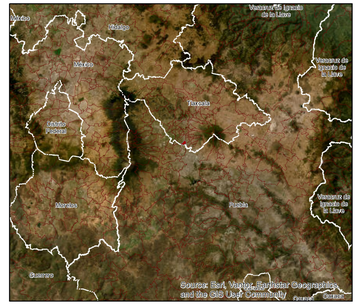
CEMAUR

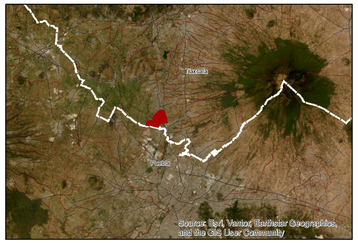
MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN MODALIDAD PARTICULAR
"PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE"

570000 575000 580000 585000

2125000 2120000 2115000

Santa Apolonia Teacalco
San Jerónimo Zacualpan
San Juan Huactzinco
Tepeyanco
Teolocholco
Tetlatlahuca
Natívitas
San Lorenzo Axocomanitla
Acuamanala de Miguel Hidalgo
Santa Cruz Quilehtla
Huejotzingo
Zacatelco
Santa Catarina Ayometla
Mazatecochco de José María Morelos
Hylsa
San Miguel Xoxtla
LAGOS Y VOLCANES DE ANÁHUAC
Xicohtzinco
Papalotla de Xicohténcatl
Tlaltenango
Tenancingo
Panzacola
Coronango
Cuautlancingo
Volkswagen
Finsa
San Pablo del Monte
Juan C. Bonilla
Puebla
San Pedro Cholula





NOMBRE DEL MAPA:

SUBPROVINCIAS FISIOGRÁFICAS

SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL

- LÍMITES ESTATALES
- LÍMITE MUNICIPAL
- ZONA INDUSTRIAL
- MANZANAS
- CARRETERAS

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

- INTERMITENTE
- PERENNE
- CANALES
- INTERMITENTE
- PERENNE

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- ÁREA DE INFLUENCIA
- SUPERFICIE DE INTERVENCIÓN

SUBPROVINCIAS FISIOGRÁFICAS

- LAGOS Y VOLCANES DE ANÁHUAC

ESCALA: 1:30,000

0 0.25 0.5 1 1.5 2 KILÓMETROS

DATOS DE PROYECCIÓN

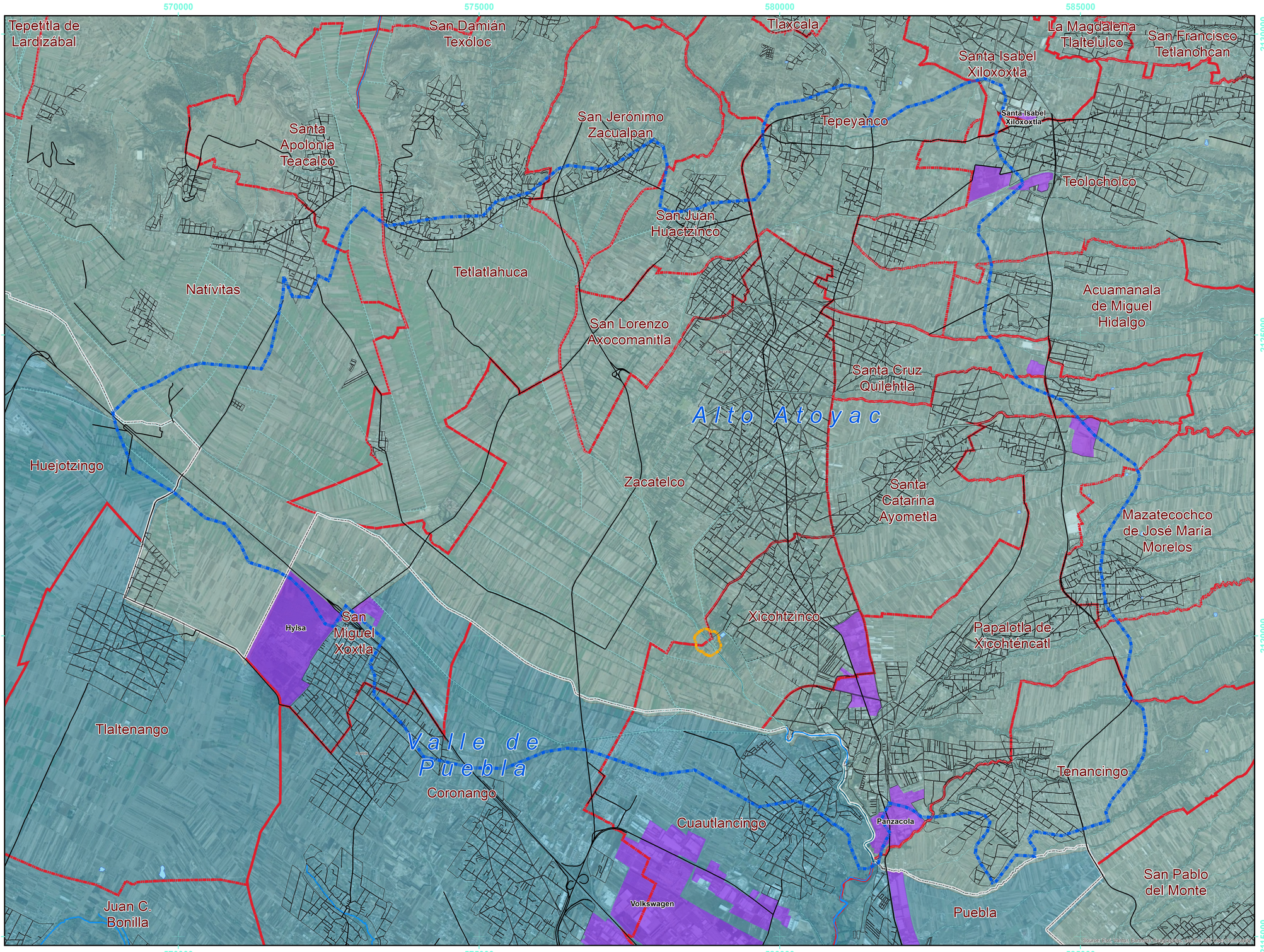
Universal Transversa de Mercator (UTM)
GEOIDE: WGS 84, Zona 14 Norte

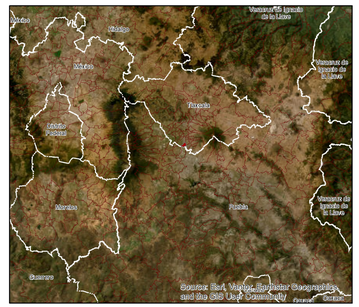
N

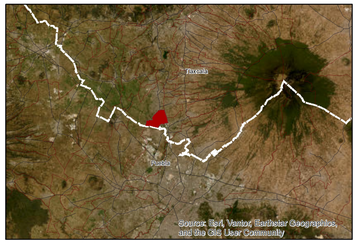
H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

CEMAUR

MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN MODALIDAD PARTICULAR
"PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE"







NOMBRE DEL MAPA:

ACUÍFEROS

SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL

- LÍMITES ESTATALES
- LÍMITE MUNICIPAL
- ZONA INDUSTRIAL
- MANZANAS
- CARRETERAS

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

- INTERMITENTE
- PERENNE
- CANALES
- INTERMITENTE
- PERENNE

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- REGIÓN ECOLÓGICA
- ÁREA DE INFLUENCIA
- SUPERFICIE DE INTERVENCIÓN

ACUÍFEROS

- Alto Atoyac
- Valle de Puebla

ESCALA: 1:30,000

0 0.2250 45 0.9 1.35 1.8
KILÓMETROS

DATOS DE PROYECCIÓN

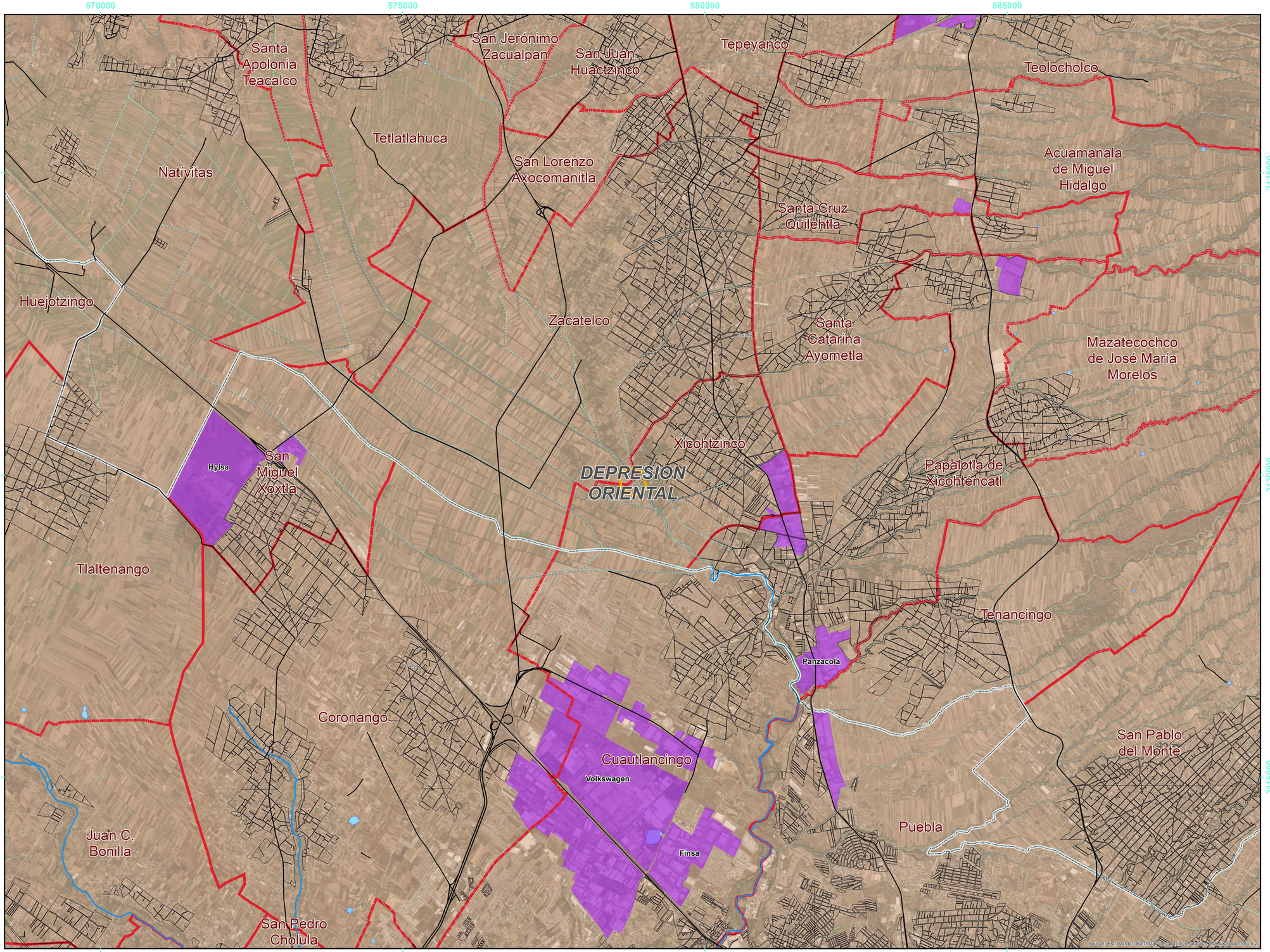
Universal Transversa de Mercator (UTM)
GEOIDE: WGS 84, Zona 14 Norte

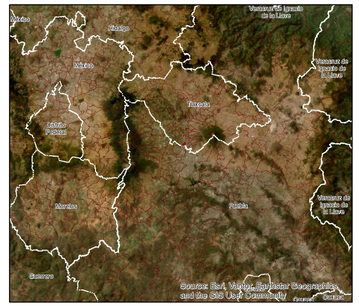
N

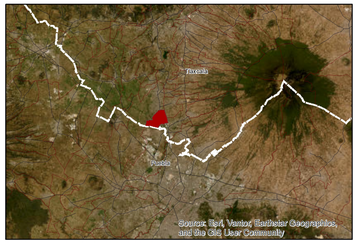
H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

CEMAUR

MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN MODALIDAD PARTICULAR
"PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE"







NOMBRE DEL MAPA:

MODELO DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO GENERAL DEL TERRITORIO

SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL

- LÍMITES ESTATALES
- LÍMITE MUNICIPAL
- ZONA INDUSTRIAL
- MANZANAS
- CARRETERAS

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

- INTERMITENTE
- PERENNE
- CANALES
- INTERMITENTE
- PERENNE

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- ÁREA DE INFLUENCIA
- SUPERFICIE DE INTERVENCIÓN

MODELO DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO GENERAL DEL TERRITORIO

- REGIÓN 16.10, DEPRESION ORIENTAL

ESCALA: 1:30,000

0 0.2250.45 0.9 1.35 1.8 KILÓMETROS

DATOS DE PROYECCIÓN

Universal Transversa de Mercator (UTM)
GEOIDE: WGS 84, Zona 14 Norte

N

H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

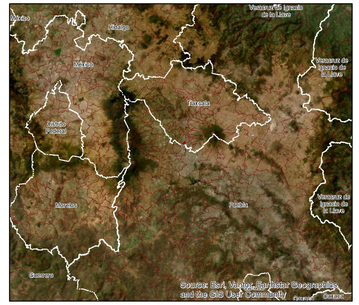
CEMAUR

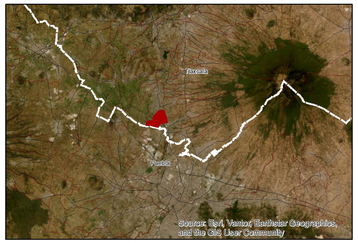
MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN MODALIDAD PARTICULAR
"PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE"

570000 575000 580000 585000

2125000 2120000 2115000

Santa Apolonia Teacalco
San Jerónimo Zacualpan
San Juan Huactzinco
Tepeyanco
Teolocholco
Tetlatlahuca
Natívitas
San Lorenzo Axocomanitla
Acuamanala de Miguel Hidalgo
Santa Cruz Quilehtla
Huejotzingo
Zacatelco
Santa Catarina Ayometla
Mazatecochco de José María Morelos
Hylsa
San Miguel Xoxtla
Xicohtzinco
Papalotla de Xicohténcatl
Tlaltenango
Tenancingo
Panzacola
Coronango
San Pablo del Monte
Cuautlancingo
Volkswagen
Finsa
Puebla
Juan C. Bonilla
San Pedro Cholula





NOMBRE DEL MAPA:

POE ESTATAL TLAXCALA

SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL

- LÍMITES ESTATALES
- LÍMITE MUNICIPAL
- ZONA INDUSTRIAL
- MANZANAS
- CARRETERAS

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

- INTERMITENTE
- PERENNE
- CANALES
- INTERMITENTE
- PERENNE

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- ÁREA DE INFLUENCIA
- SUPERFICIE DE INTERVENCIÓN

POE ESTATAL TLAXCALA

- APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE
- CONSERVACION
- PROTECCION
- RESTAURACION

ESCALA: 1:30,000

0 0.2250.45 0.9 1.35 1.8 KILÓMETROS

DATOS DE PROYECCIÓN

Universal Transversa de Mercator (UTM)
GEOIDE: WGS 84, Zona 14 Norte

N

H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

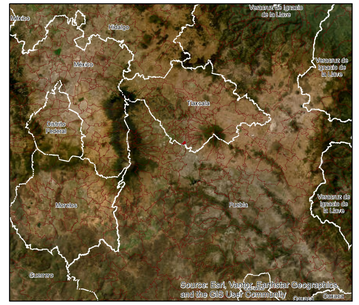
CEMAUR

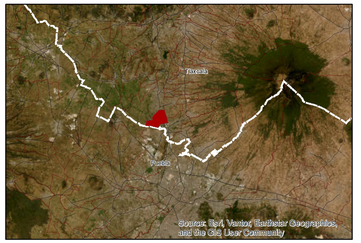
MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN MODALIDAD PARTICULAR
"PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE"

570000 575000 580000 585000

2125000 2120000 2115000

Santa Apolonia Teacalco
San Jerónimo Zacualpan
San Juan Huactzinco
Tepeyanco
Teolocholco
ANP00603031
Tetlatlahuca
San Lorenzo Axocomanitla
Acuamanala de Miguel Hidalgo
Natívitas
Santa Cruz Quilehtla
Huejotzingo
Zacatelco
Santa Catarina Ayometla
Mazatecochco de José María Morelos
Hylsa
San Miguel Xoxtla
Xicohtzinco
Papalotla de Xicohténcatl
Tlaltenango
Tenancingo
Panzacola
Coronango
Cuautlancingo
Volkswagen
Finsa
San Pablo del Monte
Puebla
Juan C. Bonilla
San Pedro Cholula





NOMBRE DEL MAPA:

ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL

- LÍMITES ESTATALES
- LÍMITE MUNICIPAL
- ZONA INDUSTRIAL
- MANZANAS
- CARRETERAS

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

- INTERMITENTE
- PERENNE
- CANALES
- INTERMITENTE
- PERENNE

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- ÁREA DE INFLUENCIA
- SUPERFICIE DE INTERVENCIÓN

ANP's FEDERALES

- La Montaña Malinche o Matlalcuéyatl

ESCALA: 1:30,000

0 0.225 0.45 0.9 1.35 1.8 KILÓMETROS

DATOS DE PROYECCIÓN

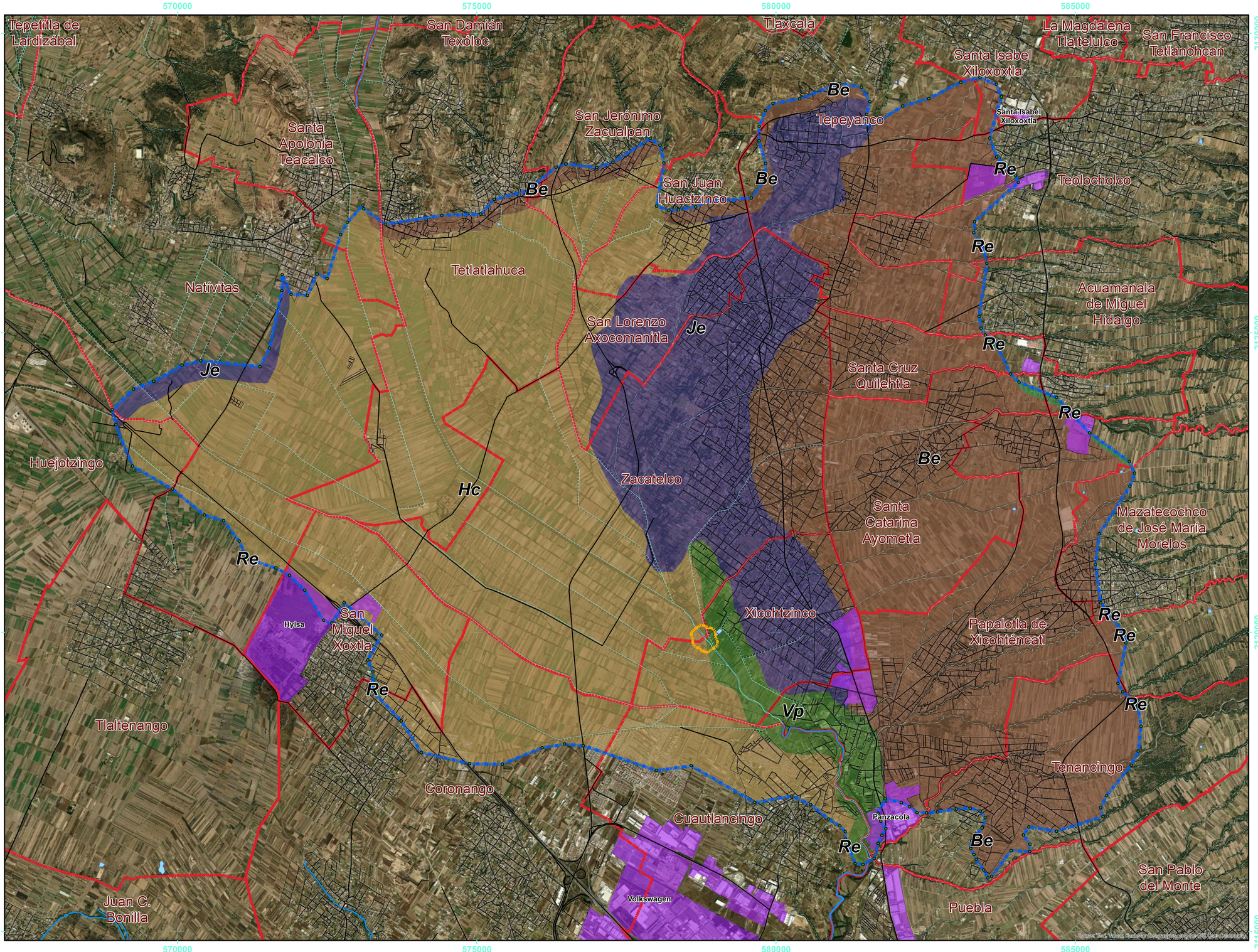
Universal Transversa de Mercator (UTM)
GEOIDE: WGS 84, Zona 14 Norte

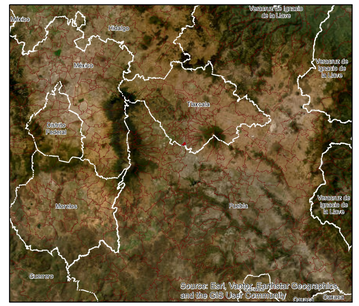
N

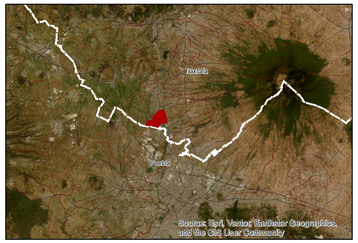
H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

CEMAUR

MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN MODALIDAD PARTICULAR
"PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE"







NOMBRE DEL MAPA:

EDAFOLOGÍA REGIÓN ECOLÓGICA

SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL

- LÍMITE MUNICIPAL
- ZONA INDUSTRIAL
- MANZANAS
- CARRETERAS

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

- INTERMITENTE
- PERENNE
- CANALES
- INTERMITENTE
- PERENNE

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- REGIÓN ECOLÓGICA
- ÁREA DE INFLUENCIA
- SUPERFICIE DE INTERVENCIÓN

EDAFOLOGÍA REGIÓN ECOLÓGICA

- CAMBISOL EUTRICO
- FEOZEM CALCARICO
- FLUVISOL EUTRICO
- REGOSOL EUTRICO
- VERTISOL PELICO

ESCALA: 1:30,000

0 0.225 0.45 0.9 1.35 1.8
KILÓMETROS

DATOS DE PROYECCIÓN

Universal Transversa de Mercator (UTM)
GEOIDE: WGS 84, Zona 14 Norte

N

H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

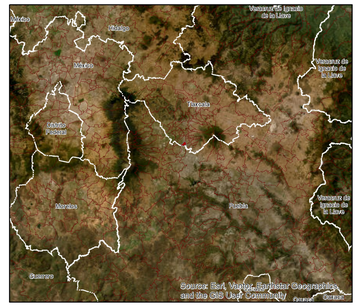
CEMAUR

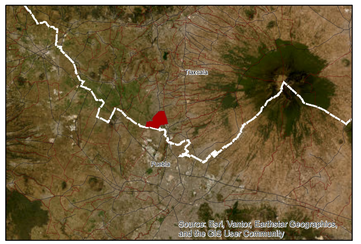
MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN MODALIDAD PARTICULAR
"PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE"

570000 575000 580000 585000

2130000 2125000 2120000 2115000

Tepetitla de Lardizábal
San Damián Texóloc
Tlaxcala
Santa Isabel Xiloxoxtla
La Magdalena Tlaltelulco
San Francisco Tetlanohcan
Santa Apolonia Teacalco
San Jerónimo Zacualpan
Tepeyanco
Santa Isabel Xiloxoxtla
Teolocholco
San Juan Huactzinco
Tetlatlahuca
Natívitas
Acuamanala de Miguel Hidalgo
San Lorenzo Axocomanitla
Santa Cruz Quilehtla
Huejotzingo
Zacatelco
Santa Catarina Ayometla
Mazatecochco de José María Morelos
San Miguel Xoxtla
Hylsa
Xicohtzinco
Papalotla de Xicohténcatl
Tlaltenango
Tenancingo
Coronango
Cuautlancingo
Panzacola
San Pablo del Monte
Juan C. Bonilla
Volkswagen
Puebla





NOMBRE DEL MAPA:

GEOLOGÍA REGIÓN ECOLÓGICA

SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL

- LÍMITE MUNICIPAL
- ZONA INDUSTRIAL
- MANZANAS
- CARRETERAS

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

- INTERMITENTE
- PERENNE
- CANALES
- INTERMITENTE
- PERENNE

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- REGIÓN ECOLÓGICA
- ÁREA DE INFLUENCIA
- SUPERFICIE DE INTERVENCIÓN

GEOLOGÍA REGIÓN ECOLÓGICA

- Aluvial
- Basalto
- Toba básica
- Toba intermedia

ESCALA: 1:30,000

0 0.2250.45 0.9 1.35 1.8 KILÓMETROS

DATOS DE PROYECCIÓN

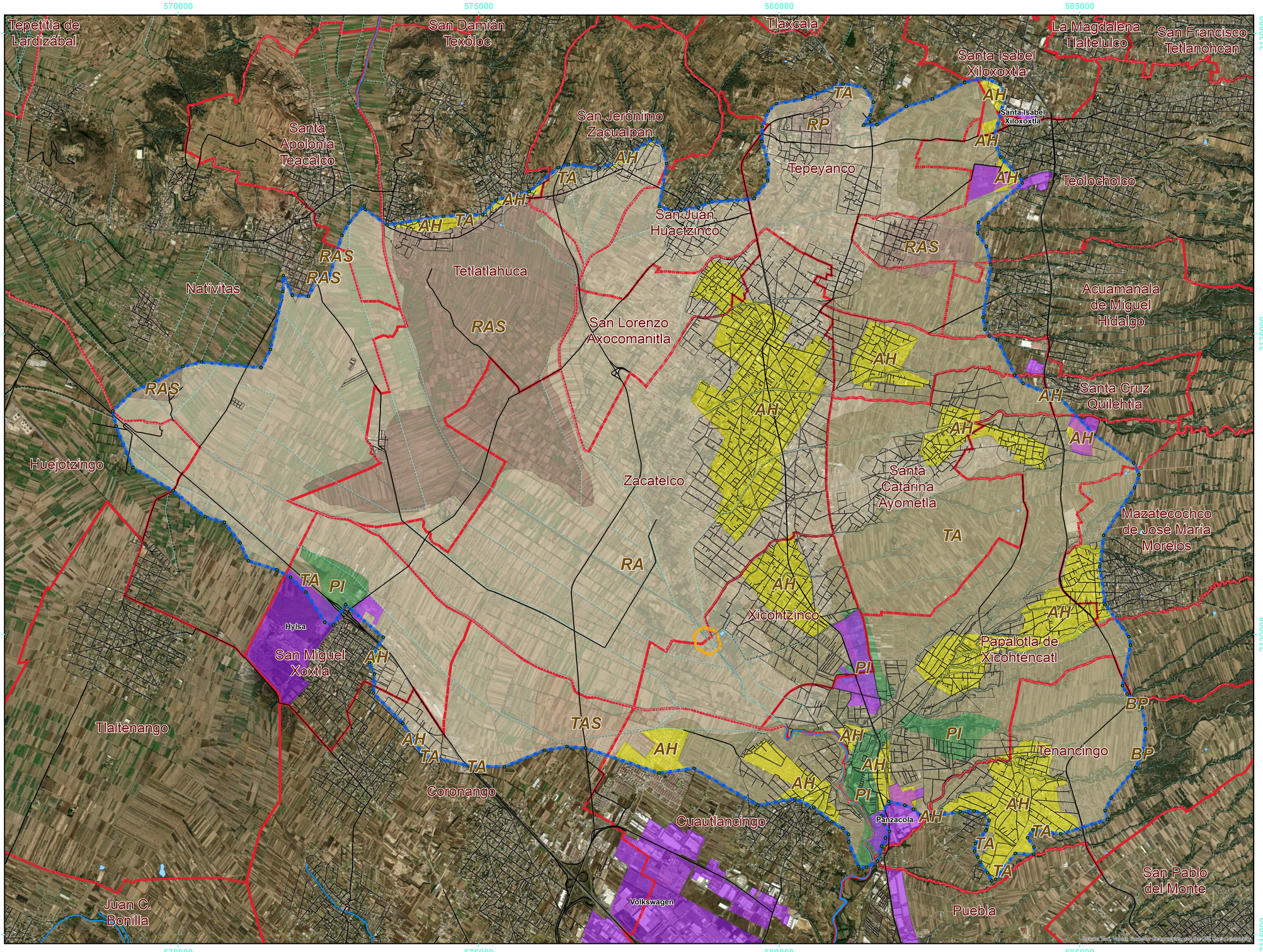
Universal Transversa de Mercator (UTM)
GEOIDE: WGS 84, Zona 14 Norte

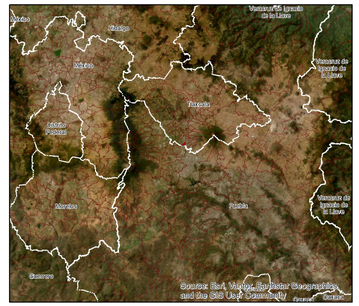
N

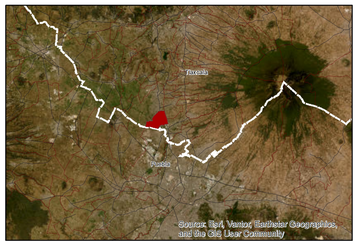
H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

CEMAUR

MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN MODALIDAD PARTICULAR
"PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE"







NOMBRE DEL MAPA:

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN SERIE VII RE

SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL

- LÍMITE MUNICIPAL
- ZONA INDUSTRIAL
- MANZANAS
- CARRETERAS

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

- INTERMITENTE
- PERENNE
- CANALES
- INTERMITENTE
- PERENNE

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- REGIÓN ECOLÓGICA
- ÁREA DE INFLUENCIA
- SUPERFICIE DE INTERVENCIÓN

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN SERIE VII RE

- AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL
- AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL Y SEMIPERMANENTE
- AGRICULTURA DE RIEGO PERMANENTE
- AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL
- AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL Y PERMANENTE
- AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL Y SEMIPERMANENTE
- ASENTAMIENTOS HUMANOS
- BOSQUE DE PINO
- PASTIZAL INDUCIDO

ESCALA: 1:30,000

0 0.225 0.45 0.9 1.35 1.8
KILÓMETROS

DATOS DE PROYECCIÓN

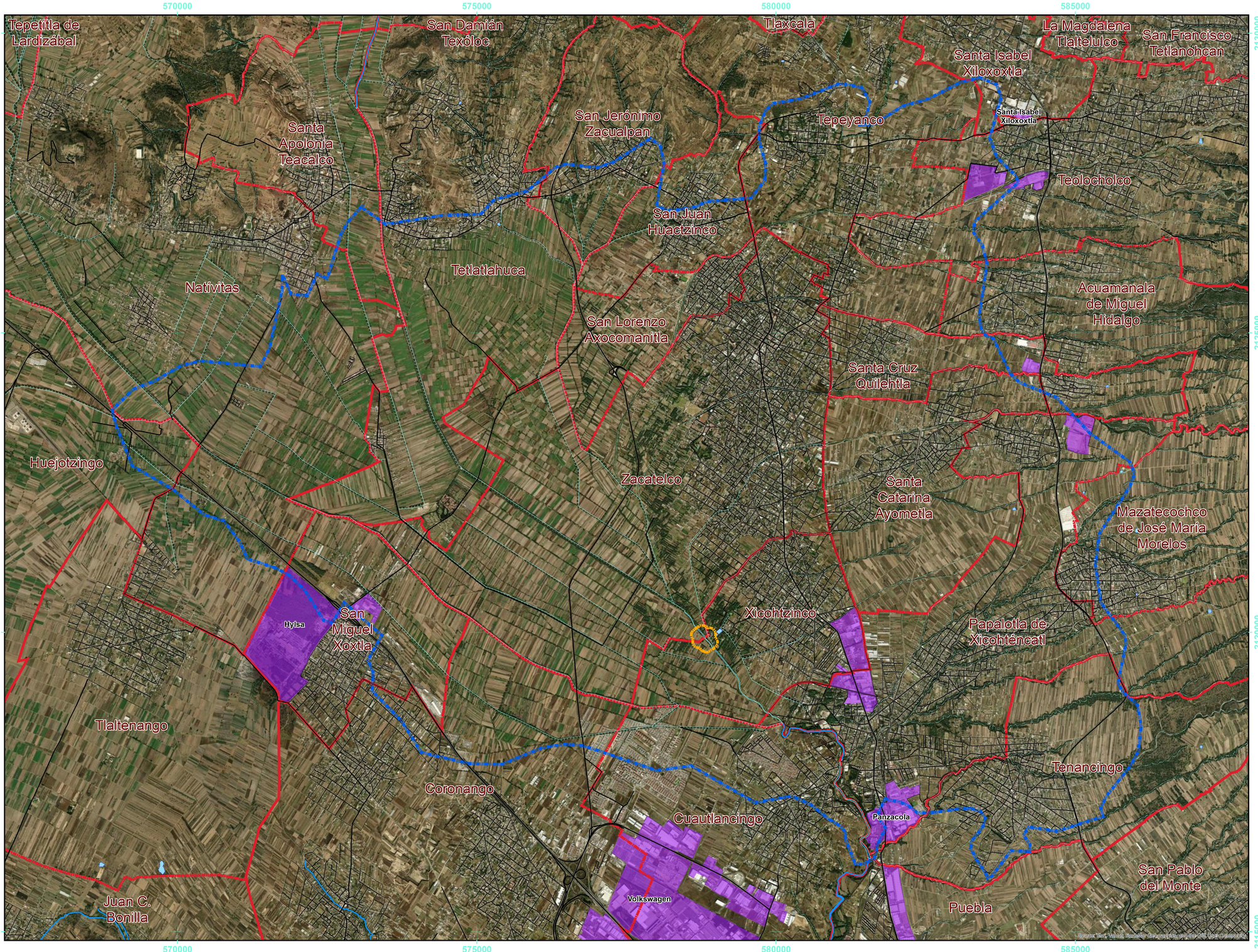
Universal Transversa de Mercator (UTM)
GEOIDE: WGS 84, Zona 14 Norte

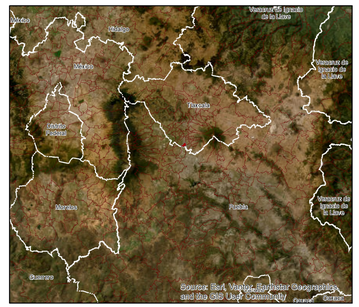
N

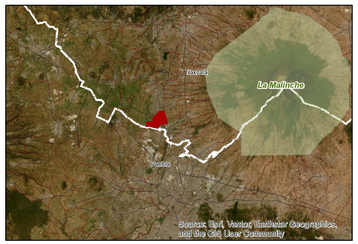
H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

CEMAUR

MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN MODALIDAD PARTICULAR
"PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE"







NOMBRE DEL MAPA:

REGIONES TERRESTRES PRIORITARIAS

SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL

- LÍMITE MUNICIPAL
- ZONA INDUSTRIAL
- MANZANAS
- CARRETERAS

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

- INTERMITENTE
- PERENNE
- CANALES
- INTERMITENTE
- PERENNE

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- REGIÓN ECOLÓGICA
- ÁREA DE INFLUENCIA
- SUPERFICIE DE INTERVENCIÓN

ESCALA: 1:30,000

0 0.2250.45 0.9 1.35 1.8 KILÓMETROS

DATOS DE PROYECCIÓN

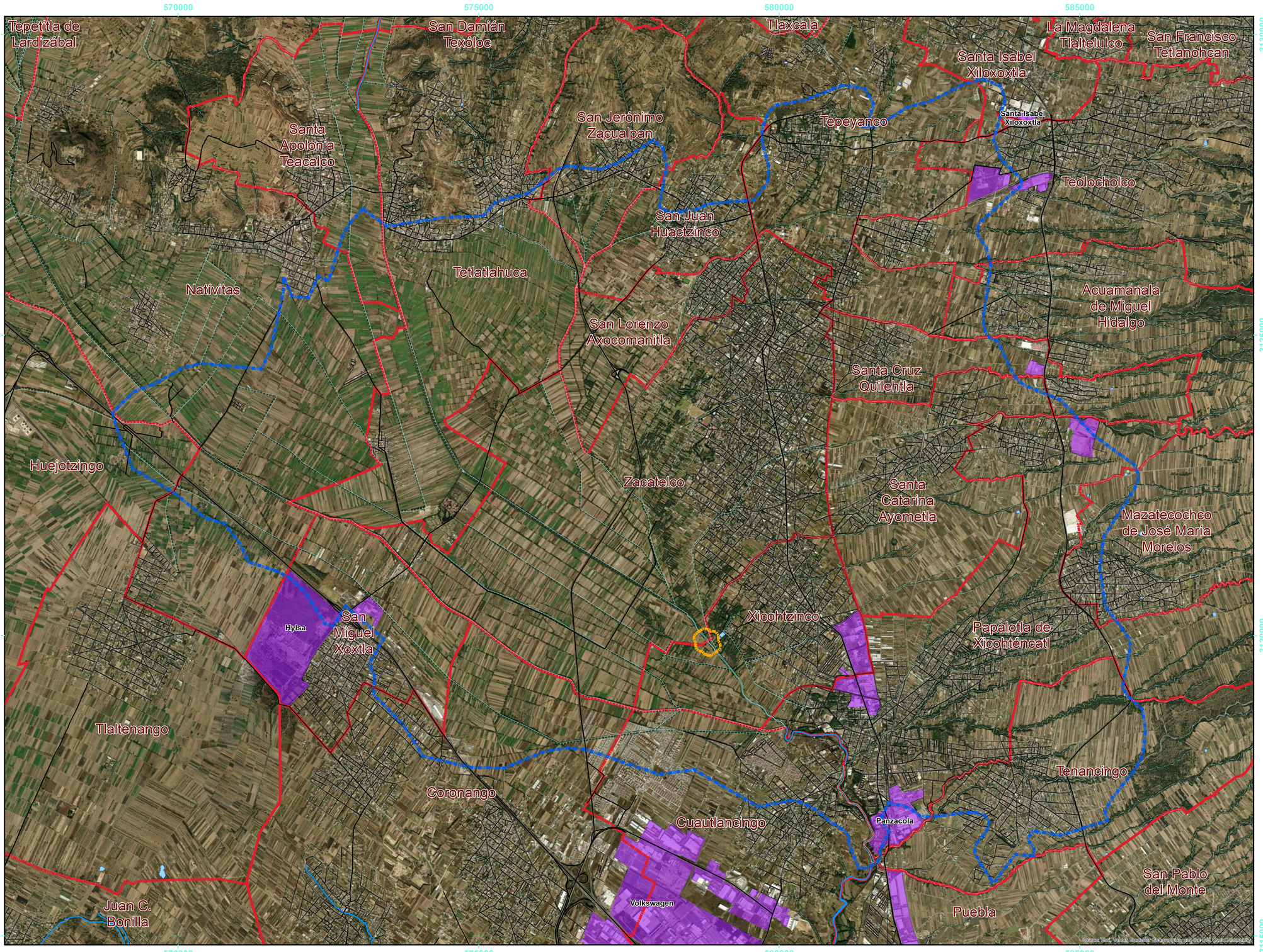
Universal Transversa de Mercator (UTM)
GEOIDE: WGS 84, Zona 14 Norte

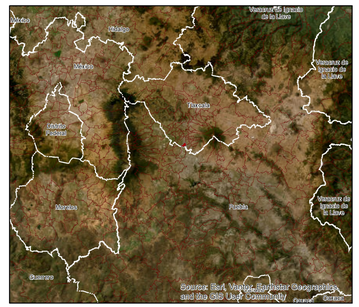
N

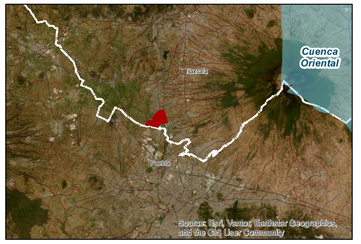
H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

CEMAUR

MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN MODALIDAD PARTICULAR
"PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE"







NOMBRE DEL MAPA:

REGIONES HIDROLÓGICAS PRIORITARIAS

SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL

- LÍMITE MUNICIPAL
- ZONA INDUSTRIAL
- MANZANAS
- CARRETERAS

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

- INTERMITENTE
- PERENNE
- CANALES
- INTERMITENTE
- PERENNE

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- REGIÓN ECOLÓGICA
- ÁREA DE INFLUENCIA
- SUPERFICIE DE INTERVENCIÓN

ESCALA: 1:30,000

0 0.2250.45 0.9 1.35 1.8 KILÓMETROS

DATOS DE PROYECCIÓN

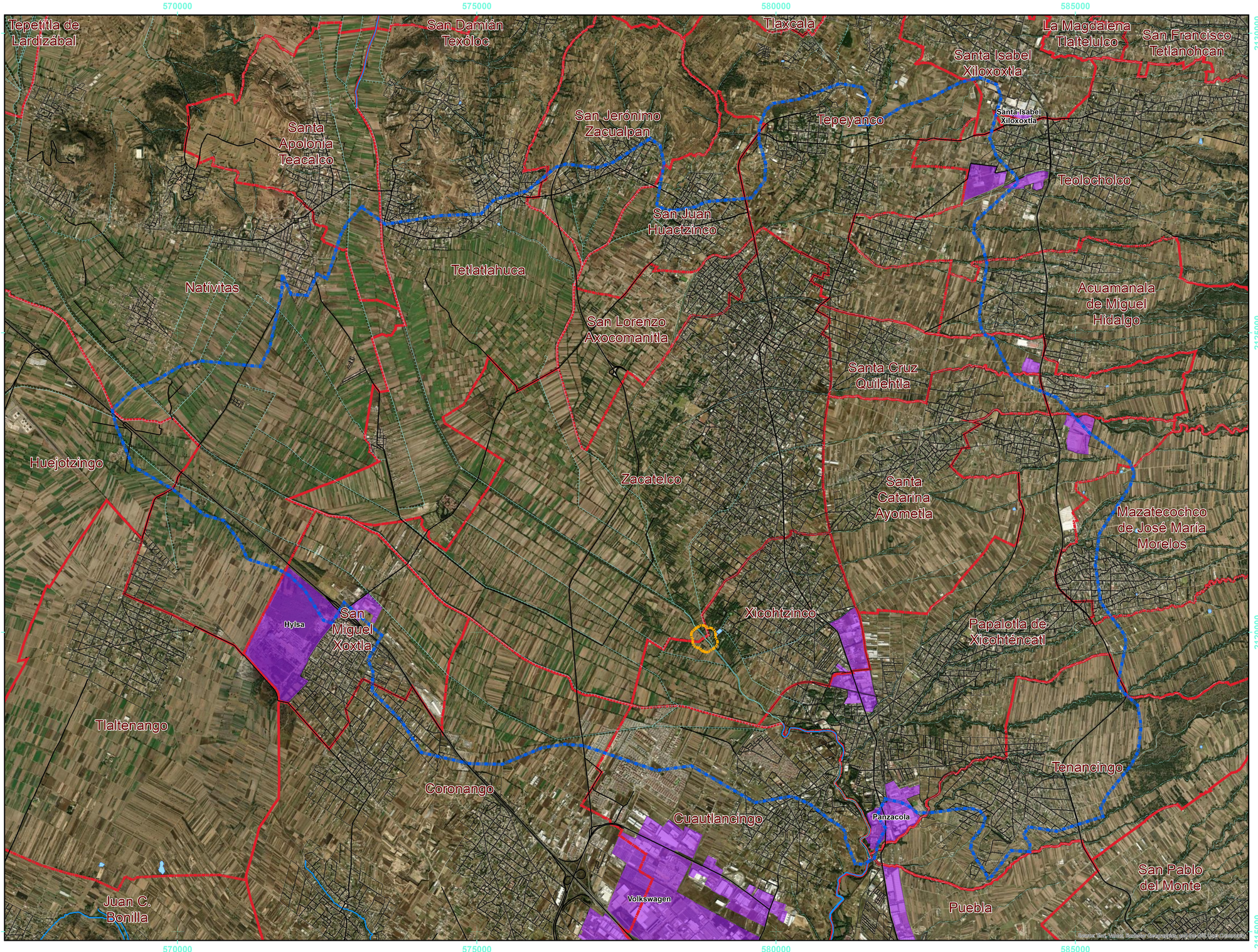
Universal Transversa de Mercator (UTM)
GEOIDE: WGS 84, Zona 14 Norte

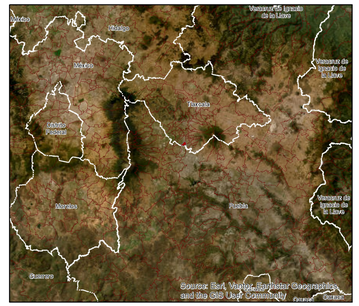
N

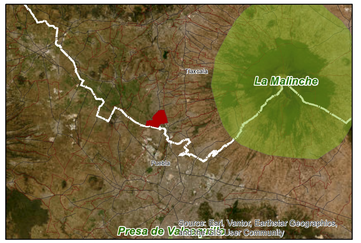
H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

CEMAUR

MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN MODALIDAD PARTICULAR
"PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE"







NOMBRE DEL MAPA:

ÁREAS DE IMPORTANCIA PARA LA CONSERVACIÓN DE LAS AVES

SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL

- LÍMITE MUNICIPAL
- ZONA INDUSTRIAL
- MANZANAS
- CARRETERAS

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

- INTERMITENTE
- PERENNE
- CANALES
- INTERMITENTE
- PERENNE

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- REGIÓN ECOLÓGICA
- ÁREA DE INFLUENCIA
- SUPERFICIE DE INTERVENCIÓN

ESCALA: 1:30,000

0 0.2250.45 0.9 1.35 1.8
KILÓMETROS

DATOS DE PROYECCIÓN

Universal Transversa de Mercator (UTM)
GEOIDE: WGS 84, Zona 14 Norte

N

H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

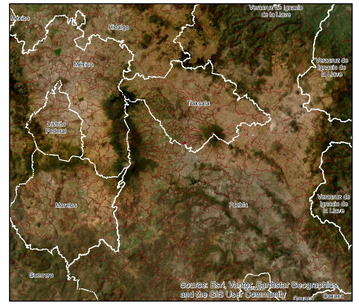
CEMAUR

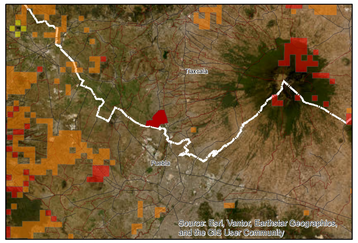
MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN MODALIDAD PARTICULAR
"PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE"

570000 575000 580000 585000

2130000 2125000 2120000 2115000

Tepetitla de Lardizábal
San Damián Texóloc
Tlaxcala
La Magdalena Tlaltelulco
San Francisco Tetlanohcan
Santa Isabel Xiloxoxtla
San Jerónimo Zacualpan
Tepeyanco
Santa Apolonia Teacalco
Teolocholco
San Juan Huactzinco
Tetlatlahuca
Natívitas
Acuamanala de Miguel Hidalgo
San Lorenzo Axocomanitla
Santa Cruz Quilehtla
Huejotzingo
Zacatelco
Santa Catarina Ayometla
Mazatecochco de José María Morelos
Hylsa
San Miguel Xoxtla
Xicohtzinco
Papalotla de Xicohténcatl
Tlaltenango
Tenancingo
Coronango
Cuautlancingo
Panzacola
Volkswagen
San Pablo del Monte
Puebla
Juan C. Bonilla





NOMBRE DEL MAPA:

SITIOS PRIORITARIOS PARA LA RESTAURACIÓN

SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL

- LÍMITE MUNICIPAL
- ZONA INDUSTRIAL
- MANZANAS
- CARRETERAS

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

- INTERMITENTE
- PERENNE
- CANALES
- INTERMITENTE
- PERENNE

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- REGIÓN ECOLÓGICA
- ÁREA DE INFLUENCIA
- SUPERFICIE DE INTERVENCIÓN

SITIOS PRIORITARIOS PARA LA RESTAURACIÓN

PRIORIDAD

- MEDIA
- ALTA
- EXTREMA

ESCALA: 1:30,000

0 0.225 0.45 0.9 1.35 1.8
KILÓMETROS

DATOS DE PROYECCIÓN

Universal Transversa de Mercator (UTM)
GEOIDE: WGS 84, Zona 14 Norte

N

H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

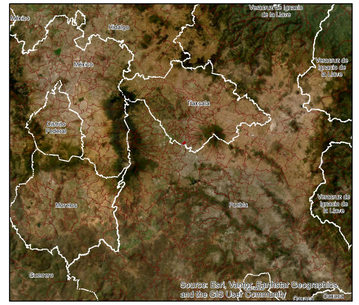
CEMAUR

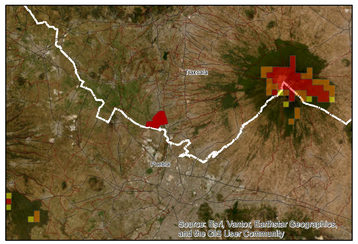
MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN MODALIDAD PARTICULAR
"PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE"

570000 575000 580000 585000

2130000 2125000 2120000 2115000

Tepetitla de Lardizábal
San Damián Texóloc
Tlaxcala
La Magdalena Tlaltelulco
San Francisco Tetlanohcan
Santa Isabel Xiloxoxtla
San Jerónimo Zacualpan
Tepeyanco
Santa Apolonia Teacalco
Teolocholco
San Juan Huactzinco
Tetlatlahuca
Natívitas
Acuamanala de Miguel Hidalgo
San Lorenzo Axocomanitla
Santa Cruz Quilehtla
Huejotzingo
Zacatelco
Santa Catarina Ayometla
Mazatecochco de José María Morelos
Hylsa
San Miguel Xoxtla
Xicohtzinco
Papalotla de Xicohténcatl
Tlaltenango
Tenancingo
Coronango
Cuautlancingo
Panzacola
Volkswagen
San Pablo del Monte
Puebla
Juan C. Bonilla





NOMBRE DEL MAPA:

SITIOS DE ATENCIÓN PRIORITARIA PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL

- LÍMITE MUNICIPAL
- ZONA INDUSTRIAL
- MANZANAS
- CARRETERAS

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

- INTERMITENTE
- PERENNE
- CANALES
- INTERMITENTE
- PERENNE

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- REGIÓN ECOLÓGICA
- ÁREA DE INFLUENCIA
- SUPERFICIE DE INTERVENCIÓN

SITIOS DE ATENCIÓN PRIORITARIA PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

- MEDIA
- ALTA
- EXTREMA

ESCALA: 1:30,000

0 0.225 0.45 0.9 1.35 1.8 KILÓMETROS

DATOS DE PROYECCIÓN

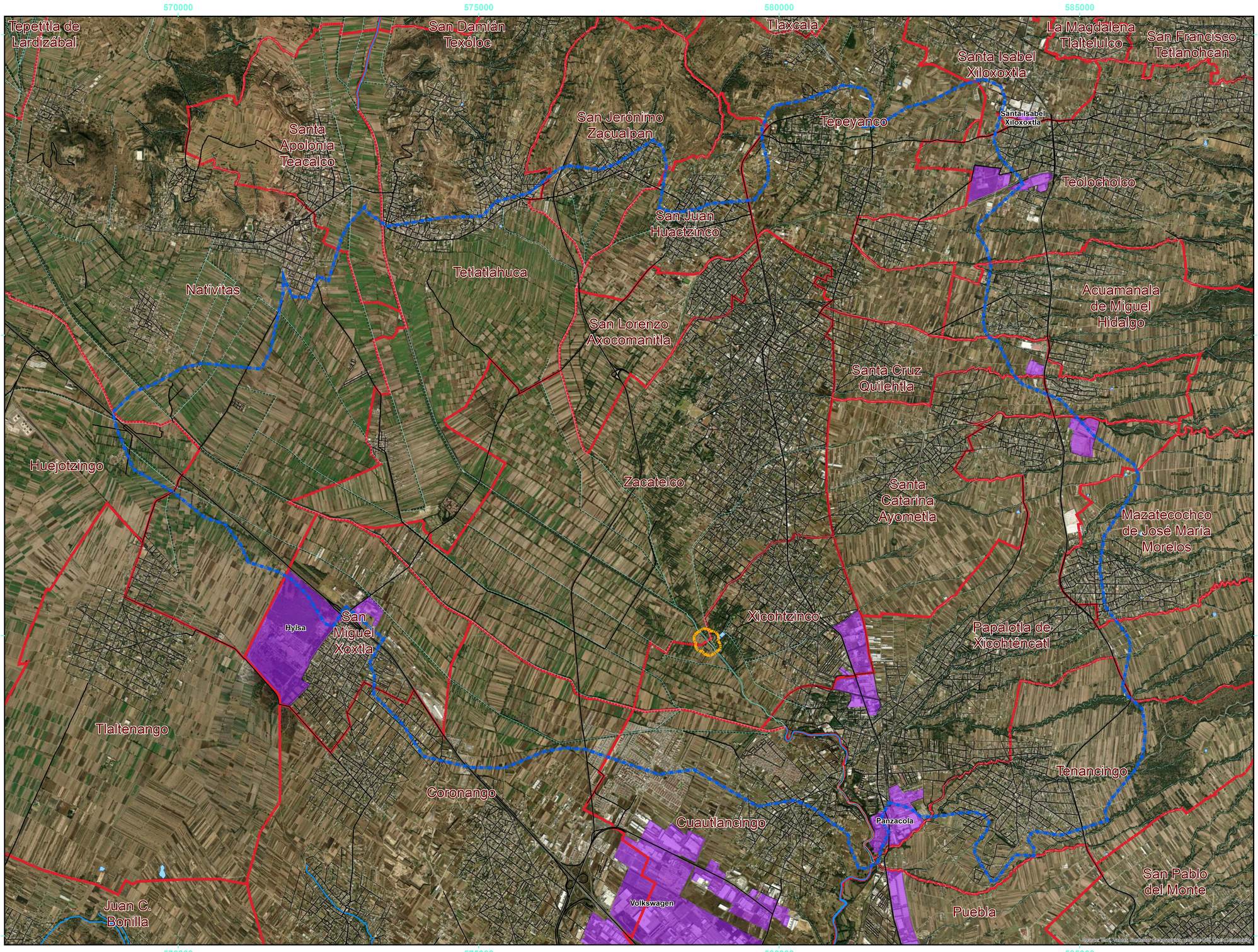
Universal Transversa de Mercator (UTM)
GEOIDE: WGS 84, Zona 14 Norte

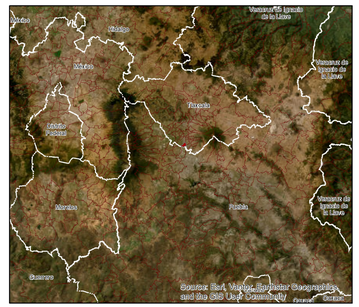
N

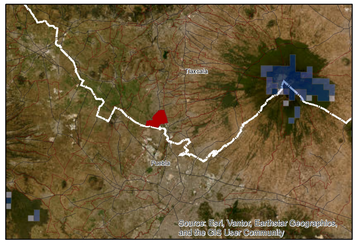
H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

CEMAUR

MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN MODALIDAD PARTICULAR
"PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA, EN SUSTITUCIÓN DEL EXISTENTE"







NOMBRE DEL MAPA:

SITIOS PRIORITARIOS ACUÁTICOS EPICONTINENTALES PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL

- LÍMITE MUNICIPAL
- ZONA INDUSTRIAL
- MANZANAS
- CARRETERAS

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

- INTERMITENTE
- PERENNE
- CANALES
- INTERMITENTE
- PERENNE

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- REGIÓN ECOLÓGICA
- ÁREA DE INFLUENCIA
- SUPERFICIE DE INTERVENCIÓN

SITIOS PRIORITARIOS ACUÁTICOS EPICONTINENTALES PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

- EXTREMA
- ALTA
- MEDIA

ESCALA: 1:30,000

0 0.225 0.45 0.9 1.35 1.8 KILÓMETROS

DATOS DE PROYECCIÓN

Universal Transversa de Mercator (UTM)
GEOIDE: WGS 84, Zona 14 Norte

N

H. AYUNTAMIENTO XICOHTZINCO 2024 - 2027

CEMAUR

CONTRATO: [redacted]

“ESTUDIOS Y PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR "LA TORRECILLA" DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA”

DISEÑO ESTRUCTURAL

6

ROCA SOULT, S.A. DE C.V.

[redacted]

MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURAL

PUENTE VEHICULAR 'LA TORRECILLA' UBICADO EN EL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA

Dirección: CAMINO A DOLORES ENTRE RIO ZAHUAPAN Y BARRANCA DE SANCHEZ, Xicohtzinco, Tlaxcala.

Fecha: diciembre 2025

Clasificación de la estructura

Clasificación de acuerdo al grado de seguridad aconsejable

Tipo B

Se consiodera que la estructura pertenece al tipo B, según corresponde a puentes y estructuras similares ubicados en o sobre carreteras de dos carriles, de los tipos ET2, A2, B2, C y D.

Clasificación de acuerdo al comportamiento sísmico

Tipo 1s

La estructura se considera del grupo 1s, según corresponde a estructuras regulares en las cuales la superestructura está formada por tramos libremente apoyados o continuos de armaduras, losas, losas sobre trabes, vigas de cajón de acero, concreto o mixtas y que cumplen además con los siguientes requisitos:

- ✓ Con menos de seis (6) claros si son continuos.
- ✓ Con eje longitudinal recto o en curvatura reducida.
- ✓ Con esviajamiento menor de (15) grados.
- ✓ Sin cambios bruscos en la rigidez y masa de los elementos sucesivos de la superestructura y subestructura, exceptuando los estribos.
- ✓ Con claro máximo menor o igual que cuarenta (40) metros y ancho de calzada hasta de treinta (30) metros.

DISEÑO DE SUPERESTRUCTURA

DATOS GENERALES

ANCHO TOTAL	9.8	M
ANCHO DE CALZADA	7	M
LONGITUD TOTAL	30	M
CLARO DISEÑO	30	M
ESPESOR DE LOSA	0.2	M
ESPESOR DE CARPETA (DISEÑO)	0.05	M
RECUBRIMIENTO DE LOSA	0.05	M
TRABES	1.35	M
No. DE TRABES:	6	M
SEPARACIÓN ENTRE TRABES	1.66	M
ANCHO PATIN SUPERIOR	0.5	M
VOLADIZOS	0.75	M
ANCHO DE GUARNICIÓN (EXTERIOR)	0.4	M
ANCHO DE GUARNICIÓN (INTERIOR)	0	M
PESO DE PARAPETO EXTERIOR	0.55	TON/M
CONCRETO PARA LOSA	300	kg/cm2
CONCRETO PARA TRABE	400	kg/cm2
MOMENTO CARGA VIVA	IMT 66.5	
CORTANTE CARGA VIVA	IMT 66.5	
ÁREA	0.497	M2
INERCIA	0.10	M4
CENTROIDE	0.61	CM
No. DE TORONES	40.00	
HUMEDAD RELATIVA	70	%
TRANSFERENCIA		
PERDIDAS TOTALES	26.30%	
N/TORÓN	40.00	
TENSIONES	411146	KG
ETAPA INICIAL	425756	KG
ESTAPA SERVICIO TENSIONES	147.62	
ETAPA SERVICIO COMPRESIONES	24.64	

DISEÑO DE LA LOSA

FR	0.9	
fy	4200	[kg/cm2]

Análisis de carga Muerta

		[kg/m^3]			[kg/m^3]		[kg/m]
w_{cm}=	0.20	2400	+	0.12	2200	=	744

M_{cm}= 74.40 [kg*m]

P= 7257 kg, Rige HS-20

$$M_{CV} = 0.8\left(\frac{P}{32}\right)\left(\frac{S}{0.305}+2\right) = 957.69 \text{ kg-m}$$

Coeficiente de impacto según AASHTO es:

I=15.24/(S+38)= 0.30
1.30

MCV+I= 1244.99
Mu= 1847.15 kg-m

Acero de refuerzo principal para momento negativo.

h= 20 As= 3.26 cm2
d= 15 S= 38.98 cm
r= 5

Se colocarán varillas #4 @ 20 cm.
Para momento positivo se considera el mismo valor de Mu.

h= 20 As= 3.91 cm2
d= 12.5 S= 32.49 cm

Se colocarán varillas #4 @ 15 cm.
Como acero de distribución, vs #4 @30 cm. El acero de refuerzo por cambios volumétricos se calcula como sigue:

As= (66000*X1)/(fy*(X1+100) 2.62 cm2/m

Usando barras del #3, As= 0.71 cm2 Se colocarán varillas # 3 @ 20 cm
S=(100*as)/As= 27.11

DISEÑO DE LOSA DE ACCESO

La calzada consiste en una losa de concreto reforz 0.2 m de espesor y un ancho total de 9.8 m., la cual descansa en el sentido longitudinal sobre un cabezal y la mensula.

Carga muerta

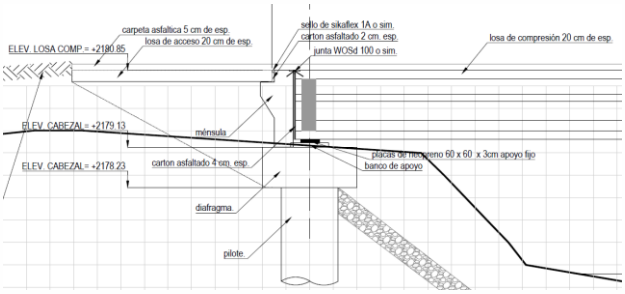
Para el cálculo de la losa, la carga muerta estará constituida poe el peso propio de la losa y el peso de la carpeta asfáltica, considerándo la futura capa de rodamiento.

Análisis de carga

	h	b	g		Ton/m
Peso Propio	0.3	1	2.4	=	0.72
Peso carpeta asfáltica	0.12	1	2.2	=	0.264
			Wcm=		0.984

Cálculo de losa momento flexionantes en losas, se empleará la siguiente longitud:

L; distancia entre ejes L= 3.5 m
L= 350 cm



Momento

Mcm= 1.51 Ton-m

Carga viva

La carga viva consistir[a en el eso de la carga móvil que se prevée transitará por el puente, para el análisis de la losa, la carga móvil que rige para el diseño es la HS-20.

HS-20= 32.67 P20= 7.257

El momento flexionante por metro de ancho de losa se calculará de acuerdo al método propuesto por las Normas (AASHTO)

Mcv= 3.07 Ton-m
Mcv+i= 3.99 Ton-m

Momento de diseño

Momento positivo

MT= 5.49 Ton-m

Diseño a flexión

Las formulas empleadas en el diseño a flexión se basan en la teoria de que los esfuerzos de compresión son reistidos por el concreto, mientras el acero de refuerzo resiste todos los esfuerzos de tensión.

Constantes de diseño:

				Es	2039000 [kg/cm^2]
f'_{C_Losa}=	300 [kg/cm^2]	fs=	1400.00 [kg/cm^2]	Ec	242487 [kg/cm^2]
fc=	120 [kg/cm^2]	n=	8.41	j=	0.86
k=	0.419	K=	21.62	c=	0.22

Revisión del peralte efectivo

d= 15.94 + 4.06 = 20

Cálculo de área de acero

As= 28.62 [cm^2]

Proponiendo varillas del 5 As= 2.85 [cm^2]
Proponiendo varillas del 6 As= 5.07 [cm^2]
Separación entre Varillas

S= 9.96 [cm]
S= 17.72 [cm]

Acero de refuerzo por distribución

El acero de refuerzo por distribución, según al norma AASTHO pare el proyecto de puentes carretetros, se colocará el borde inferior, transversalmente a la dirección del refuerzo principal y está determinado por la siguiente expresión:
% distribución= 121/Raiz(L) máximo 67% donde L= 3.5 [m]

Por lo tanto,
% distribución= 64.68 % <67%

As distribución 18.51 [cm^2]

Proponiendo Varillas de 4 as= 1.27 [cm^2]

S= 7 [cm]

Varillas No. 4 @ 20 cm

Refuerzo por Temperatura

El refuerzo mínimo por temperatura, según las normas AASHTO para el proyecto de puentes carreteros los obtenemos de la siguiente manera.

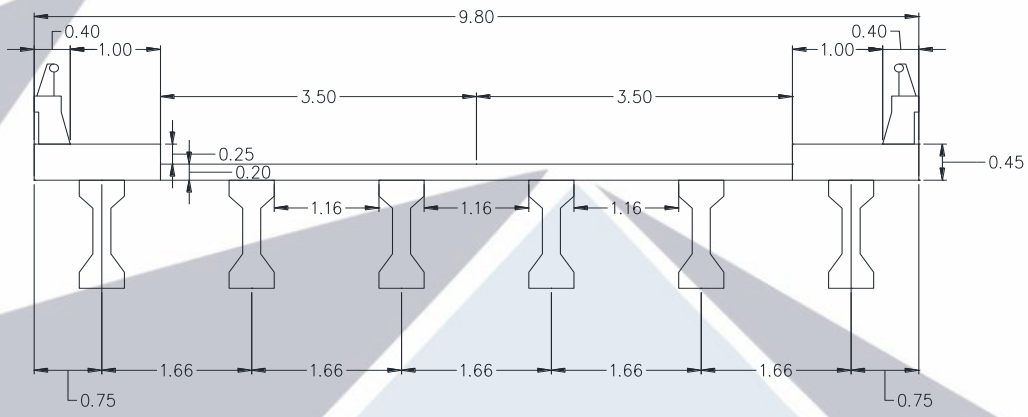
As temp= 0.0025 * b * (3.99 [cm^2]

Proponiendo Varillas de 4 as= 1.27 [cm^2]

S= 32 [cm]

Varillas No. 4 @ 20 cm

DISEÑO DE SUPERESTRUCTURA



DATOS:

TRABE TIPO AASHTO IV 50/135 L (m)= **30**

MATERIALES

Trabe prefabricada

f'_{C_Trabe} [kg/cm^2]=	**400**
E_{C_Trabe}=	280000

Firme de compresión

f'_{C_Losa} [kg/cm^2]=	**300**
E_{C_Losa}=	242487

Acero de presfuerzo

F_{pu} [kg/cm^2]	**19000**
Torones de 1/2" Diam. [mm^2]=	**98.71**

CONDICIONES DE APOYO

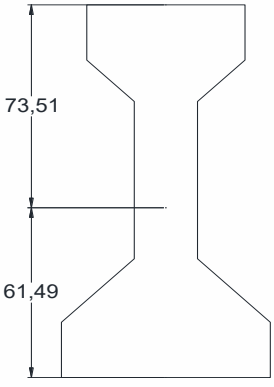
Trabe simplemente Apoyada (Puente)

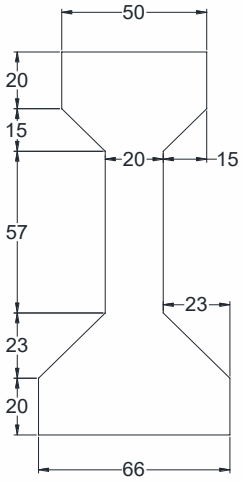


PROPIEDADES GEOMETRICAS

SECCIÓN SIMPLE

HT [cm]	**135**
AREA [cm^2]	**4974**
Y_{ss} [cm]	**74**
Y_{is} [cm]	**61**
I_s [cm^4]	**10261070**
$S_{s\ SS}$ [cm^3]	**139582**
$S_{s\ SI}$ [cm^3]	**166882**





B= 20

B= 66

SECCIÓN COMPUESTA

f'_{C_Losa} [kg/cm^2]=	300
f'_{C_Trabe} [kg/cm^2]=	400

N= raiz(f'_{C_Losa}/f'_{C_Trabe})	0.87
b [cm] =	**166.00**
n*b [cm] =	143.76
h_{Losa} [cm]	**20.00**
A_{Losa}[cm^2]	2875.20
Y firme=	145.00
I firme	95840.14
Afirme*Yf=	416904.63
Asimple*Yis=	305835.84
	722740.47

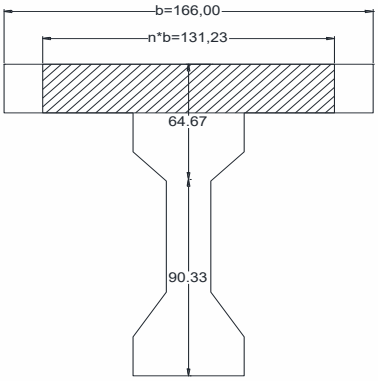


FIGURA	AREA [cm^2]	Yi [cm]	A Yi	Yc-Yi	(Yc-Yi)^2	I [cm^4]	A(Yc-Yi)^2
Simple_1	4974	61	305836	31	936	10261070	4654801
Compuesta_	2875	145	416905	-53	2801	95840	8052639
	7849		722740			10356910	12707440

Ac [cm^2]=	**7849**
Ysc [cm]=	**63**
Yic [cm]=	**92**
I c [cm^4]	**23064350**
Ss Csup [cm^3]	**366556**
Ss Cinf [cm^3]	**250487**

CARGAS

	[m]	[m]	[m^2]	γ [Ton/m^3]	[Ton/m]	[kg/m]
W Peso prop=			0.497	**2.400**	1.194	1193.8
W Losa=	0.20	1.66		**2.400**	0.797	796.8
W Diafragma					0.720	720.0
W asf	**0.05**	1.66		**2.200**	0.183	182.6
W guar	**0.25**	**0.20**		2.400	0.120	120.0
W asf+guar					0.303	302.6
W cv					1.582	1581.5

Factor de Impacto I

Factor de impacto= I= 15.24/(38.1+L)	1.22
Impacto 1 + I (%)	

Factor de Rueda

Factor de Rueda= S / 1.67 =	0.99
S= Separacion de trabes	1.66 [m]

Factor de Carril

Factor de carril= 0.25*(Factor de Rue	0.25
FDC (Método Courbon)	0.50
FDC (AASHTO)	0.50

M cvmax	355.84	[Tonf*m]	V cvmax	54.31	[Tonf]
M cvmax	217.80	[Tonf*m]	V cvmax	33.24	[Tonf]

MOMENTOS

$$f_i = -\frac{P}{A} - \frac{P\,e}{S_{ssi}} + \frac{M_{pp}}{S_{ssi}}$$

$$f_s = -\frac{P}{A} + \frac{P\,e}{S_{sss}} - \frac{M_{pp}}{S_{sss}}$$

	[Tonf*m]	[kg*m]
	134.30	134298
	89.64	89640
	7.20	7200
	20.54	20543
	13.50	13500
M cvmax	**217.80**	**217795**
M1=Mpp+Mlosa	231.14	231138
M2=Mcm+Mcv	251.84	251838

CORTANTES

V=(w*L)/2	[Tonf]	[kg]
V Peso prc	17.91	17906
V Losa	11.95	11952
V Diafragm	0.72	720
V cm	4.54	4539
V guarnicic	1.80	1800
V cvmax	**33.24**	**33241**
V1=Vpp+V	30.58	30578
V2=Vcm+\	39.58	39580
	70.16	

CONDICIONES DE ESFUERZOS

f'_{C_Trabe} [kg/cm^2]= 400

f'ci=0.8*f'c 320 Resistencia del concreto en el momento de la transferencia

Esfuerzos Permisibles en la Transferencia

Fibra Extrema a Compresión = 0.6f'ci	192.00	compresión (-)
Fibra Extrema a Tensión = 0.8 raiz (f'ci)	14.31	tension (+)
Fibra Extrema a Tensión en los extremos de elementos simplemente apoy	28.62	tension (+)

Esfuerzos Permisibles en Servicio

Esfuerzo a la fibra extrema a compresión= 0.45*f'c	180	compresión (-)
Esfuerzo en la fibra exytrema a tensión= 0.6*raiz(f'c)	12	tension (+)
Estos valores pueden excederse con tal que se justifique que el comportamiento estructural del elemento será el correcto, y siempre y cuando el valor a tensión no sea mayor a 3.2*raiz(f'c)	64	tension (+)

CÁLCULO DE TORONES

DATOS

Acero de Presfuerzo

Resistencia especificada de acero de Preesfuerzo Fsr [kg/cm^2]	19000	Esfuerzo de ruptura
Porcentaje de tensado del acero de Preesfuerzo 0.77*F_{pu} [kg/cı	14630	
Módulo de elasticidad del acero de presfuerzo [kg/cm^2]	1960000	
Porcentaje de Pérdidas	0.25	

Transferencia cuando el concreto alcance el 80% de su resistencia

Diámetro 1/2"

Área 0.987 [cm^2]

Acero de Refuerzo

fy	4200	[kg/cm^2]
E	1900000	[kg/cm^2]

Para este caso consideraremos 20% de pérdidastotales 20%

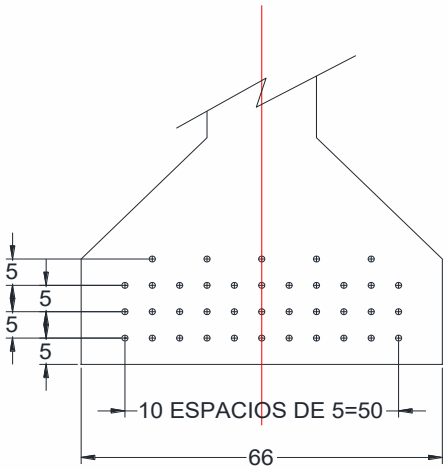
fp*=1.6*raiz(f'c) 32.00 [kg/cm^2]

M1	23113800	[kg*cm]
M2	25183751	[kg*cm]
Ss is	166882.21	[cm^3]
Ss ic	250486.59	[cm^3]
A s	4974.00	[cm^2]
e' propuesta	**11**	[cm]
ess=Yi s - e'=	50.49	[cm]

Fuerza Presforzante inicial P

$$P=\frac{\left(\frac{M_1}{S_{is}}+\frac{M_2}{S_{ic}}-fp^+\right)}{\left(\frac{1}{A_{ss}}+\frac{e}{S_{is}}\right)}$$

P= 411146 [kg]



Número de torones reqeridos

N= 36.54

40.00 PZA

Asp= 39.48 [cm^2]

Se usarán 36 torones de 1/2" en TRES camas de 11 torones y una tercera con 4 torones.

La excentricidas del presfuerzo es:

Cama_1	12	Separación	5	[cm]	5
Cama_2	12	Separación	5	[cm]	10
Cama_3	12	Separación	5	[cm]	15
Cama_4	4.00	Separación	5	[cm]	20

e'=	11.00	[cm]
ess=Yi s - e'	50.49	[cm]
ess=Yi c - e'	81.08	[cm]

CÁLCULO DE PÉRDIDAS

Acortamiento elástico

D AE= Esp/Eci fcgp

Ep= 1960000 [kg/cm^2]

$$E_{ci}=\frac{w^{3/2}\sqrt{f'_{ci}}}{7.3}=$$ 288117 [kg/cm^2]

250440

P=39.484* 14630 = 577651 [kg]

P= 572112 [kg]

Fuerza con pérdida total= 115530.18 [kg]

Pérdidas instantáneas= 46212.074 [kg]

$$f_{cgp}=-\frac{P}{A_{ss}}-\frac{Pe}{I_{ss}}y_{ss}+\frac{M_{pp}y_{ss}}{I_{ss}}$$ 191.06 [kg/cm^2]

NOTA:

De un cálculo preliminar, se estima que las pérdidas por acortamiento elástico y por relajacion instantánea son del orden del 7 por ciento. Por ello, tensaremos los torones a fsp=0.77 fsr 14630 kg/cm2 para que después de la trasferencia el esfuerzo en aquéllos sea menor pero cercano a 0.7fsr, que está por debajo del esfuerzo máximo (0.74fsr) que permiten los reglamentos.

D AE= **1299.74 [kg/cm^2]**
1495.2778

Relajación instantánea

$$\Delta RE_i = \frac{\log(t)}{40}\left(\frac{f_{sp}}{f_{py}} - 0.55\right) f_{sp}$$

La transferencia se efectuará 18 horas después del tensado. El esfuerzo de fluencia de acero de presfuerzo es de
f py = 0.9 * fsr 17100 [kg/cm^2]
Δ REi= **140.29 [kg/cm$^-$]**
35.071355
Que es el 1.0 por ciento de fsr.
El esfuerzo en el torón inmediatamente después de la transferencia será
y después de que han ocurrido las pérdidas iniciales
por acortamiento (6.0 por ciento) y relajación instantanea (0.7 por ciento) es:
f=(0.77-0.076-0.007)fsr=0.7 fsr= 13300
que es menor al esfuerzo permisible.

A continuación se calculan las pérdidas diferidas:

Flujo plástico

$$\Delta FP = 12 f_{cgp} - 7 f_{cds} \geq 0$$

$$f_{cdp} = \frac{M_{losa} e}{I_{ss}} + \frac{M_{CM} e}{I_{ss}}$$ 64.40 [kg/cm^2]

Δ FP= **1841.93 [kg/cm$^-$]**

Contracción
Δ CC= 1193 - 10.5H **458 [kg/cm$^-$]**

Relajación diferida
Δ REd= 0.25 [1408 – 0.4 (DAE) – 0.2 (DCC + DFP)]
Δ REd= **107.03 kg/cm2**

Tabla de resumen de las pérdidas

PERDIDA	ΔF [kg/cm^2]	% fo	% fsr
Acortamiento Elástico	1299.74	8.88%	6.84%
Relajación Instantanea	140.29	0.96%	0.74%
Flujo plástico	1841.93	12.59%	9.69%
Cotracción	458.00	3.13%	2.41%
Relajación diferida	107.03	0.73%	0.56%
	3846.99	26.30%	20.25%

El esfuerzo esfuerzo y la carga final son:

f final= 14630 - 3846.98712204479 = 10783 [kg/cm^2]
P= 0.9871*40*10783.0128779552 425756 [kg]

DISEÑO ELÁSTICO AL CENTRO DEL CLARO

Esfuerzo en la fibra inferior:

$$f_i=-\frac{P}{A_{ss}}-\frac{P\,e}{S_{ssi}}+\frac{M_1}{S_{ssi}}+\frac{M_2}{S_{sci}}\le 1.6\sqrt{f'_c}$$

fi= 24.64 <= 32 [kg/cm^2] **Ok**

que es menor al esfuerzo permisible de 32 kg/cm2. El esfuerzo final en la fibra superior es

$$f_s=-\frac{P}{A_{ss}}+\frac{P\,e}{S_{ssi}}-\frac{M_1}{S_{ssi}}-\frac{M_2}{I_{sc}}(y_{scs}-15)\le 0.45f'c$$

fs= 147.62 <= 180 [kg/cm^2] **Ok**

que es menor al esfuerzo permisible de 180 kg/cm2.

REVISIÓN A LA RUPTURA

Los momentos de servicio y último son, respectiva Ms=M1 + M2

Ms=	23113800	+	25183751	=	48297551 [kg*cm]
Mu=1.4 Ms=				=	67616572 [kg*cm]
				=	676.17 [Tonf*m]

$$f_{sp}=f_{sr}\left[1-0.5\frac{P_p\times f_{sr}}{f''_c}\right]$$

$$P_p=\frac{A_{sp}}{bd}=$$ 0.0019073

d= 144.00
dsp= 138.62 [cm] 134
fsp= 17312.41 [kg/cm^2]

$$a=\frac{A_{sp}\times f_{sp}}{b\times f''_c}=$$ 23.31 [cm]

El peralte del bloque de compresión es mayor que el espesor de la losa. Por ello, toda la fuerza de compresión está aplicada en el patin de la seccion.

MOMENTO RESISTENTE

C1 = h_{Losa} * b * F"c losa = 586542 [kg]
C1=Asp1 * fsp
Asp1 = C1/fsp 33.88 [cm^2]
Asp2 = Asp-Asp1 5.60 [cm^2]

Se proponen 2 Vars# 4c
fy $_{Refuerzo}$ 4200 [kg/cm^2]
Asr= 2.54 [cm^2]
T1 586542 [kg]
T2=C2
T2 107690 [kg]
a **22.75** [cm]
M_R **79262019** [kg*cm]

M_R 793 [Tonf*m]

M_R>=Mu **Ok**

CORTANTE

b 20 [cm]

d 138.71 [cm]

bd= 2794.11 [cm]

$V_{CRmax} = 1.3 F_R bd \sqrt{f_c^*}$ 51981.91 [kg] fc*=0.8*f'c

$V_{CRmin} = 0.5 F_R bd \sqrt{f_c^*} =$ 19993.04 [kg]

p= 0.014

$$V_{CR} = F_R bd \left[0.15 \sqrt{f^* c} + 50 \frac{V}{M} d_{sp} \right]$$

w= 4057.27 kg/m

M 60859.07 x - 4057.27 $x^2/2$

V 60859.07 - 4057.27 x

Distancia [m]	M [kg-cm]	V [kg]	V*d/M	VU [kg]	Vcr [kg]	0.7*0.7*Vcr	Vs=Vu-Vcr	S [cm]	Se usaran est #3@
1.50	8672417	54773	0.876	76682	51982	25471	51211	12.92	10
7.50	34233225	30430	0.123	42601	19993	9797	32805	20.16	17.5
10.00	40572711	20286	0.069	28401	19993	9797	18604	35.55	30
11.00	42398483	16229	0.053	22721	19993	9797	12924	51.18	30

REVISIÓN POR ACERO MÍNIMO

Se debe garantizar que MR > 1.2 Mag

Magr= M1 + M2

$$M_2 = \left[2\sqrt{f c} - \frac{M_1}{S_{iss}} + \frac{P_f \times e}{S_{iss}} + \frac{P_f}{A} \right] S_{isc}$$

M1= 23113800 KG-CM

M2 29030616.8 KG-CM

Magr= 52144416.8 KG-CM

MR > 1.2*Magr= 62573300 KG-CM OK

ESFUERZOS EN LA TRANSFERENCIA Y ENCAMISADOS

Se consideran las cargas por peso pr Wpp= 1193.76 kg/m
y las de presfuerzo con pérdidas instantáneas:

$$f_i = -\frac{P}{A} - \frac{P\,e}{S_{ssi}} + \frac{M_{pp}}{S_{ssi}} \qquad f_s = -\frac{P}{A} + \frac{P\,e}{S_{sss}} - \frac{M_{pp}}{S_{sss}}$$

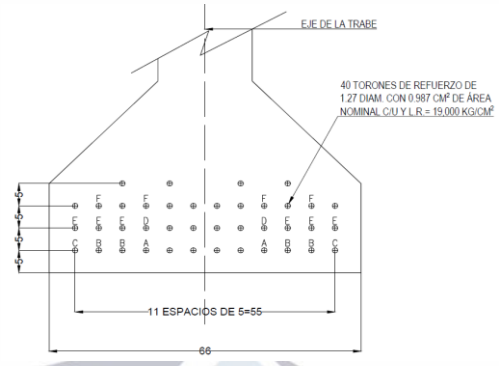
Los esfuerzos permisibles son:
f-perm=0.6*f'ci= -192 kg/cm2

f+perm=raiz(f'ci) 17.89 kg/cm2

Revisión al centro del claro, x= **15** m
Mpp= 13429800 kg-cm
Pi= 0.7*40*0.987*19000 525137.2 kg

fi= -183.97 kg/cm2
fs= -53.35 kg/cm2
Tabla de encamisados

x (m)	Torones sin encamisar	Torones a encamisar	Toron tipo	Mpp	Pi	e [cm]	Asp a encamisa	fi	fs
15.00	40	0		13429800	525137	50		-183.97	-53.35
9.00	38	2	A	11281032	498880	50	1.97	-183.63	-44.78
6.00	34	4	B	8595072	446367	50	3.95	-173.28	-34.09
4.00	32	2	C	6207552	420110	50	1.97	-174.36	-24.57
2.00	30	2	D	3342528	393853	50	1.97	-178.31	-13.14
1.00	24	6	E	1730952	315082	50	5.92	-148.30	-6.75
0.50	20	4	F	880398	262569	50	3.95	-126.95	-3.38
		20							



REVISIÓN DE DEFLEXIONES

Las deflexiones deberán ser menores que la permisible:

Δ perm=L/240+0.5 13 [cm]

Contraflecha

Δ presf= -10.38 [cm]

Δpp= 4.38 [cm]

ΔC -6.00 [cm] que es menor que la permisible

Flecha final

$$\Delta T = -\Delta_{pe} - \frac{\Delta_{pi} + \Delta_{pe}}{2} C_u + (\Delta_{pp} + \Delta_{CM})(1 + C_u) + \Delta_{CV}$$

Δpe= -3.74 [cm] Δpi= -4.62 [cm]

Δpp= 4.38 [cm]

Δ CM=Δ LOSA + Δ asf + Δ guarn

Δ losa= 2.92 [cm] Δ a-g= 0.49 [cm]

Δ CM= 3.42 [cm] Δ cv= 2.58 [cm]

Δ T= 3.45 [cm] Menor al permisible

CORTANTE HORIZONTAL

Vh= Vu/FR bv d

x= 1.50

Vu= 76682.42 [kg]

Vh= 3.92 [kg/cm^2] es menor que el esfuerzo permisible de 25 kg/cm2 especificado cuando existen anclajes y la superficie es rugosa.

ANÁLISIS Y DISEÑO DE DIAFRAGMA

Se diseña para que sopote su propio peso, losa, carpeta asfalticca, así como contracciones de los camiones que estén directamente sobre el.

Compresión en flexión:

Losa: 0.45 * f'c 135 [kg/cm^2]

Viga: 0.40 * f'c 160 [kg/cm^2]

Tensión diagonal en viga

TDT= 1.33*raiz(f'c) 15.453204 [kg/cm^2]

Tensión del acero

Losa:0.5 * fy	2000	[kg/cm^2]
Viga:0.5 * fy	2000	[kg/cm^2]

Constantes de Cálculo

Es	2100000	[kg/cm^2]	Fc	100
Ec	221359	[kg/cm^2]		
n=	9.49			
k=	0.32173116		K=	14.361376
j=	0.89275628		c=	0.2638773

Dimensiones

Espesor:	30.00	[cm]	S=	1.66 [m]
A total=	1.56	[m^2]		

Peso Propio	112399.2	kg/pza

CARGA MUERTA	w [kg/m]
Peso trabe	1193.76
Losa	796.80
Asfalto	182.60
TOTAL	2173.16

CARGA VIVA

HS-20	7257

DETERMINACION DE MOMENTOS

	[kg-m]
Mcm	748.54
Mcv	3011.66
Mcv+I	3915.15

DETERMINACION DE CORTANETS

	[kg]
Vcm=	1803.72
Vcv=	3628.50

Esfuerzos permisibles en el acero (fs)

fs=	1599.77	[kg/cm^2]

Cálculo del Peralte necesario

d=	32.90	[cm]	Se acepta ya que es menor a 166cm

Refuerzo por flexion

As=	1.97	[cm^2]

Se colocarán 2 Varillas del No. 6, As= 5.70 cm2

Revisión por cortante

Vu 11340.6552 [kg]

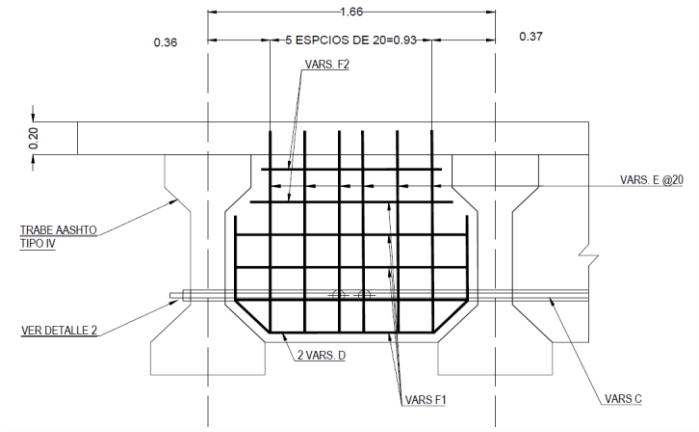
utilizando estribos del No. 4 en dos ramas as= 2.54 cm2

S= 53.53 [cm] Se colocarán a cada 15 [cm]

Refuerzo por temperatura

Astemp 7.938 [cm^2]

Utilizando Varillas del No. 4 @ 20 cm



Clasificación de la estructura

Clasificación de acuerdo al grado de seguridad aconsejable

Tipo B

Se consiodera que la estructura pertenece al tipo B, según corresponde a puentes y estructuras similares ubicados en o sobre carreteras de dos carriles, de los tipos ET2, A2, B2, C y D.

Clasificación de acuerdo al comportamiento sísmico

Tipo 1s

La estructura se considera del grupo 1s, según corresponde a estructuras regulares en las cuales la superestructura está formada por tramos libremente apoyados o continuos de armaduras, losas, losas sobre trabes, vigas de cajón de acero, concreto o mixtas y que cumplen además con los siguientes requisitos:

- P Con menos de seis (6) claros si son continuos.
- P Con eje longitudinal recto o en curvatura reducida.
- P Con esviajamiento menor de (15) grados.
- P Sin cambios bruscos en la rigidez y masa de los elementos sucesivos de la superestructura y subestructura, exceptuando los estribos.
- P Con claro máximo menor o igual que cuarenta (40) metros y ancho de calzada hasta de treinta (30) metros.

Tipos de suelo

Suelos tipo II

El suelo del sitio pertenece al tipo II, según son suelos cuyo estrato superior está forado por arcillas semirígidas, con o sin lentes de arena, o por otros suelos friccionantes, en un espesor igual o mayor de nueve (9) metros, sobreyaciendo a un estrato constituido por suelos rígidos y estables, o rocas de cualquier naturaleza, con un espesor no menor de sesenta (60) metros.

Determinación de las cargas por sismo

Método simplificado

Este método es aplicable a estructuras que, según su comportamiento sísmico, son el Tipo 1s. El análisis se realiza en dos direcciones ortogonales horizontales, considerando para cada una de ellas el efecto de una fuerza horizontal equivalente (S) independiente, aplicada en el centro de gravedad de la estructura y sus efectos se combinan como se indica adelante. Dicha fuerza horizontal se determina mediante la siguiente exporesión:

$$S = \frac{c}{Q} W$$

S = Fuerza horizontal equivalente
c = Ordenada máxima del espectro sísmico
Q= Factor de comportamiento sísmico
W = Peso de la estructura

La relación c/Q no debe ser menor que la ordenada al origen del espectro sísmico correspondiente (a_0).

Zona sísmica	Tipo de suelo	a_o	c	T_a (s)	T_b (s)	r
A	I	0,02	0,08	0,2	0,6	½
	II	0,04	0,16	0,3	1,5	⅔
	III	0,05	0,20	0,6	2,9	1
B	I	0,04	0,14	0,2	0,6	½
	II	0,08	0,30	0,3	1,5	⅔
	III	0,10	0,36	0,6	2,9	1
C	I	0,09	0,36	0.2	0,6	½
	II	0,13	0,50	0.3	1,4	⅔
	III	0,16	0,64	0.6	1,9	1
D	I	0,13	0,50	0.2	0,6	½
	II	0,17	0,68	0.3	1,2	⅔
	III	0,21	0,86	0.6	1,7	1
E	I	0,04	0,16	0,2	0,6	½
	II	0,08	0,32	0,3	1,5	⅔
	III	0,10	0,40	0,6	3,9	1

El factor de comportamiento sísmico (Q), por el que se toma en cuenta la ductilidad de la estructura, se puede obtener de estudios experimentales para estructuras con características similares a la de proyecto, previamente aprobados por la Secretaría. A falta de esos estudios se pueden emplear los valores que se indican en la siguiente tabla, de acuerdo con las características de la estructura por proyectar y segúin las fuerzas por determinar.

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA	Q
• Estructuras cuya superestructura forma un marco dúctil* con los elementos de la subestructura, ya sean de concreto reforzado, presforzado o acero estructural. • Para el cálculo de fuerzas transmitidas por la superestructura a la subestructura, cuando la primera se apoya libremente en dispositivos de neopreno. • Para el cálculo de fuerzas generadas por la subestructura en elementos formados por marcos dúctiles.	4
• Estructuras en las que la fuerza sísmica es resistida por una sola columna o pila continua con el tablero de la superestructura. • Para el cálculo de fuerzas transmitidas por la superestructura a la subestructura, si los dispositivos de apoyo ya no existen o son de otro tipo diferente al neopreno. • Para el cálculo de fuerzas generadas por la subestructura en elementos tipo muro o en columnas aisladas de concreto reforzado.	2
• Para el cálculo de fuerzas generadas por la subestructura en elementos de mampostería.	1

* Un marco se considera dúctil cuando se cumplen los requisitos de dimensiones y detalles de diseño que, para tal efecto, se incluyen en las Normas de los Títulos 03. *Diseño de Estructuras de Concreto* y 04. *Diseño de Estructuras de Acero*, de la Parte 6 *Proyectos de Nuevos Puentes y Estructuras Similares*, del Libro PRY. *Proyecto*, del Tema CAR. *Carreteras*.

En este caso, las fuerzas serán transmitidas de la superestructura a la subestructura, siendo que la primera se apoyará libremente en dispositivos de neopreno, por lo que se considerará un factor de comportamiento sísmico:

Q = 4

Considerando que en la última actualización del Manual de Obras Civiles de CFE se considera que la zona en la que se lleva a cabo el proyecto es clasificada como zona sísmica C y que de acuerdo con el estudio de mecánica de suelos, este es de Tipo II, se considerará un coeficiente sísmico:

c = 0.5

La relación c/Q no debe ser menor que la ordenada al origen del espectro sísmico correspondiente (a0).

De este modo, la fuerza horizontal equivalente en este análisis es:
S = 0.13 W

Combinación de efectos sísmicos

Los efectos sísmicos calculados, suponiendo que cada fuerza equivalente actúa en la respectiva dirección de cada uno de dos ejes ortogonales de la estructura, se combinan para evaluar el efecto total, de la manera siguiente:

$$S_t = S_x + 0.3S_y$$
$$S_t = S_y + 0.3S_x$$

St = Efecto sísmico de diseño
Sx = Efecto sísmico considerando que el sismo actúa únicamente en la dirección X, ortogonal a Y.
Sy = Efecto sísmico considerando que el sismo actúa unicamente en la dirección Y, ortogonal a X.

Los efectos sísmicos totales se combinan con los efectos de otras cargas, conforme se indica en la Norma N-PRY-CAR-6-01-006, Combinaciones de Cargas.

Diseño de estructuras de un solo claro

De acuerdo con la N-PRY-CAR-6-01-005/01, para estructuras de un solo claro, del Tipo 1s, no se requiere el análisis sísimico detallado por el método simplificado o por el método cuasidinámico. Únicamente se revisa que las conexiones entre la superestructura y los estribos sean capaces de resistir, en las dos direcciones ortogonales horizontales, una fuerza equivalente igual al producto del peso tributario por el coeficiente a_0 correspondiente a la zona sísmica, al tipo de suelo y a la importancia de la estructura. También se revisa que se cumplan los requisitos de longitudes de apoyo que se indican en la misma Norma y que se calculan a continuación.

Longitudes de apoyo

En las juntas de expansión de todos los tramos de superestructura se disponen las longitudes mínimas de apoyo (LA) medidas normalmente al paramento de la pila, del estribo o de la ménsula, y determinadas con las siguientes expresiones:

Para estructuras Tipo A o B , en las zonas sísmicas C, D o E, y en cualquier zona:

$$LA = (30 + 0.25L + H)(1 + 0.000125\alpha^2)$$

LA = Longitud mínima de apoyo, (cm)
L = Longitud de la superestructura desde la junta de expansión considerada hasta la junta siguiente más próxima, (m).
H = Altura promedio de las columnas de la subestructura contenidas dentro de la longitud L, para el caso de estribos. En el caso de puente de un solo claro H=0.
a = Ángulo de esviajamiento, (grados).

$$LA = (30 + 0.25(30) + 0)(1 + 0.000125(0)^2)$$

LA = 37.5 cm

Descargas en los apoyos

A partir del análisis y bajada de cargas, se calcularon las descargas de cada trabe en sus apoyos, las cuales son:

	Momento Ton-m	Descarga Ton
Peso propio	134.30	17.91
Losa	89.64	11.95
Diafragma	7.20	0.72
Asfalto	49.30	6.57
Guarnición	0.00	0.00
CV máxima	217.80	33.24
M1 = Mpp+Mlosa	231.14	30.58
M2=Mcm+Mcv	267.10	39.81
Wpuente		70.39

De este modo:

CM = 37.15 ton

Cvmáx= 33.24 ton

Conexiones entre la superestructura y el caballete

Dispositivo de apoyo de elastómero reforzado con acero para un apoyo fijo

Datos

Carga muerta (CM)	37.15	ton
Carga viva (CV)	33.24	ton
Ancho de viga (b)	0.66	m
Rotación Máxima (q)	0.0075	rad
Módulo de cortante de elastómero (G)	12	kg/cm^2
Fy de placas	2531	kg/cm^2

a) Cálculo del área del elastómero

CT = CM+CV = 70,389 kg

Esfuerzo de compresión por carga total de servicio en apoyos fijos:

$s_s \leq 1.25GSi \leq 1.25$ ksi 1 ksi = 70.3 kg/cm2

$s_s \leq 1.25GSi \leq 87.9$ kg/cm2

Arequerida = 801 cm2

W = 40 cm

L = 20.0 cm

Adaptamos para L = **25.0** **cm**

Área = 1000 cm2 ≥ 801 cm2 **OK**

b) Factor de forma S mínimo

Con carga total

s_s ≤ 1.25GSi ≤ 1.25 ksi

s_s = 70.4 kg/cm2

S_T = 4.69

Con carga viva

s_L ≤ 1.25GSi

s_L = 33.2 kg/cm2

S_T = 2.22

Tomamos S_T = 4.69

c) Grosor de una capa interior del elastómero hri:

Como

$$S_i = \frac{LW}{2h_{ri}(L+W)} \quad \rightarrow \quad h_{ri} = \frac{LW}{2S_i(L+W)}$$

Para carga total

hri = 1.64 cm

Para carga viva

hri = 3.47 cm

El menor valor es: hri = 1.64 cm

Adaptamos el valor para hri: hri = **1.50** **cm**

Verificamos S:

S = **5.13** ≥ 4.69 **OK**

d) Número de capas interiores de elastómero (n):

$$\sigma_s \geq G\,S\left(\frac{L}{h_{ri}}\right)^2\left(\frac{\theta_{s,x}}{n}\right) \quad \rightarrow \quad n \geq \left(\frac{G\,S\,\theta_{s,x}}{\sigma_s}\right)\left(\frac{L}{h_{ri}}\right)^2$$

$$\sigma_s \geq 1.875\,G\,S\left(1-0.20\left(\frac{\theta}{n}\right)\left(\frac{L}{h_{ri}}\right)^2\right) \quad \rightarrow \quad n \geq -0.20\theta\frac{\left(\frac{L}{h_{ri}}\right)^2}{\left(\frac{\sigma_s}{1.875\,G\,S}-1\right)}$$

n ≥ 1.82 n ≥ 1.07

Adoptamos el mayor entero de n: n = **2** capas interiores de elastómero

Usaremos	**2**	capas interiores de	**15.0**	mm c/u
	2	capas exteriores de	**7.5**	mm c/u

Tendremos: hrt = **45** mm de elastómero

e) Cálculo de placas de refuerzo en el elastómero

En el estado límite de servicio

$$h_s \geq \frac{3h_{ri}\sigma_s}{F_y}$$

ΔF_{TH} umbral de fatiga de amplitud constante para categoría A, (kg/cm2)
h_{ri} grosor de capa elastomérica interna (cm)
σ_L esfuerzo compresivo promedio en el estado límite de servicio (factor de carga = 1.0) debido a la carga viva (kg/cm2)
σ_s = esfuerzo compresivo promedio debido a la carga total de las combinaciones de carga de servicio aplicables en la Tabla 3.4.1-1 (kg/cm2)
F y = resistencia a la fluencia del refuerzo de acero (kg/cm2)

hs = 0.125 cm

En el estado límite de fatiga

$$h_s \geq \frac{2h_{ri}\sigma_L}{\Delta F_{TH}}$$

hs = 0.059 cm

El mayor valor es: hs = 0.13 cm

Adaptamos hs como: hs = **3** **mm**

Usaremos **3** placas de **3** mm

El espesor total del apoyo será:

H = **55** **mm**

f) Estabilidad del elastómero

Los cojinetes deberán ser investigados por inestabilidad en las combinaciones de carga del estado límite de servicio especificadas en la Tabla 3.4.1-1. Los cojinetes que satisfacen la siguiente desigualdad se considerarán estables, y no se requiere ninguna investigación adicional de estabilidad.

G = módulo de corte del elastómero
h_{rt} = grosor total del elastómero
L = dimensión del plano del cojinete perpendicular al eje de rotación bajo consideración (generalmente paralelo al eje longitudinal global del puente)
S_i = factor de forma de la i-ésima capa interna de un cojinete elastomérico
W = dimensión del plano del cojinete paralela al eje de rotación bajo consideración (generalmente paralelo al eje transversal global del puente)

Para un cojinete rectangular donde L es mayor que W, la estabilidad se investigará intercambiando L y W en las Ec. Para el cálculod e A y B.

En este caso, L = 25 es menor que W = 40

A =	0.230	cm	B =	0.324	cm
2A =	0.46	≥	0.32	= B	

Para cojinetes rectangulares que no satisfacen la desigualdad requerida, el esfuerzo debido a la carga total deberá satisfacer las siguientes expresiónes. Un límite negativo o infinito en la expresión indica que el rodamiento es estable y no depende de σ_s.

s_S = 70.4 kg/cm2 ≥ -658

Si A-B ≤ 0 El apoyo es estable y no depende de s_s:

A - B = -0.09 Por lo tanto, el apoyo es estable y no depende de s_s

Para asegurar la estabilidad, el grosor total del no deberá exceder el menor de L/3, W/3, o D/4

donde:

L = dimensión en planta del soporte perpendicular al eje de rotación bajo consideración (generalmente paralelo al eje longitudinal global del puente) (pulg.)

n = número de capas interiores de elastómero, donde las capas interiores se definen como aquellas capas que están unidas en cada cara. Las capas exteriores se definen como aquellas capas que están unidas solo en una cara. Cuando el grosor de la capa exterior de elastómero es más de la mitad del grosor de una capa interior, el parámetro n puede ser incrementado en una mitad por cada capa exterior de este tipo.

W = dimensión en planta del soporte paralelo al eje de rotación bajo consideración (generalmente paralelo al eje transversal global del puente) (pulg.)

D = diámetro de la almohadilla (pulg.)

hrt =	5.5	cm	**OK**
L/3 =	8.3	cm	
W/3 =	13.3	cm	

g) Revisión de la deflexión ante la compresión

Las deflexiones de los apoyos elastoméricos debidas a la carga muerta y a la carga viva instantánea únicamente se considerarán por separado.

Las cargas consideradas en este artículo se aplicarán en el estado límite de servicio con todos los factores de carga iguales a 1.0.

La deflexión por carga viva instantánea se considerará como:

$$\delta_L = \sum \varepsilon_{Li} h_{ri}$$

donde:

e_{Li} = deformación compresiva instantánea por carga viva en la i-ésima capa de elastómero
h_{ri} = espesor de la i-ésima capa elastomérica

La deflexión inicial por carga muerta se tomará como:

$$\delta_d = \sum \varepsilon_{di} h_{ri}$$

donde:

e_{di} = deformación compresiva de carga muerta inicial en la i-ésima capa de elastómero
h_{ri} = espesor de la i-ésima capa elastomérica

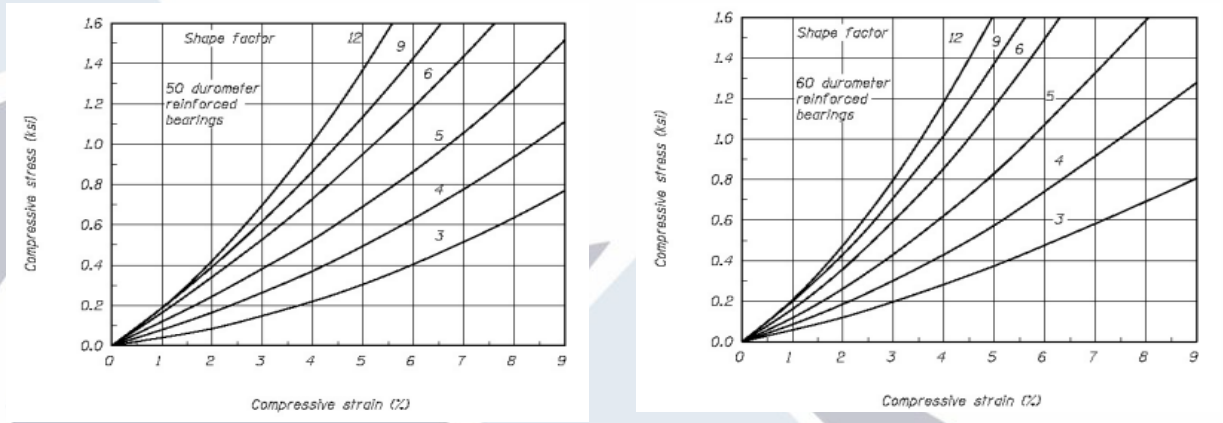
La deflexión por carga muerta a largo plazo, incluidos los efectos de la fluencia, se considerará como:

$$\delta_{lt} = \delta_d + a_{cr}\delta_d$$

donde:

acr = deflexión por fluencia dividida por la carga muerta inicial

Los apoyos elastoméricos laminados presentan una curva de carga-deflexión no lineal en compresión. En ausencia de información específica sobre el elastómero a utilizar, se puede utilizar la siguiente ecuación o figura como guía aproximada para calcular las deformaciones por compresión por carga muerta y carga viva para las dos primeras ecuaciones ya mencionadas. Cabe señalar que a medida que los factores de forma aumentan (superiores a ≈6), la correlación de los resultados entre la ecuación y la figura divergen.



Curvas esfuerzo-deformación

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{4.8GS^2}$$

La deflexión por compresión bajo carga viva instantánea y carga muerta inicial de un PEP o una capa interna de un apoyo elastomérico reforzado con acero en el estado límite de servicio sin impacto no debe superar 0,09 hri, donde hri es el espesor de un PEP o el espesor de una capa interna de un apoyo elastomérico reforzado con acero.

La deformación por carga viva instantánea es:

$$\varepsilon_{Li} = \frac{\sigma_{Li}}{4.8GS^2} \quad = \quad 0.021944254$$

La deflexión por carga viva instantánea es:

$$\delta_L = \sum \varepsilon_{Li} h_{ri} \quad = \quad 0.658 \text{ mm} \quad \leq \quad 0.09 \text{ hri}$$

0.658 mm ≤ 1.35 mm **OK**

La deformación inicial por carga muerta es:

$$\varepsilon_{di} = \frac{\sigma_{di}}{4.8GS^2} \quad = \quad 0.025$$

La deflexión inicial por carga muerta es:

$$\delta_d = \sum \varepsilon_{di} h_{ri} \quad = \quad 0.736 \text{ mm} \quad \leq \quad 0.09 \text{ hri}$$

0.736 mm ≤ 1.35 mm **OK**

Correlación de propiedades de los materiales

	Hardness (Shore A)		
	50	60	70 [1]
Shear Modulus @ 73°F (ksi)	0.095–0.130	0.130–0.200	0.200–0.300
Creep deflection @ 25 yr divided by initial deflection	0.25	0.35	0.45

La deflexión por carga muerta a largo plazo, incluidos los efectos de la fluencia, es:

Para una dureza en la escala Shore A de 60

acr = 0.35

$$\delta_{lt} = \delta_d + a_{cr}\delta_d \quad = \quad 0.99 \text{ mm}$$

h) Revisión por combinación de compresión, rotación y cortante

Las combinaciones de carga axial, rotación y cortante en el estado límite de servicio deberán satisfacer:

Revisión de la resistencia en las dos direcciones ortogonales

Como se mencionó anteriormente, de acuerdo con la N-PRY-CAR-6-01-005/01, se simplifica la fuerza sísmica a una fuerza estática horizontal:

$$F_h = a_0\, W_{trib}$$

donde:

a0 = Aceleración máxima del terreno (ordenada al origen del espectro, T =0)
Wtrib = Peso de la superestructura tributario al apoyo

a0 =	0.13	
Wtrib =	37.15	ton
Fh =	4.83	ton

Calulamos la fuerza resistente por fricción (Ff):

$$F_f = \mu P_{mín}$$

donde:

μ =	0.2	para concreto-neopreno
P mín =	37.15	ton
Ff =	7.43	ton

Fh = 4.83 < 7.43 = Ff **OK**

Dispositivo de apoyo de elastómero reforzado con acero para un apoyo expansivo

Datos

Carga muerta (CM)	37.15	Ton
Carga viva (CV)	33.24	Ton
Ancho de viga (b)	0.66	m
Rotación Máxima (q)	0.0075	rad
Módulo de cortante de elastómero (G)	12	kg/cm^2
Fy de placas	2531	kg/cm^2

a) Cálculo del área del elastómero

CT = CM+CV = 70,389 kg

Esfuerzo de compresión por carga total de servicio en apoyos fijos:

$s_s \leq 1.25GSi \leq 1.25$ ksi 1 ksi = 70.3 kg/cm2

$s_s \leq 1.25GSi \leq 87.9$ kg/cm2

Arequerida =	801	cm2
W =	40	cm
L =	20	cm

Adaptamos para L = **25** **cm**

Área = 1000 cm2 ≥ 801 cm2 **OK**

b) Factor de forma S mínimo

Con carga total

s_s	≤	1.25GSi	≤	1.25	ksi

s_s = 70.4 kg/cm2

S_T = 4.69

Con carga viva

s_L	≤	1.25GSi

s_L = 33.2 kg/cm2

S_T = 2.22

Tomamos S_T = 4.69

c) Grosor de una capa interior del elastómero hri:

Como

$$S_i = \frac{LW}{2h_{ri}(L+W)} \quad \rightarrow \quad h_{ri} = \frac{LW}{2S_i(L+W)}$$

Para carga total

hri = 1.64 cm

Para carga viva

hri = 3.47 cm

El menor valor es: hri = 1.64 cm

Adaptamos el valor para hri: hri = **1.50** **cm**

Verificamos S:

S = **5.13** ≥ 4.69 **OK**

d) Número de capas interiores de elastómero (n):

$$\sigma_s \geq G\,S\left(\frac{L}{h_{ri}}\right)^2\left(\frac{\theta_{s,x}}{n}\right) \quad \rightarrow \quad n \geq \left(\frac{G\,S\,\theta_{s,x}}{\sigma_s}\right)\left(\frac{L}{h_{ri}}\right)^2$$

$$\sigma_s \geq 1.875\ G\ S\left(1 - 0.20\left(\frac{\theta}{n}\right)\left(\frac{L}{h_{ri}}\right)^2\right) \quad \rightarrow \quad n \geq -0.20\theta\frac{\left(\frac{L}{h_{ri}}\right)^2}{\left(\frac{\sigma_s}{1.875\ G\ S} - 1\right)}$$

n ≥ 1.82

n ≥ 1.07

Adoptamos el mayor entero de n: n = **3** capas interiores de elastómero

Usaremos **3** capas interiores de **15.0** mm c/u
2 capas exteriores de **7.5** mm c/u

Tendremos: hrt = **60** mm de elastómero

e) Revisión de deformación por cortante

El apoyo deberá cumplir:

$$h_{rt} \geq 2\Delta_S \quad | \rightarrow \quad \Delta_S \leq 0.5\ h_{rt}$$

hrt = espesor total del elastómero

Δ_S = deformación cortante total máxima del elastómero a partir de las combinaciones de carga de servicio aplicables

$$\Delta_S = \Delta_{Temp} + \Delta_{Fraguado} + \Delta_{Flujo}$$

Δ_{Temp} = Dilatación/Contracción térmica

$\Delta_{Fraguado}$ = Contracción por fraguado

Δ_{Flujo} = Acortamiento por flujo plástico

$$\Delta_{Temp} = \alpha * L * \Delta T$$

a = Coeficiente de expansión térmica. Para Concreto (Trabes AASHTO): 10.8x10^-6 (Según AASHTO 5.4.2.2)

L= Longitud tributaria de expansión

Δ_T = Rango de Temperatura

L= 30 m

Δ_T = 25 °

Δ_{Temp} = 8.1 mm

$$\Delta_{Fraguado} \approx 0.00025 * L$$

$\Delta_{Fraguado}$ = 7.5 mm

Δ_{Flujo} = 9.0 mm

Δ_S = 24.6 mm → $2\Delta_S$ = 49.2 mm

Δ_S = 24.6 mm ≤ 30 mm = 0.5 hrt **OK**

f) Cálculo de placas de refuerzo en el elastómero

En el estado límite de servicio

$$h_s \geq \frac{3h_{ri}\sigma_s}{F_y}$$

Δ F_{TH} umbral de fatiga de amplitud constante para categoría A, (kg/cm2)

h_{ri} grosor de capa elastomérica interna (cm)

σ_L esfuerzo compresivo promedio en el estado límite de servicio (factor de carga = 1.0) debido a la carga viva (kg/cm2)

σ_s = esfuerzo compresivo promedio debido a la carga total de las combinaciones de carga de servicio aplicables en la Tabla 3.4.1-1 (kg/cm2)

F y = resistencia a la fluencia del refuerzo de acero (kg/cm2)

hs = 0.125 cm

En el estado límite de fatiga

$$h_s \geq \frac{2h_{ri}\sigma_L}{\Delta F_{TH}}$$

hs = 0.059 cm

El mayor valor es: hs = 0.13 cm

Adaptamos hs como: hs = **3** **mm**

Usaremos **4** placas de **3** mm

El espesor total del apoyo será:

H = **73** **mm**

g) Estabilidad del elastómero

Los cojinetes deberán ser investigados por inestabilidad en las combinaciones de carga del estado límite de servicio especificadas en la Tabla 3.4.1-1. Los cojinetes que satisfacen la siguiente desigualdad se considerarán estables, y no se requiere ninguna investigación adicional de estabilidad.

G = módulo de corte del elastómero

h_{rt} = grosor total del elastómero

L = dimensión del plano del cojinete perpendicular al eje de rotación bajo consideración (generalmente paralelo al eje longitudinal global del puente)

S_i = factor de forma de la i-ésima capa interna de un cojinete elastomérico

W = dimensión del plano del cojinete paralela al eje de rotación bajo consideración (generalmente paralelo al eje transversal global del puente)

Para un cojinete rectangular donde L es mayor que W, la estabilidad se investigará intercambiando L y W en las Ec. Para el cálculod e A y B.

En este caso, L = 25 es menor que W = 40

A =	0.307	cm	B =	0.324	cm

2A =	0.61	≥	0.32	= B	Incorrecto

Para cojinetes rectangulares que no satisfacen la desigualdad requerida, el esfuerzo debido a la carga total deberá satisfacer la siguiente expresión.

s_S =	70.389	kg/cm2	≤	212	**OK**

Por lo tanto, el apoyo es estable

Para asegurar la estabilidad, el grosor total del apoyo no deberá exceder el menor de L/3, W/3, o D/4.

donde:

L = dimensión en planta del soporte perpendicular al eje de rotación bajo consideración (generalmente paralelo al eje longitudinal global del puente) (pulg.)

n = número de capas interiores de elastómero, donde las capas interiores se definen como aquellas capas que están unidas en cada cara. Las capas exteriores se definen como aquellas capas que están unidas solo en una cara. Cuando el grosor de la capa exterior de elastómero es más de la mitad del grosor de una capa interior, el parámetro n puede ser incrementado en una mitad por cada capa exterior de este tipo.

W = dimensión en planta del soporte paralelo al eje de rotación bajo consideración (generalmente paralelo al eje transversal global del puente) (pulg.)

D = diámetro de la almohadilla (pulg.)

hrt =	7.27	cm	**OK**
L/3 =	8.33	cm	
W/3 =	13.33	cm	

h) Revisión de la deflexión ante la compresión

Las deflexiones de los apoyos elastoméricos debidas a la carga muerta y a la carga viva instantánea únicamente se considerarán por separado.

Las cargas consideradas en este artículo se aplicarán en el estado límite de servicio con todos los factores de carga iguales a 1.0.

La deflexión por carga viva instantánea se considerará como:

$$\delta_L = \sum \varepsilon_{Li} h_{ri}$$

donde:

e_{Li} = deformación compresiva instantánea por carga viva en la i-ésima capa de elastómero
h_{ri} = espesor de la i-ésima capa elastomérica

La deflexión inicial por carga muerta se tomará como:

$$\delta_d = \sum \varepsilon_{di} h_{ri}$$

donde:

e_{di} = deformación compresiva de carga muerta inicial en la i-ésima capa de elastómero
h_{ri} = espesor de la i-ésima capa elastomérica

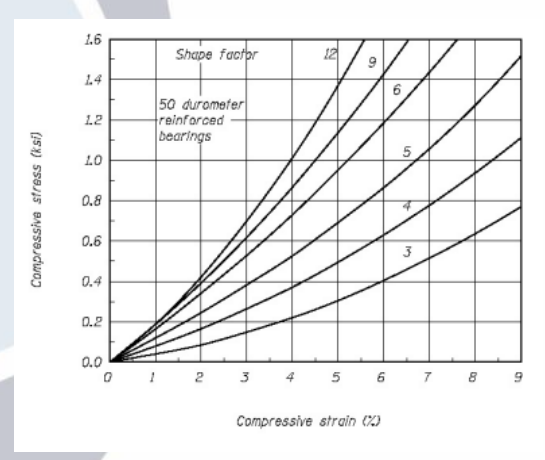
La deflexión por carga muerta a largo plazo, incluidos los efectos de la fluencia, se considerará como:

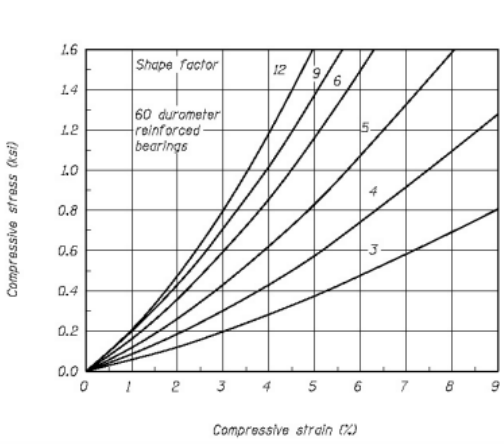
$$\delta_{lt} = \delta_d + a_{cr}\delta_d$$

donde:

acr = deflexión por fluencia dividida por la carga muerta inicial

Los apoyos elastoméricos laminados presentan una curva de carga-deflexión no lineal en compresión. En ausencia de información específica sobre el elastómero a utilizar, se puede utilizar la siguiente ecuación o figura como guía aproximada para calcular las deformaciones por compresión por carga muerta y carga viva para las dos primeras ecuaciones ya mencionadas. Cabe señalar que a medida que los factores de forma aumentan (superiores a ≈6), la correlación de los resultados entre la ecuación y la figura divergen.





Curvas esfuerzo-deformación

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{4.8GS^2}$$

La deflexión por compresión bajo carga viva instantánea y carga muerta inicial de un PEP o una capa interna de un apoyo elastomérico reforzado con acero en el estado límite de servicio sin impacto no debe superar 0,09 hri, donde hri es el espesor de un PEP o el espesor de una capa interna de un apoyo elastomérico reforzado con acero.

La deformación por carga viva instantánea es:

$$\varepsilon_{Li} = \frac{\sigma_{Li}}{4.8GS^2} \quad = \quad 0.021944254$$

La deflexión por carga viva instantánea es:

$$\delta_L = \sum \varepsilon_{Li} h_{ri} \quad = \quad 0.987 \text{ mm} \quad \leq \quad 0.09 \text{ hri}$$

0.987 mm ≤ 1.35 mm **OK**

La deformación inicial por carga muerta es:

$$\varepsilon_{di} = \frac{\sigma_{di}}{4.8GS^2} \quad = \quad 0.025$$

La deflexión inicial por carga muerta es:

$$\delta_d = \sum \varepsilon_{di} h_{ri} \quad = \quad 1.104 \text{ mm} \quad \leq \quad 0.09 \text{ hri}$$

1.104 mm ≤ 1.35 mm **OK**

Correlación de propiedades de los materiales

	Hardness (Shore A)		
	50	60	70[1]
Shear Modulus @ 73°F (ksi)	0.095–0.130	0.130–0.200	0.200–0.300
Creep deflection @ 25 yr divided by initial deflection	0.25	0.35	0.45

La deflexión por carga muerta a largo plazo, incluidos los efectos de la fluencia, es:

Para una dureza en la escala Shore A de 60

acr = 0.35

$$\delta_{lt} = \delta_d + a_{cr}\delta_d \quad = \quad 1.49 \text{ mm}$$

Revisión de la resistencia en las dos direcciones ortogonales

Como se mencionó anteriormente, de acuerdo con la N-PRY-CAR-6-01-005/01, se simplifica la fuerza sísmica a una fuerza estática horizontal:

$$F_h = a_0 \, W_{trib}$$

donde:

a0 = Aceleración máxima del terreno (ordenada al origen del espectro, T =0)
Wtrib = Peso de la superestructura tributario al apoyo

a0 = 0.13
Wtrib = 37.15 ton
Fh = 4.83 ton

Calulamos la fuerza resistente por fricción (Ff):

$$F_f = \mu P_{mín}$$

donde:

μ =	0.2	para concreto-neopreno
P mín =	37.15	ton
Ff =	7.43	ton

Fh =	4.83	<	7.43	= Ff	**OK**

Diseño de topes sísmicos

Determinación de fuerza de diseño

Los dispositivos que tengan por objeto restringir los desplazamientos de la estructura, tales como tirantes de anclaje y topes sísmicos, entre otros, se diseñan para la siguiente fuerza:

$$S_d = cCM - V_s$$

Donde:

S_d:	fuerza de diseño para el dispositivo considerado
CM =	carga muerta de la porción de la estructura restringida por el dispositivo que se diseña
c =	máxima respuesta espectral
V_s =	Cortantes sísmicos resistentes generados en la estructura bajo la acción de la fuerza S_d, en elementos diferentes al dispositivo que se diseña

De este modo:

c =	0.5	
CM =	222.89	ton
S_d =	111.44	ton

Datos

Vu =	145	ton
f'c =	300	kg/cm2
fy =	4200	kg/cm2
b_w =	110	cm
h =	70	cm
d =	64.045	cm

Diseño de tope sísmico como elemento tipo ménsula

Datos

Altura de banco de asiento =	17.7	cm
Peralte de viga AASHTO =	135	cm
Espesor del apoyo =	7.3	cm
Espesor de patín inf. AASHTO =	20	cm
Altura del tope =	45.0	cm

a_v = 35.0 cm

Se permitirá diseñar los soportes y ménsulas con una relación entre la longitud del claro y el peralte efectivo av/d ≤ 1.0 y con una fuerza de restricción factorizada Nuc ≤ Vu.

av / d = 0.55 < 1 **OK**

Límites geométricos

El peralte total para soportes y ménsulas en el borde exterior de la superficie de apoyo deberá ser de al menos 0.5d.

Para hormigón de peso normal, la resistencia nominal al cortante, Vn, se determinará como el menor de los siguientes valores:

a) 0.2 f'c b_w d =	423 ton	>	145 ton	**OK**
c) 56.25 b_w d =	396 ton	>	145 ton	**OK**

Resistencia requerida

La sección en la cara del soporte se diseñará para resistir simultáneamente una fuerza cortante mayorada, Vu, un momento mayorado, Mu, y la fuerza de tracción mayorada concurrente, Nuc, donde:

El momento flexionante Mu se puede calcular como:

$$M_u = V_u a_v + N_{uc}(h - d)$$

A menos que se tomen disposiciones especiales para evitar el desarrollo de la fuerza de tracción, Nuc, esta no debe considerarse menor que 0.2 Vu.

Nuc = 0 ton

Vu = 145 ton
Mu = 50.7 ton-m

Resistencia de diseño

Área mínima de refuerzo de corte en la interfaz

El área de la sección transversal del refuerzo de cortante de interfaz, Avf, que cruza el área de interfaz, Acv, deberá satisfacer:

$$A_{vf} \geq \frac{0.05 A_{cv}}{f_y}$$

donde:

Avf = Área de refuerzo de cortante de interfaz que cruza el plano de cortante dentro del área Acv

Acv = Área de hormigón considerada como involucrada en la transferencia de esfuerzo cortante en la interfaz

fy = Tensión de fluencia del refuerzo, pero el valor de diseño no debe exceder 4200 kg/cm2

$$A_{cv} = b_{vi} L_{vi}$$

bvi = Ancho de interfaz considerado como involucrado en la transferencia de cizallamiento

Lvi = Longitud de interfaz considerada como involucrada en la transferencia de cizallamiento

bvi = 110 cm Lvi = 70 cm

Acv = 7700 cm^2

Avf ≥ 6.4 cm^2

La resistencia al corte de la interfaz factorizada, Vri, se tomará como:

$$V_{ri} = \phi V_{ni}$$

y el diseño deberá satisfacer:

$$V_{ri} \geq \phi V_{ui}$$

donde:

f = factor de resistencia al corte. Para el estado límite extremo, el factor puede tomarse como 1.0

Vni = resistencia nominal al corte en la interfaz

Vui = fuerza de corte en la interfaz mayorada debida a la carga total basada en las combinaciones de resistencia y carga de evento extremo

La resistencia nominal al corte del plano de interfaz se tomará como:

$$V_{ni} = cA_{cv} + \mu\left(A_{vf} f_y + P_c\right)$$

donde:

c = factor de cohesión

μ = coeficiente de fricción

Pc = Fuerza neta de compresión debida a efectos de fuerza permanente no mayorada, normal al plano de corte; si la fuerza es de tracción, Pc = 0.0

f'c = Resistencia de diseño a la compresión del hormigón del hormigón más débil a cada lado de la interfaz

FR = 1

Pc = 0

Para concreto de peso normal colado monolíticamente

c = 0 kg/cm^2

m = 1.4

$$A_{vf} = \frac{V_{ui} - cA_{cv}}{\mu f_y}$$

Avf = **24.64 cm²**

La resistencia nominal al corte, Vni, utilizada en el diseño no debe exceder ninguno de los siguientes valores:

$V_{ni} \leq K_1 f'c A_{cv}$ $\qquad$ $V_{ni} \leq K_2 A_{cv}$

K1 = fracción de la resistencia del hormigón disponible para resistir el corte en la interfaz
K2 = resistencia límite al corte en la interfaz

Para concreto de peso normal colado monolíticamente
K1 = 0.25 $\qquad$ K2 = 105 kg/cm²

de donde:

Vni = 145 ton < 577.5 ton
Vni = 145 ton < 812 ton

El refuerzo, As, para resistir los efectos de la fuerza mayorada se determinará como para elementos ordinarios sometidos a flexión y carga axial.

La resistencia de diseño a flexión M_R proporcionada por A_f se efectuará a partir de las condiciones de equilibrio, de donde:

La resistencia de diseño a flexión M_R puede determinarse utilizando las siguientes ecuaciones.

$$M_R = F_R A_s f_y \left(d_s - \frac{a}{2}\right) \qquad \text{donde} \qquad a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'c b}$$

De donde:

$$A_s = \frac{0.85 f'c b d}{f_y}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2M_n}{0.85 f'c b d^2 F_R}}\right)$$

Fr = 0.90

A_f = **21.49 cm²**

El acero principal (A_s) debe de resistir la flexión más la tensión directa Nuc.

$$A_s = A_f + A_n$$

donde:
An = acero para resistir la tensión pura

$$A_n \geq \frac{N_{uc}}{\phi f_y}$$

An = 0.00 cm²

A_s = **21.49 cm²**

El área del refuerzo de tracción primaria, As, deberá cumplir:

$$A_S \geq \frac{2A_{vf}}{3} + A_n$$

A_S = 21.49 ≥ **16.43 cm²**

De este modo:

A_s = **21.49 cm²** Var No. 6 a cada 15.09 cm

Se colocarán Var No. **6** a cada **15.00** **cm**

A_s = 22.39 cm² ≥ 21.49 cm²

La relación de acero As/bd en la cara del soporte no será inferior a 0,04 f'c / fy, donde d se mide en la cara del soporte.

As / b d = 0.003178825 ≥ 0.002857143 0.04 f'c / fy **OK**

El área total de estribos cerrados o de estribos paralelos al refuerzo principal de tensión, Ah, debe ser al menos el establecido en la siguiente ecuación:

$$A_h = 0.5(A_{sc} - A_n)$$

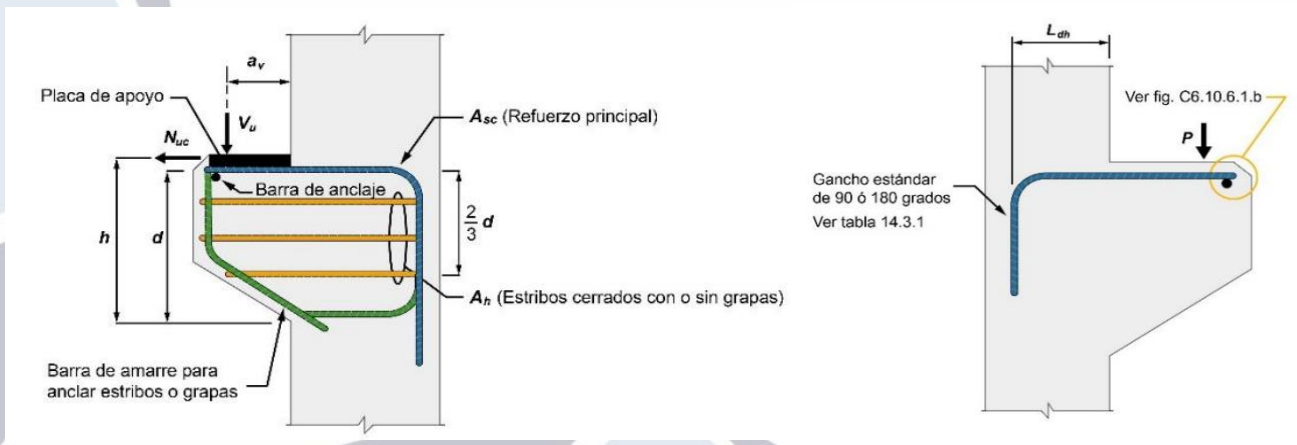
Ah = 11.2 cm2

4 ramas por cada metro de Var. No. 3 a cada 10.87 cm en vertical

Se colocarán Var No. **3** a cada **10.50** cm en vertical
y a cada 33.7 cm en horizontal

Asc = 11.59 cm² ≥ 11.20 cm²

Estos estribos cerrados deberán separarse de tal manera que Ah quede distribuido uniformemente dentro de una longitud igual a 2d/3 medida desde el refuerzo principal en tensión.



Grupos de cargas

Cuando el diseño se realice por el método de factores de carga, tomando en cuenta lo establecido en los Títulos PRY-CAR-6-03, Diseño de Estructuras de Concreto y PRY-CAR-6-04, Diseño de Estructuras de Acero, se atenderá lo siguiente:

Cada grupo de cargas se integra por las combinaciones de cargas permanentes, variables y eventuales que sean aplicable , es decir:

Para el grupo N:

$$CP_N + CV_N + CE_N$$

Donde:
N = Número del grupo a considerar
CP_N = Combinaciones de cargas permanentes para el grupo N
CV_N = Combinaciones de cargas variables para el grupo N
CE_N = Combinaciones de cargas eventuales para el grupo N

Dichas combinaciones comprenden las acciones sobre la estructura debidas a las siguientes cargas:

Combinaciones de cargas permanentse (CP_N): $b_{CM}CM+b_{ET}ET$
Combinaciones de cargas variables (CV_N): $b_V(V+I)+b_{FC}FC$
Combinaciones de cargas eventuales (CE_N):

$$\beta_{VE}VE + \beta_{VCV}VCV + \beta_S S + \beta_{FL}FL + \beta_{ACT}(A + C + T) + \beta_{PL}PL+\beta_{SP}SP$$

CM = Carga muerta
ET = Empujde de tierra
V = Carga viva
I = Impacto
FC = Fuerza centrífuga
VE = Viento dobre la estructura
VCV = Viento sobre la carga viva
S = Sismo
FL = Frenaje
A = Acortamiento de arcos
C = Efecto de contracción por fraguado
T = Efecto de temperatura
PL = Empuje dinámico del agua
SP = Subpresión

b son coeficientes que se aplican a cada una de las cargas y acciones, que consideran la probabilidad de su ocurrencia simultánea, y cuyos valores se obtienen de la siguiente tabla, según el grupo de carga que se considere.

Cuando el diseño se realice por el método de factores de carga, se atenderá lo siguiente:

Cada carga y acción de las combinaciones se múltiplica además por el factor de carga (g) que se muestra en la siguiente tabla, según el grupo de cargas considerado.

Coeficientes y factores para cada grupo de cargas considerado

Grupo		Coeficiente β para cargas:										Factor de carga	Factor de incremento de esfuerzos
		Permanentes		Variables		Eventuales							
		β_{CM}	β_{ET}	β_V	β_{FC}	β_{VE}	β_{VCV}	β_S	β_{FL}	β_{ACT}	β_{PL}	β_{SP}	γ	F_{EA}
Cargas de trabajo	*I*	1	[1]	1	1	0	0	0	0	0	1	1	-	1[2]
	II	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	-	1,25
	III	1	[1]	1	1	0,3	1	0	1	0	1	1	-	1,25
	IV	1	[1]	1	1	0	0	0	0	1[6]	1	1	-	1,25
	V	1	1	0	0	1	0	0	0	1[6]	1	1	-	1,4
	VI	1	[1]	1	1	0,3	1	0	1	1[6]	1	1	-	1,4
	VII	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	-	1,33
Factores de carga	*I*	[3]	[1]	1,5[4]	1	0	0	0	0	0	1	1	1,3[5]	-
	II	[3]	[1]	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1,3	-
	III	[3]	[1]	1,2	1	0,3	1	0	1	0	1	1	1,3	-
	IV	[3]	[1]	1,2	1	0	0	0	0	1[6]	1	1	1,25	-
	V	[3]	[1]	0	0	1	0	0	0	1[6]	1	1	1,25	-
	VI	[3]	[1]	1,2	1	0,3	1	0	1	1[6]	1	1	1,25	-
	VII	[3]	[1]	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1,3	-

[1] Para estos grupos de cargas, el valor de β_{ET} se determina conforme a lo indicado en los Incisos D.2.3., D.3.5. de esta Norma.
[2] Véase el Inciso D.2.2. de esta Norma.
[3] Para estos grupos de cargas, el valor de β_{CM} se determina conforme a lo indicado en el Inciso D.3.4. de esta Norma.
[4] Véase el Inciso D.3.3. de esta Norma.
[5] Véase el Inciso D.3.2. de esta Norma.
[6] El factor β_{ACT} incluye los efectos de variación de la temperatura ambiental y los del gradiente térmico en el seno de la superestructura.

Coeficiente b para cargas:

Grupo	Permanentes	Variables	Eventuales					
	b_{CM}	b_{ET}	b_V	b_{FC}	b_{VE}	b_{VCV}	b_S	b_{FL}
I	1	1.3	1.5	1	0	0	0	0
II	1	1.3	0	0	1	0	0	0
III	1	1.3	1.2	1	0.3	1	0	1
IV	1	1.3	1.2	1	0	0	0	0
V	1	1.3	0	0	1	0	0	0
VI	1	1.3	1.2	1	0.3	1	0	1
VII	1	1.3	0	0	0	0	1	0

Coeficiente b para cargas:

Grupo	Permanentes	Variables	Eventuales					
	b_{CM}	b_{ET}	b_V	b_{FC}	b_{VE}	b_{VCV}	b_S	b_{FL}
I	1.3	1.69	1.95	1.3	0	0	0	0
II	1.3	1.69	0	0	1.3	0	0	0
III	1.3	1.69	1.56	1.3	0.39	1.3	0	1.3
IV	1.25	1.625	1.5	1.25	0	0	0	0
V	1.25	1.625	0	0	1.25	0	0	0
VI	1.25	1.625	1.5	1.25	0.375	1.25	0	1.25
VII	1.3	1.69	0	0	0	0	1.3	0

Cálculo de empuje de tierras en reposo

Empuje donde se realizó SPT-1

Estrato N.	γ t/m³	De m	Hasta m	ϕ °	c t/m²	Pv t/m²
I	1.6	0	3	24	9.8	4.8
II	1.3	3	7.2	14	1.2	6.06
III	1.4	7.2	10.8	16	2.4	7.5
IV	1.8	10.8	15	28	6.1	10.86

Altura de cabezal = 2.6 m

Sc =	1	t/m^2	OCR =	1.0	
H =	2.6	m	K0 =	0.72	
f' =	24	°			

Empuje de tierras

E0 =	3.9	ton	E =	5.77	ton
Esc =	1.9	ton	M =	5.8	ton-m

Empuje donde se realizó SPT-2

Estrato N.	γ t/m³	De m	Hasta m	ϕ °	c t/m²	Pv t/m131
I	1	0	1.2	20	5.2	1.2
II	1.6	1.2	5.4	14	1.5	5.52
III	1.7	5.4	10.8	16	2.4	9.3
IV	1.8	10.8	15	30	9.1	12.66

Altura de cabezal = 2.6 m

Sc =	1	t/m^2
H =	2.6	m
f'_1 =	27.97	°
f'_2 =	20.66	°
OCR_1 =	1.0	
OCR_2 =	1.0	
$K_{0,1}$ =	0.72	
$K_{0,2}$ =	0.72	

Empuje de tierras

Z m	s0 ton
0	0.000
1.2	0.864
1.2	1.382
2.6	2.995

Empuje de tierras

Z		F	Z	F * Z
m		ton	m	ton-m
De 1 a 1.2	E0	0.518	1.8	0.933
	Esc	0.86	2.0	1.728
De 1.2 a 2.6	E0	3.064	0.61	1.882
	Esc	1.01	0.7	0.706

E = 5.45 ton
M = 5.25 ton-m

Cálculo de empuje de tierras en estado activo

Empuje donde se realizó SPT-1

Estrato	γ	De	Hasta	ϕ	c	Pv
N.	t/m³	m	m	°	t/m²	t/m²
I	1.6	0	3	24	9.8	4.8
II	1.3	3	7.2	14	1.2	6.06
III	1.4	7.2	10.8	16	2.4	7.5
IV	1.8	10.8	15	28	6.1	10.86

Altura de cabezal = 2.6 m

Sc = 1 t/m^2
H = 2.6 m
f = 24 ° = 0.42 rad
b = 0.00 ° = 0.00 rad
d = 16.17 ° = 0.28 rad
c = 0 t/m²
OCR = 1.0

K_A = 0.42

Empuje de tierras
E0 = 2.3 ton
Esc = 1.1 ton

E = 3.35 ton
h = 1.01 m
M = 3.4 ton-m

Empuje donde se realizó SPT-2

Estrato	γ	De	Hasta	ϕ	c	Pv
N.	t/m³	m	m	°	t/m²	t/m131
I	1	0	1.2	20	5.2	1.2
II	1.6	1.2	5.4	14	1.5	5.52
III	1.7	5.4	10.8	16	2.4	9.3
IV	1.8	10.8	15	30	9.1	12.66

Altura de cabezal = 2.6 m

Sc =	1	t/m^2		
H =	2.6	m		
f_1 =	20	° =	0.35	rad
f_2 =	14	° =	0.24	rad
b =	0	° =	0.00	rad
c1 =	0	t/m^2		
c2 =	0	t/m^2		
OCR_1 =	0.7			
OCR_2 =	0.7			

$K_{0,1}$ =	0.49
$K_{0,2}$ =	0.61

Empuje de tierras

Z	sA
m	ton
0	0.00
1.2	0.59
1.2	1.17
2.6	2.54

Empuje de tierras

Z		F	Z	F * Z
m		ton	m	ton-m
De 1 a 1.2	E_A	0.353	1.8	0.635
	Esc	0.59	2.0	1.177
De 1.2 a 2.6	E_A	2.598	0.61	1.595
	Esc	0.85	0.7	0.598

E =	4.39	ton
h =	0.91	m
M =	4.01	ton-m

Cálculo de empuje dinámico de tierras

Empuje donde se realizó SPT-1

Estrato	γ	De	Hasta	ϕ	c	Pv
N.	t/m³	m	m	°	t/m²	t/m²
I	1.6	0	3	24	9.8	4.8
II	1.3	3	7.2	14	1.2	6.06
III	1.4	7.2	10.8	16	2.4	7.5
IV	1.8	10.8	15	28	6.1	10.86

Altura de cabezal = 2.6 m

Sc =	1	t/m^2
H =	2.6	m
a0 =	260.33	cm/s2
a0 =	0.265	
R =	1.6	
fa =	1.33	
kh =	0.2206	
kv =	0.147	
c =	0.0	ton/m2

donde:

q =	inclinación de la pared del muro
f =	ángulod e fricción del suelo
b =	inclinación de la superficie del terreno
d =	ángulo de fricción entre el relleno y el muro
y =	$\tan^{-1} k_h$
k_h =	aceleración horizontal
k_v =	aceleración vertical
$a_{máx}$ =	aceleración máxima esperada en el sitio

	Grados	Radianes
q =	0	0.00
f =	24	0.42
b =	0	0.00
d =	16	0.28
y =	14.50	0.25
$a_{máx}$ =	0.27	
		0.639007986
KA =	0.38	
K_{AE} =	0.64	2.95 ton

$$E_{AS} = \frac{W[\operatorname{sen}\psi + \tan(\chi-\phi)\cos\psi] - F_Q[\cos\chi + \tan(\chi-\phi)\operatorname{sen}\chi] - F_\delta[\tan(\chi-\phi)\cos\theta - \operatorname{sen}\theta]}{\cos(\delta+\theta) + \operatorname{sen}(\delta+\theta)\tan(\chi-\phi)}$$

	Grados	Radianes
q =	0	0
f =	24	0.42
a =	0	0
d =	16	0.28
y =	14.50	0.25

q =	1	ton/m
ca =	0	ton/m2
F_d =	0	ton

	c		W	F_Q	E_{AS}
	°	rad	ton	ton	ton
13		0.226892803	31	0.00	2.09
14		0.244346095	28	0.00	2.47
15		0.261799388	26	0.00	2.80
16		0.27925268	25	0.00	3.07
17		0.296705973	23	0.00	3.31
18		0.314159265	22	0.00	3.51
19		0.331612558	21	0.00	3.68
20		0.34906585	20	0.00	3.83
21		0.366519143	19	0.00	3.96
22		0.383972435	18	0.00	4.07
23		0.401425728	17	0.00	4.17
24		0.41887902	16	0.00	4.25
25		0.436332313	16	0.00	4.33
26		0.453785606	15	0.00	4.39
27		0.471238898	14	0.00	4.44
28		0.488692191	14	0.00	4.49
29		0.506145483	13	0.00	4.53
30		0.523598776	13	0.00	4.56
31		0.541052068	12	0.00	4.59
32		0.558505361	12	0.00	4.61
33		0.575958653	12	0.00	4.63
34		0.593411946	11	0.00	4.64
35		0.610865238	11	0.00	4.65
36		0.628318531	10	0.00	4.65
37		0.645771823	10	0.00	4.65
38		0.663225116	10	0.00	4.65
39		0.680678408	9	0.00	4.65
40		0.698131701	9	0.00	4.64
41		0.715584993	9	0.00	4.63
42		0.733038286	9	0.00	4.62
43		0.750491578	8	0.00	4.60
44		0.767944871	8	0.00	4.59
45		0.785398163	8	0.00	4.57
46		0.802851456	8	0.00	4.55
47		0.820304748	7	0.00	4.53
48		0.837758041	7	0.00	4.50
49		0.855211333	7	0.00	4.47
50		0.872664626	7	0.00	4.45

51	0.890117919	7	0.00	4.42
52	0.907571211	6	0.00	4.38
53	0.925024504	6	0.00	4.35
54	0.942477796	6	0.00	4.32
55	0.959931089	6	0.00	4.28
56	0.977384381	6	0.00	4.24
57	0.994837674	5	0.00	4.20
58	1.012290966	5	0.00	4.16
59	1.029744259	5	0.00	4.12

E_A =	3.345	ton
h_A =	1.01	m
E_{AS} =	4.65	ton
h_d =	1.16	m
E_{Sc} =	0.00	ton
h_{Sc} =	0.00	m
E =	4.65	
M =	5.41	ton-m

Localización del empuje sísmico

Cálculo de empuje dinámico de tierras

Empuje donde se realizó SPT-2

Estrato N.	γ t/m³	De m	Hasta m	ϕ °	c t/m²	Pv t/m131
I	1	0	1.2	20	5.2	1.2
II	1.6	1.2	5.4	14	1.5	5.52
III	1.7	5.4	10.8	16	2.4	9.3
IV	1.8	10.8	15	30	9.1	12.66

Altura de cabezal = 2.6 m

Sc =	1	t/m^2
H =	2.6	m
a0 =	260	cm/s2
a0 =	0.265	
R =	1.6	
fa =	1.33	
kh =	0.221	
kv =	0.147	
c =	0	ton/m2

donde:

q = inclinación de la pared del muro
f = ángulod e fricción del suelo
b = inclinación de la superficie del terreno
d = ángulo de fricción entre el relleno y el muro
y = $\tan^{-1} k_h$
k_h = aceleración horizontal
k_v = aceleración vertical
$a_{máx}$ = aceleración máxima esperada en el sitio

	Grados	Radianes
q =	0	0.00
f =	20	0.35
b =	0	0.00
d =	13	0.23
y =	14.50	0.25
$a_{máx}$ =	0.27	
		0.747791678
KA =	0.44	
K_{AE} =	0.75	2.16 ton

$$E_{AS} = \frac{W[\operatorname{sen}\psi + \tan(\chi-\phi)\cos\psi] - F_Q[\cos\chi + \tan(\chi-\phi)\operatorname{sen}\chi] - F_\delta[\tan(\chi-\phi)\cos\theta - \operatorname{sen}\theta]}{\cos(\delta+\theta) + \operatorname{sen}(\delta+\theta)\tan(\chi-\phi)}$$

	Grados	Radianes
q =	0	0
f =	17	0.29
a =	0	0
d =	11.18	0.20
y =	14.50	0.25

q = 1 ton/m
ca = 0 ton/m2
F_d = 0 ton

	c	W	F_Q	E_{AS}
	° rad	ton	ton	ton
1	0.017453293	344	0.00	-8.5471
2	0.034906585	172	0.00	-0.9003
3	0.052359878	115	0.00	1.6223
4	0.06981317	87	0.00	2.8643
5	0.087266463	69	0.00	3.5944
6	0.104719755	58	0.00	4.0689
7	0.122173048	50	0.00	4.3975
8	0.13962634	44	0.00	4.6351
9	0.157079633	39	0.00	4.8121
10	0.174532925	35	0.00	4.9469
11	0.191986218	32	0.00	5.0511
12	0.20943951	29	0.00	5.1324
13	0.226892803	27	0.00	5.1961
14	0.244346095	25	0.00	5.2461
15	0.261799388	23	0.00	5.2851
16	0.27925268	22	0.00	5.3153
17	0.296705973	21	0.00	5.3382
18	0.314159265	19	0.00	5.3551
19	0.331612558	18	0.00	5.3669
20	0.34906585	17	0.00	5.37
21	0.366519143	17	0.00	5.38
22	0.383972435	16	0.00	5.38
23	0.401425728	15	0.00	5.38
24	0.41887902	14	0.00	5.37
25	0.436332313	14	0.00	5.37
26	0.453785606	13	0.00	5.36
27	0.471238898	13	0.00	5.35
28	0.488692191	12	0.00	5.33
29	0.506145483	12	0.00	5.32
30	0.523598776	11	0.00	5.31
31	0.541052068	11	0.00	5.29
32	0.558505361	11	0.00	5.27
33	0.575958653	10	0.00	5.26
34	0.593411946	10	0.00	5.24
35	0.610865238	10	0.00	5.22
36	0.628318531	9	0.00	5.20
37	0.645771823	9	0.00	5.18
38	0.663225116	9	0.00	5.15
39	0.680678408	8	0.00	5.13
40	0.698131701	8	0.00	5.11
41	0.715584993	8	0.00	5.08
42	0.733038286	8	0.00	5.06
43	0.750491578	7	0.00	5.03
44	0.767944871	7	0.00	5.01

45	0.785398163	7	0.00	4.98
46	0.802851456	7	0.00	4.95
47	0.820304748	7	0.00	4.92
48	0.837758041	6	0.00	4.89
49	0.855211333	6	0.00	4.86
50	0.872664626	6	0.00	4.83
51	0.890117919	6	0.00	5
52	0.907571211	6	0.00	5
53	0.925024504	6	0.00	5
54	0.942477796	5	0.00	5
55	0.959931089	5	0.00	5
56	0.977384381	5	0.00	5
57	0.994837674	5	0.00	5
58	1.012290966	5	0.00	5
59	1.029744259	5	0.00	5
60	1.047197551	4	0.00	4
61	1.064650844	4	0.00	4
62	1.082104136	4	0.00	4
63	1.099557429	4	0.00	4
64	1.117010721	4	0.00	4
65	1.134464014	4	0.00	4
66	1.151917306	4	0.00	4

E_A = 4.39 ton
h_A = 0.91 m
E_{AS} = 5.38 ton
h_d = 1.03 m
E_{Sc} = 0.00 ton
h_{Sc} = 0.00 m
E = 5.38 ton
M = 5.54 ton-m

		Empuje Ton/m	Momento Ton-m/m		Longitud tributaria	Empuje Ton	Momento Ton-m
SPT-1	Reposo	5.77	5.81	Centro	3.45	19.9	20.0
				Extremo	3.45	19.9	20.0
	Dinámico	4.65	5.41	Centro	3.45	16.1	18.7
				Extremo	3.45	16.1	18.7
SPT-2	Reposo	5.45	5.25	Centro	3.45	18.8	18.1
				Extremo	3.45	18.8	18.1
	Dinámico	5.38	5.54	Centro	3.45	18.6	19.1
				Extremo	3.45	18.6	19.1

Diseño de refuerzo en pantalla de cabezal

		Empuje Ton/m	Momento Ton-m/m
SPT-1	Reposo	5.77	5.81
	Dinámico	4.65	5.41
SPT-2	Reposo	5.45	5.25
	Dinámico	5.38	5.54

Diseñamos para la condición más desfavorable

Donde se realizó la prueba SPT-1

REFUERZO VERTICAL CARA TRASTO (CARA INTERIOR) CARA EN CONTACTO CON EL TERRENO

M = 5.81 ton-m

FÓRMULA

$$As = \frac{M_u}{F_R * fy * d * (1 - 0.5q)}$$

$$q = p\frac{fy}{f''c} = \frac{As * fy}{b * d * f''c}$$

DATOS / RESULTADOS

Mu	7.72 ton-m	As	6.20 cm2
F_R	0.90		
fy	4200 kg/cm2		
C	40 cm		
d	33.41 cm		
b	100 cm		
f'c	300 kg/cm2		

CÁLCULO DE CUANTÍA MÍNIMA Y MÁXIMA

ACERO Y CUANTÍA BALANCEADA

FÓRMULA

$$p_b = \frac{f''c}{fy} * \frac{6000 * \beta_1}{fy + 6000}$$

DATOS / RESULTADOS

b_1	0.85	pb	0.03036
f'c	300 kg/cm2		
f"c	255 kg/cm2		
fy	4200 kg/cm2		

ACERO Y CUANTÍA MÍNIMA

$$A_{mín} = 0.0018Ag$$

DATOS / RESULTADOS

b	100 cm	Asmín	7.20 cm2
C	40 cm	pmín	0.0018

ACERO Y CUANTÍA MÁXIMA

$$p_{máx} = 0.5 * p_b$$

DATOS / RESULTADOS

pb	0.030	Asmáx	66.4 cm2
		pmáx	0.0152

DISTRIBUCIÓN DE ACERO A UTILIZAR EN CARA TRASTO (CARA INTERIOR)

SELECCIÓN DE VARILLAS A USAR NÚMERO DE VARILLAS

DIÁMETRO	As	As REQUER.	No. DE VAR.	A CADA
No.	cm2	cm2	Cantidad	cm
5	1.98	7.20	3.64	25.0

ACERO VERTICAL EN PANTALLA /TRASTO)

SE COLOCARÁN VARILLAS DEL NO. 5 A CADA 25 CM

CARA INTRASTO (CARA EXTERIOR)

SE CALCULARÁ CON EL ACERO MÍNIMO

EN LA PANTALLA (CARA EXTERIOR): SE COLOCARÁ HORIZONTAL Y VERTICALMENTE EL ACERO DE RETRACCIÓN Y TEMPERATURA.

REFUERZO VERTICAL CARA INTRASTO (CARA EXTERIOR)

CARA SIN CONTACTO CON EL TERRENO

FÓRMULA

$$As_{mín} = 0.0018 * Ag$$

$$Ag = C * b$$

DATOS

b	100	cm
C	40	cm

RESULTADOS

Asmín	7.20 cm2

DISTRIBUCIÓN DE ACERO A UTILIZAR EN CARA INTRASTO (CARA EXTERIOR)

SELECCIÓN DE VARILLAS A USAR NÚMERO DE VARILLAS

DIÁMETRO	As	As REQUER.	No. DE VAR.	A CADA
No.	cm2		Cantidad	cm
5	1.98	7.20	3.64	25.0

ACERO VERTICAL EN PANTALLA (INTRASTO)

SE COLOCARÁN VARILLAS DEL NO. 5 A CADA 25 CM

REFUERZO HORIZONTAL DE PANTALLA

SE CALCULARÁ CON EL ACERO MÍNIMO

EN LA PANTALLA (CARA EXTERIOR): SE COLOCARÁ HORIZONTAL Y VERTICALMENTE EL ACERO DE RETRACCIÓN Y TEMPERATURA

REFUERZO HORIZONTAL

FÓRMULA

$$As_{mín} = 0.0018 * Ag$$

$$Ag = C * b$$

DATOS

b	100	cm
C	40	cm

RESULTADOS

Asmín	7.20 cm2

DISTRIBUCIÓN DE ACERO HORIZONTAL A UTILIZAR

SELECCIÓN DE VARILLAS A USAR

CARA DEL MURO	As REQUER.	DIÁMETRO No.	As cm2	No. DE VAR. Cantidad	A CADA cm	SE COLOCARÁN A CADA
EXTERIOR (SIN CONTACTO CON EL TERRENO)	3.60	4	1.27	2.84	35	25
INTERIOR (EN CONTACTO CON EL TERRENO)	3.60	4	1.27	2.84	35	25

POR LO TANTO:

EN CARA EXTERIOR SE COLOCARÁ 1 VAR. NO. 4 A CADA 25 CM
EN CARA INTERIOR SE COLOCARÁ 1 VAR. NO. 4 A CADA 25 CM

Donde se realizó la prueba SPT-2

REFUERZO VERTICAL CARA TRASTO (CARA INTERIOR)

CARA EN CONTACTO CON EL TERRENO

M = 5.54 ton-m

FÓRMULA

$$As = \frac{M_u}{F_R * fy * d * (1 - 0.5q)}$$

$$q = p\frac{fy}{f''c} = \frac{As * fy}{b * d * f''c}$$

DATOS

Mu	7.37 ton-m	As	5.91 cm2
F_R	0.90		
fy	4200 kg/cm2		
C	40		
d	33.41 cm		
b	100 cm		
f'c	300 kg/cm2		

RESULTADOS

CÁLCULO DE CUANTÍA MÍNIMA Y MÁXIMA

ACERO Y CUANTÍA BALANCEADA

FÓRMULA

$$p_b = \frac{f''c}{fy} * \frac{6000 * \beta_1}{fy + 6000}$$

DATOS

b_1	0.85	pb	0.03036
f'c	300 kg/cm2		
f"c	255 kg/cm2		
fy	4200 kg/cm2		

RESULTADOS

ACERO Y CUANTÍA MÍNIMA

$$A_{mín} = 0.0018Ag$$

DATOS

b	100 cm	Asmín	7.20 cm2
C	40 cm	pmín	0.0018

RESULTADOS

ACERO Y CUANTÍA MÁXIMA

$$p_{máx} = 0.5 * p_b$$

DATOS		RESULTADOS	
pb	0.030	Asmáx	66.4 cm2
		pmáx	0.0152

DISTRIBUCIÓN DE ACERO A UTILIZAR EN CARA TRASTO (CARA INTERIOR)

SELECCIÓN DE VARILLAS A USAR — NÚMERO DE VARILLAS

DIÁMETRO No.	As cm2	As REQUER. cm2	No. DE VAR. Cantidad	A CADA cm
5	1.98	7.20	3.64	25.0

ACERO VERTICAL EN PANTALLA /TRASTO)

SE COLOCARÁN VARILLAS DEL NO. 5 A CADA 25 CM

CARA INTRASTO (CARA EXTERIOR)

SE CALCULARÁ CON EL ACERO MÍNIMO

EN LA PANTALLA (CARA EXTERIOR): SE COLOCARÁ HORIZONTAL Y VERTICALMENTE EL ACERO DE RETRACCIÓN Y TEMPERATURA.

REFUERZO VERTICAL CARA INTRASTO (CARA EXTERIOR)

CARA SIN CONTACTO CON EL TERRENO

FÓRMULA

$$As_{mín} = 0.0018 * Ag$$

$$Ag = C * b$$

DATOS			RESULTADOS	
b	100	cm	PARA y=0	
C	40	cm		
		cm	Asmín	7.20 cm2

DISTRIBUCIÓN DE ACERO A UTILIZAR EN CARA INTRASTO (CARA EXTERIOR)

SELECCIÓN DE VARILLAS A USAR — NÚMERO DE VARILLAS

DIÁMETRO No.	As cm2	As REQUER.	No. DE VAR. Cantidad	A CADA cm
5	1.98	7.20	3.64	25.0

ACERO VERTICAL EN PANTALLA (INTRASTO)

SE COLOCARÁN VARILLAS DEL NO. 5 A CADA 25 CM

REFUERZO HORIZONTAL DE PANTALLA

SE CALCULARÁ CON EL ACERO MÍNIMO

EN LA PANTALLA (CARA EXTERIOR): SE COLOCARÁ HORIZONTAL Y VERTICALMENTE EL ACERO DE RETRACCIÓN Y TEMPERATURA.

REFUERZO HORIZONTAL

FÓRMULA

$As_{mín} = 0.0018 * Ag$

DATOS

b	100	cm
C	40	cm

RESULTADOS

Asmín	7.20 cm2

$Ag = C * b$

DISTRIBUCIÓN DE ACERO HORIZONTAL A UTILIZAR

CARA DEL MURO	SELECCIÓN DE VARILLAS A USAR As REQUER.	DIÁMETRO No.	As cm2	No. DE VAR. Cantidad	A CADA cm	SE COLOCARÁN A CADA
EXTERIOR (SIN CONTACTO CON EL TERRENO)	3.60	4	1.27	2.84	35	25
INTERIOR (EN CONTACTO CON EL TERRENO)	3.60	4	1.27	2.84	35	25

POR LO TANTO:

EN CARA EXTERIOR SE COLOCARÁ 1 VAR. NO. 4 A CADA 25 CM
EN CARA INTERIOR SE COLOCARÁ 1 VAR. NO. 4 A CADA 25 CM

Diseño y revisión de pilas de concreto

Para el diseño de las pilas, estas se modelaron como elementos barra en el softawre SAP 2000, asignando springs en función de los resultados de la mecánica de suelos y sometiendo a la estructura a las acciones de diseño.

Cálculo de springs

Est. 0+052.5 - SPT-1 Módulo de reacción horizontal conforme al diámetro de la pila.

j °	Cu t/m2	Profundidad m	Módulo de reacción horizontal Diámetro, en m 0.8	1	1.2	1.5	Unidad
24.2	9.8	1	0.1231	0.0985	0.0821	0.0657	t/cm^3
24.2	9.8	2	0.1231	0.0985	0.0821	0.0657	t/cm^3
24.2	9.8	3	0.1231	0.0985	0.0821	0.0657	t/cm^3
24.2	1.2	4	0.0151	0.0121	0.0101	0.0080	t/cm^3
24.2	1.2	5	0.0151	0.0121	0.0101	0.0080	t/cm^3
24.2	1.2	6	0.0151	0.0121	0.0101	0.0080	t/cm^3
13.5	1.2	7	0.0151	0.0121	0.0101	0.0080	t/cm^3
13.5	2.4	8	0.0302	0.0241	0.0201	0.0161	t/cm^3
13.5	2.4	9	0.0302	0.0241	0.0201	0.0161	t/cm^3
13.5	2.4	10	0.0302	0.0241	0.0201	0.0161	t/cm^3
15.8	2.4	11	0.0302	0.0241	0.0201	0.0161	t/cm^3
15.8	6.1	12	6,750	21,600	18,000	14,400	t/m³
15.8	6.1	13	7,313	23,400	19,500	15,600	t/m³
15.8	6.1	14	7,875	25,200	21,000	16,800	t/m³
15.8	6.1	15	8,438	27,000	22,500	18,000	t/m³
15.8	6.1	16	9,000	28,800	24,000	19,200	t/m³

Est. 0+052.5 - SPT-1 Módulo de reacción horizontal conforme al diámetro de la pila.

j	Cu	Profundidad	Módulo de reacción horizontal Diámetro, en m				Unidad
°	t/m2	m	1.2				
			Reducción por número de filas				
				1	0.8	0.4	0.3
24.2	9.8	1	547		438	219	164
24.2	9.8	2	547		438	219	164
24.2	9.8	3	547		438	219	164
24.2	1.2	4	67		54	27	20
24.2	1.2	5	67		54	27	20
24.2	1.2	6	67		54	27	20
13.5	1.2	7	67		54	27	20
13.5	2.4	8	134		107	54	40
13.5	2.4	9	134		107	54	40
13.5	2.4	10	134		107	54	40
15.8	2.4	11	134		107	54	40
15.8	6.1	12	18000		14,400	7,200	5,400
15.8	6.1	13	19,500		15,600	7,800	5,850
15.8	6.1	14	21,000		16,800	8,400	6,300
15.8	6.1	15	22,500		18,000	9,000	6,750
15.8	6.1	16	24,000		19,200	9,600	7,200

Est. 0+052.5 - SPT-1 Cálculo de springs K (ton/m) reducido por número de filas

Factor de reducción			
1	0.8	0.4	0.3
657	525	263	197
657	525	263	197
657	525	263	197
80	64	32	24
80	64	32	24
80	64	32	24
80	64	32	24
161	129	64	48
161	129	64	48
161	129	64	48
161	129	64	48
21,600	17,280	8,640	6,480
23,400	18,720	9,360	7,020
25,200	20,160	10,080	7,560
27,000	21,600	10,800	8,100
28,800	23,040	11,520	8,640

Est. 0+082.5 - SPT-2 Módulo de reacción horizontal conforme al diámetro de la pila.

j	Cu	Profundidad	Módulo de reacción horizontal Diámetro, en m				Unidad
°	t/m2	m	0.8	1	1.2	1.5	
19.6	9.8	1	563	1,800	1,500	1,200	t/m³
19.6	9.8	2	1,125	3,600	3,000	2,400	t/m³
19.6	9.8	3	1,688	5,400	4,500	3,600	t/m³
19.6	1.2	4	2,250	7,200	6,000	4,800	t/m³
19.6	1.2	5	2,813	9,000	7,500	6,000	t/m³
19.6	1.2	6	3,375	10,800	9,000	7,200	t/m³
14.2	1.2	7	3,938	12,600	10,500	8,400	t/m³
14.2	2.4	8	4,500	14,400	12,000	9,600	t/m³
14.2	2.4	9	5,063	16,200	13,500	10,800	t/m³
14.2	2.4	10	5,625	18,000	15,000	12,000	t/m³
15.8	2.4	11	6,188	19,800	16,500	13,200	t/m³
15.8	6.1	12	9,750	7,800	6,500	5,200	t/m³
15.8	6.1	13	10,563	8,450	7,042	5,200	t/m³
15.8	6.1	14	11,375	9,100	7,583	5,200	t/m³
15.8	6.1	15	12,188	9,750	8,125	5,200	t/m³
15.8	6.1	16	13,000	10,400	8,667	5,200	t/m³

Est. 0+082.5 - SPT-2 Módulo de reacción horizontal conforme al diámetro de la pila.

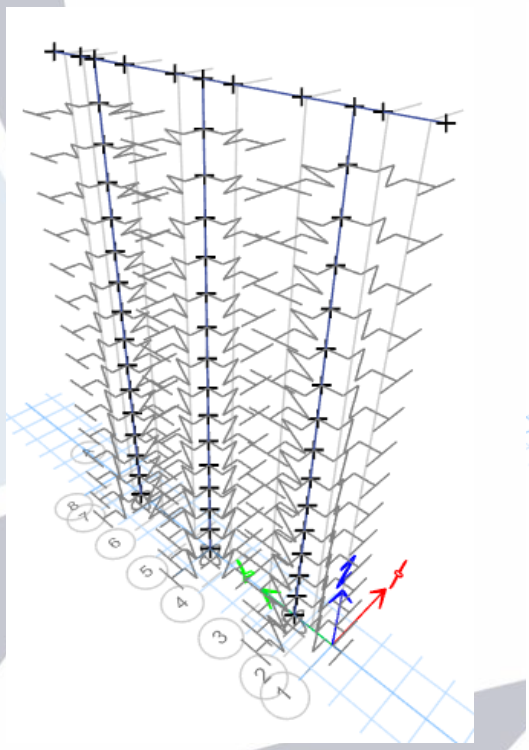
j	Cu	Profundidad	Módulo de reacción horizontal Diámetro, en m				Unidad
°	t/m2	m	1.2				
			1	0.8	0.4	0.3	
19.6	9.8	1	1.500	1.200	600	450	
19.6	9.8	2	3,000	2,400	1,200	900	
19.6	9.8	3	4,500	3,600	1,800	1,350	
19.6	1.2	4	6,000	4,800	2,400	1,800	
19.6	1.2	5	7,500	6,000	3,000	2,250	
19.6	1.2	6	9,000	7,200	3,600	2,700	
14.2	1.2	7	10,500	8,400	4,200	3,150	
14.2	2.4	8	12,000	9,600	4,800	3,600	
14.2	2.4	9	13,500	10,800	5,400	4,050	
14.2	2.4	10	15,000	12,000	6,000	4,500	
15.8	2.4	11	16,500	13,200	6,600	4,950	
15.8	6.1	12	6,500	5,200	2,600	1,950	
15.8	6.1	13	7,042	5,633	2,817	2,113	
15.8	6.1	14	7,583	6,067	3,033	2,275	
15.8	6.1	15	8,125	6,500	3,250	2,438	
15.8	6.1	16	8,667	6,933	3,467	2,600	

Est. 0+082.5 - SPT-1 Cálculo de springs K (ton/m) reducido por número de filas

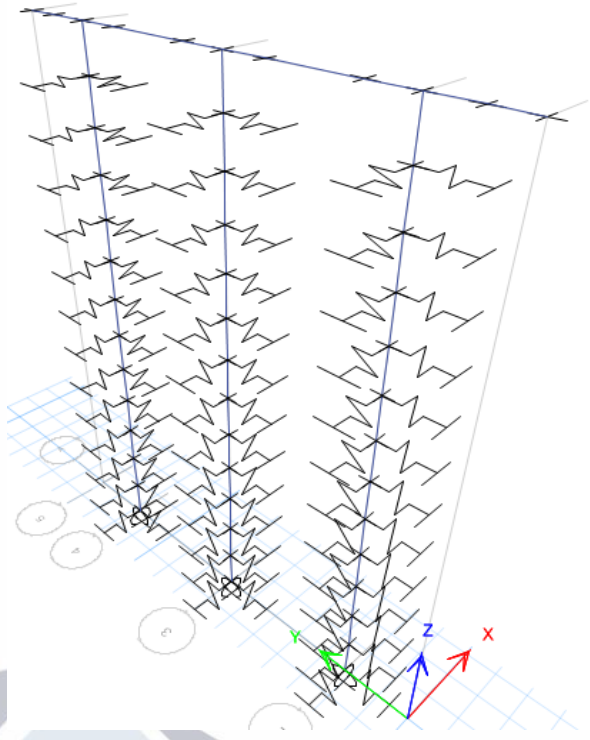
Factor de reducción

1	0.8	0.4	0.3
1,800	1,440	720	540
3,600	2,880	1,440	1,080
5,400	4,320	2,160	1,620
7,200	5,760	2,880	2,160
9,000	7,200	3,600	2,700
10,800	8,640	4,320	3,240
12,600	10,080	5,040	3,780
14,400	11,520	5,760	4,320
16,200	12,960	6,480	4,860
18,000	14,400	7,200	5,400
19,800	15,840	7,920	5,940
7,800	6,240	3,120	2,340
8,450	6,760	3,380	2,535
9,100	7,280	3,640	2,730
9,750	7,800	3,900	2,925
10,400	8,320	4,160	3,120

PRESENTACIÓN DEL MODELO

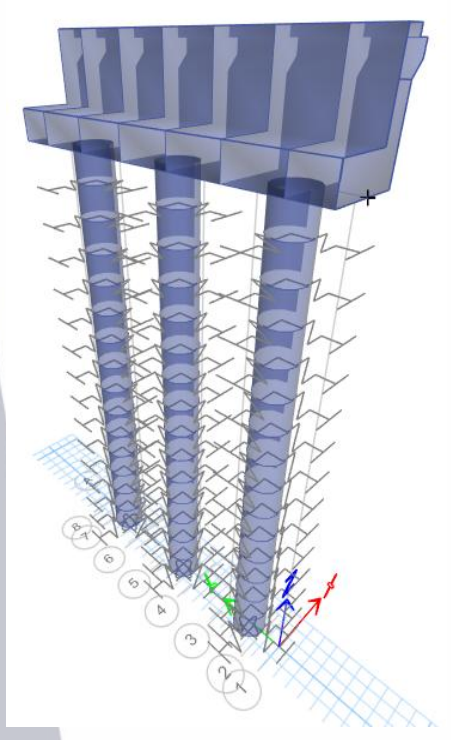


Estación 0+052.5

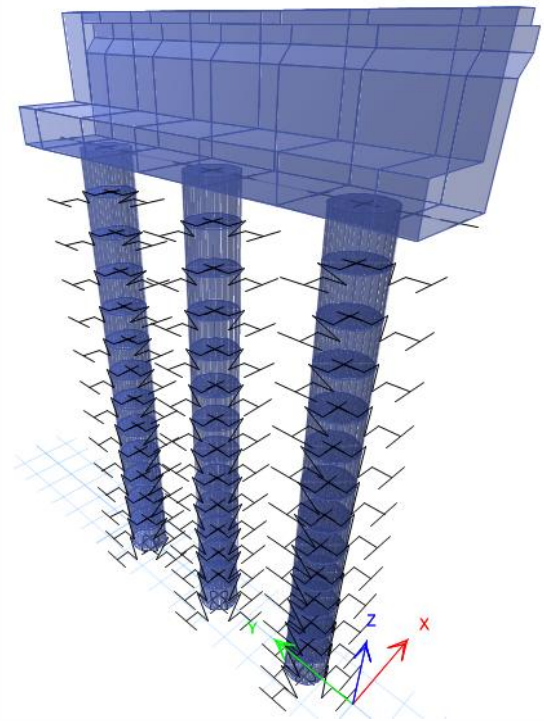


Estación 0+082.5

MODELOS DE ANÁLISIS

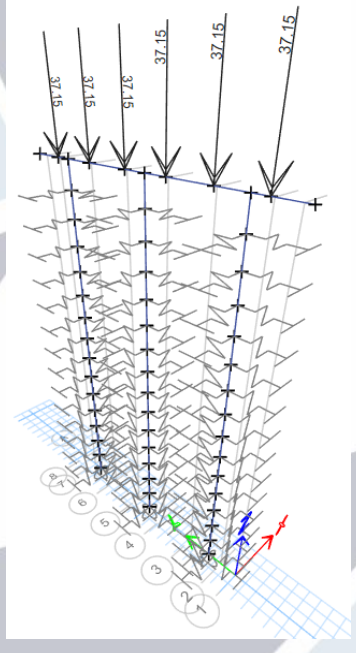


Estación 0+052.5

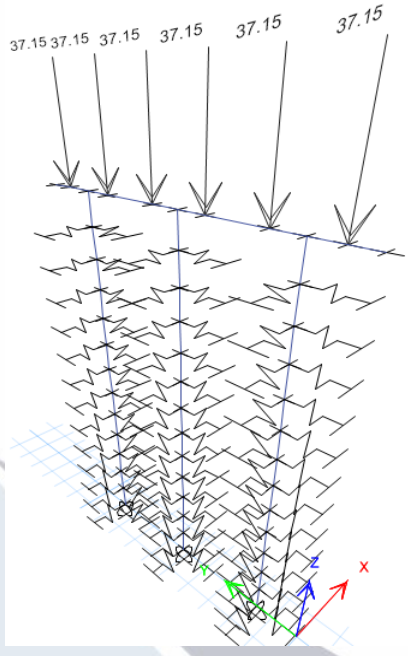


Estación 0+082.5

MODELOS DE ANÁLISIS
APLICACIÓN DE CARGAS EN MODELO

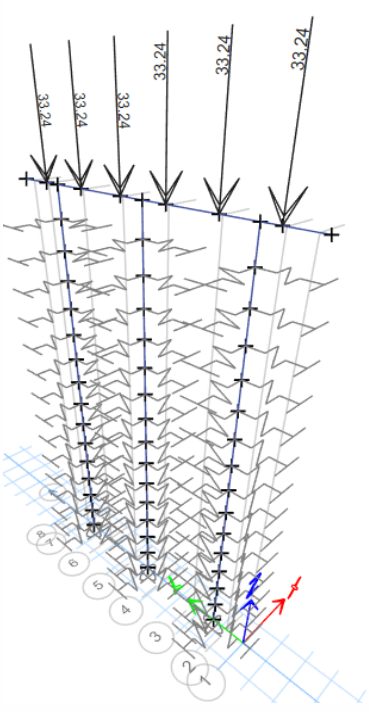


Estación 0+052.5

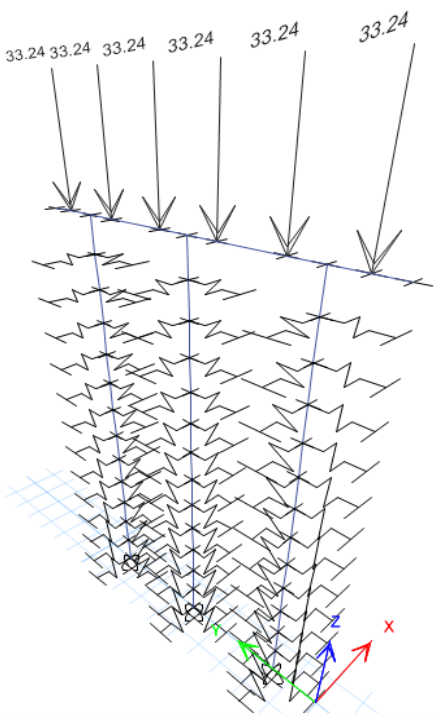


Estación 0+082.5

CARGAS MUERTAS (TON)

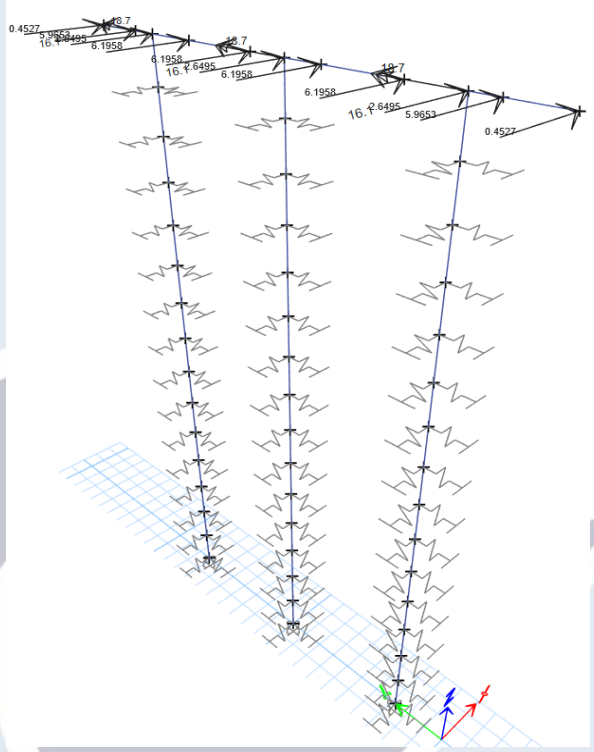


Estación 0+052.5

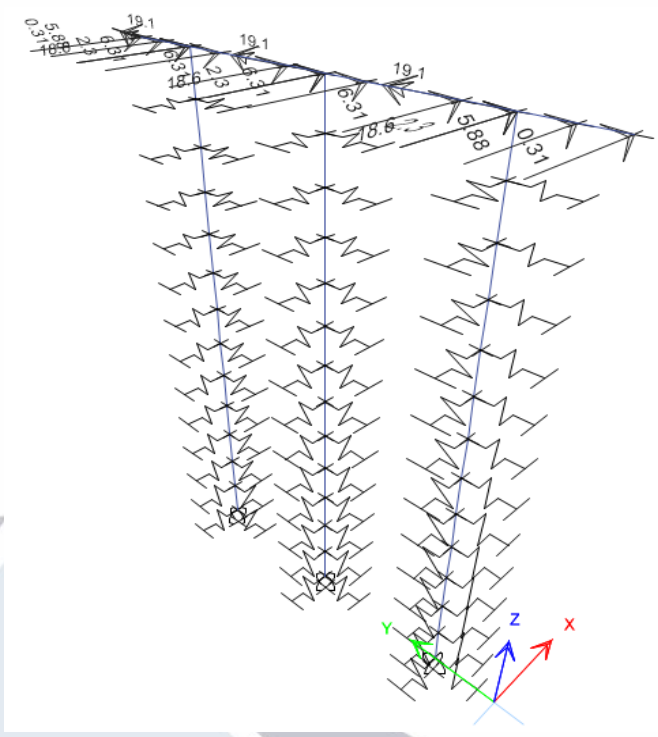


Estación 0+082.5

CARGA VIVA MÁXIMA (TON)

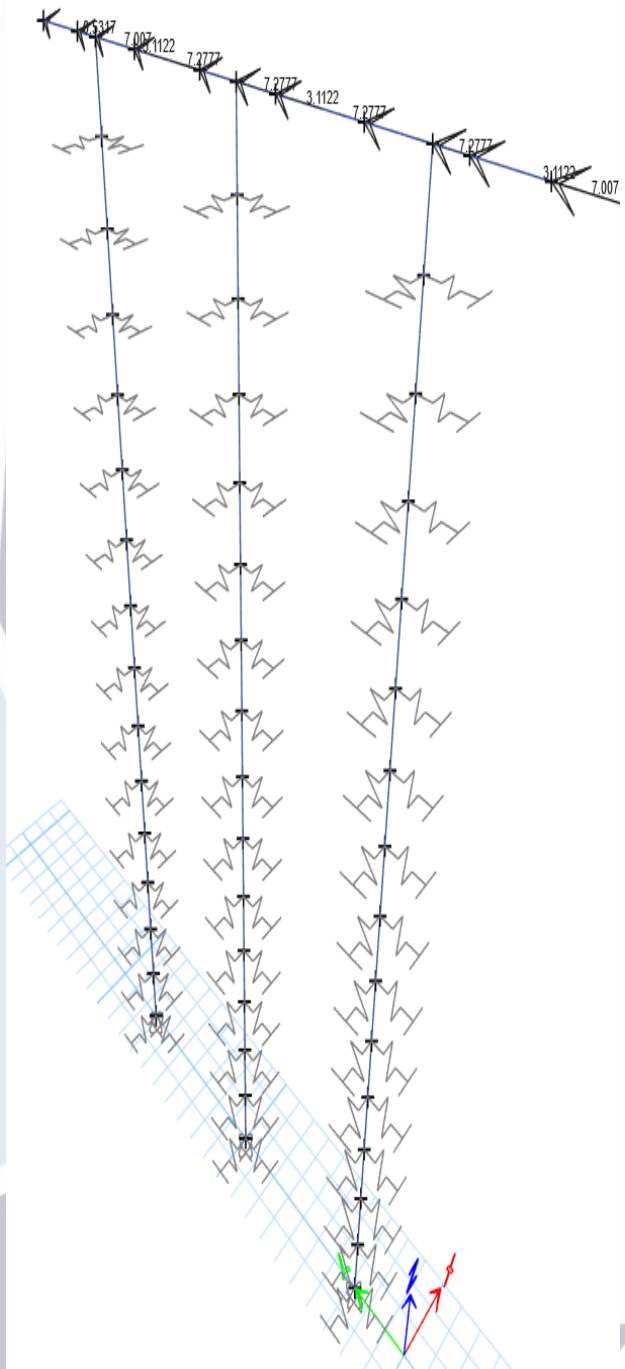


Estación 0+052.5

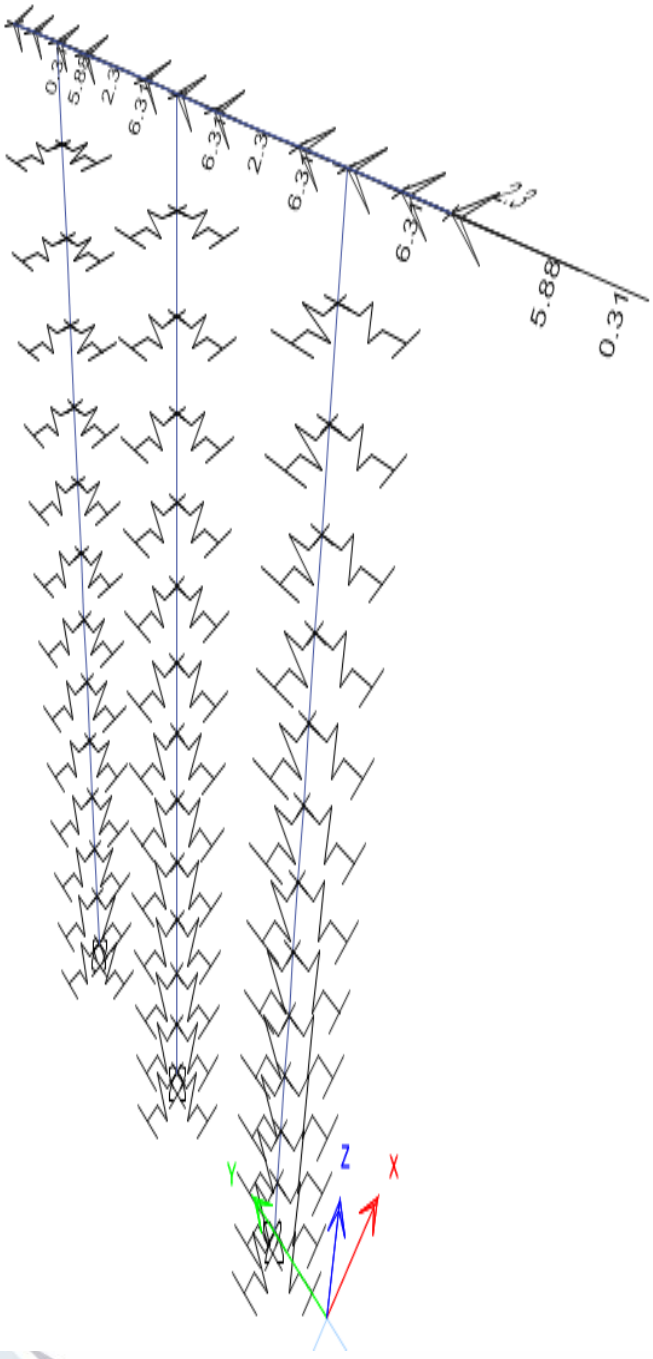


Estación 0+082.5

SISMO EN X (TON)

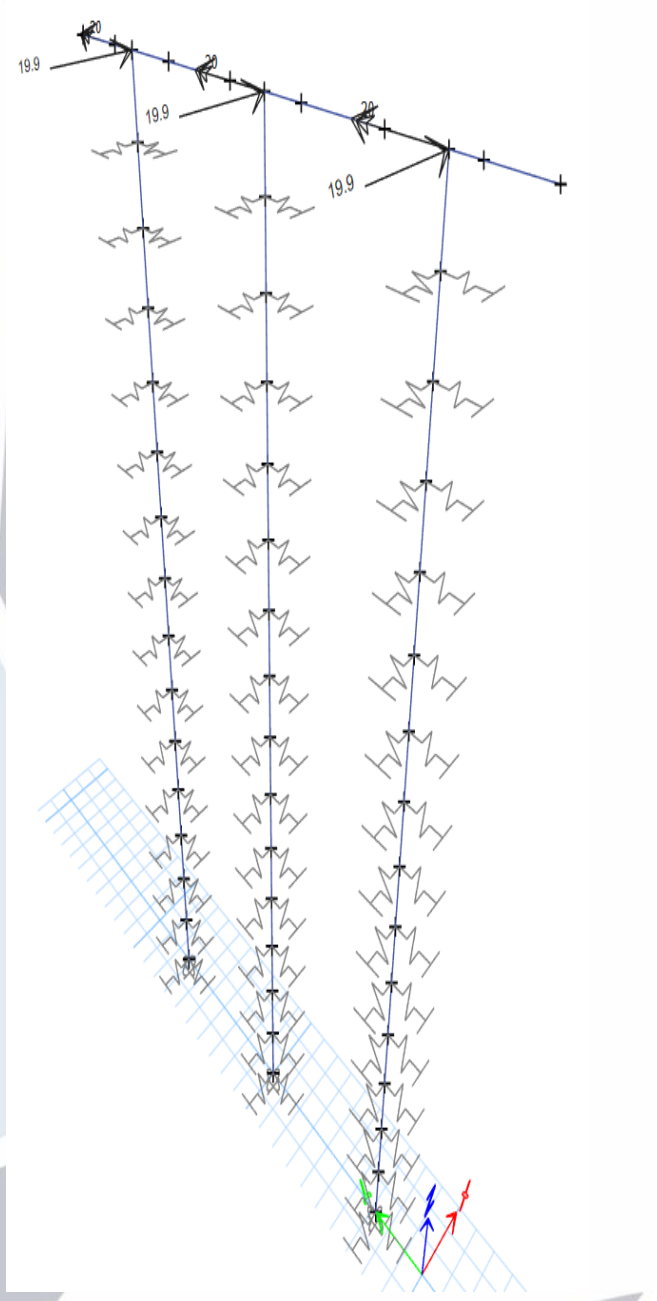


Estación 0+052.5

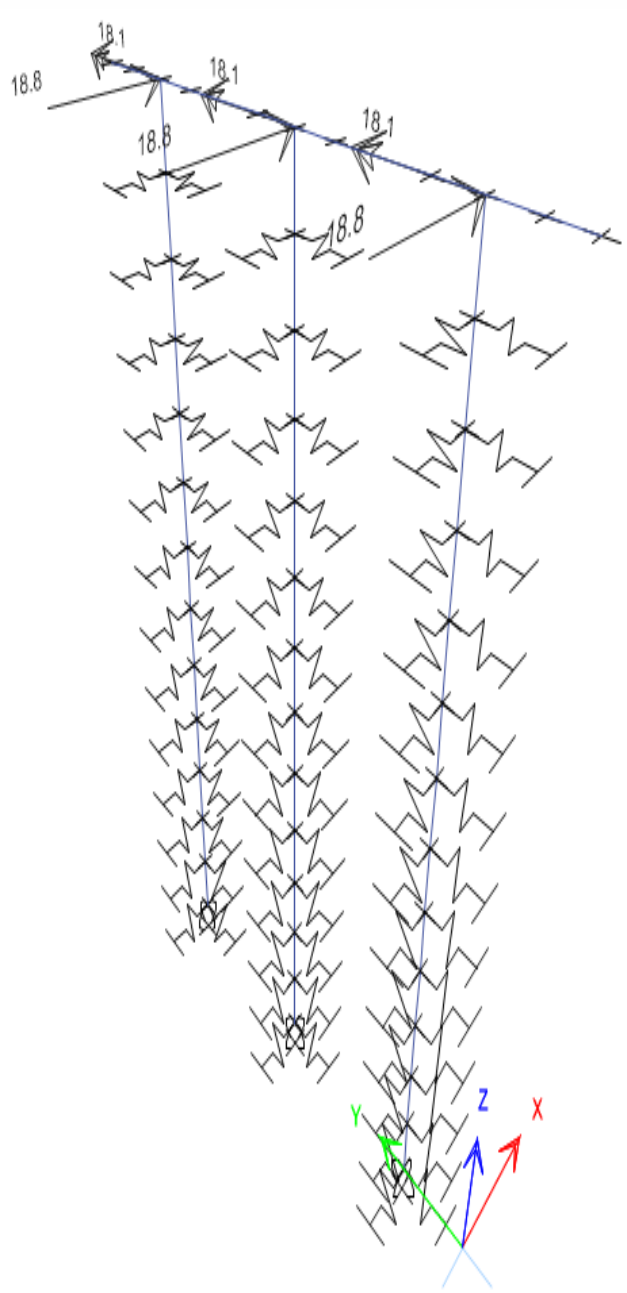


Estación 0+082.5

SISMO EN Y (TON)

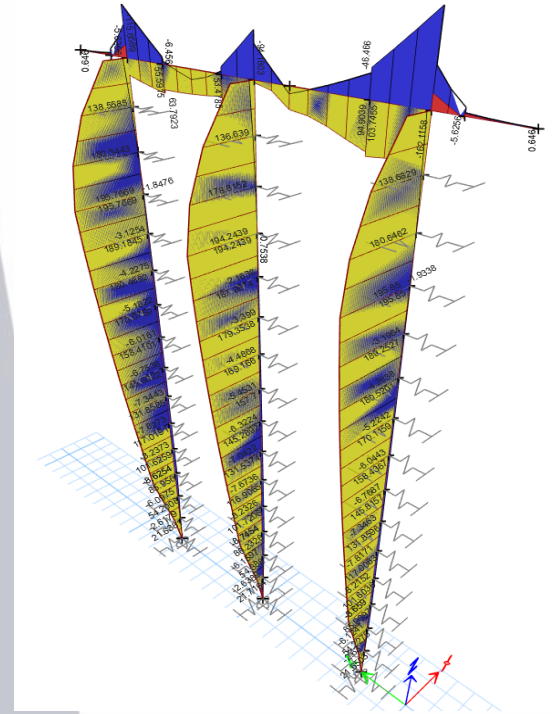


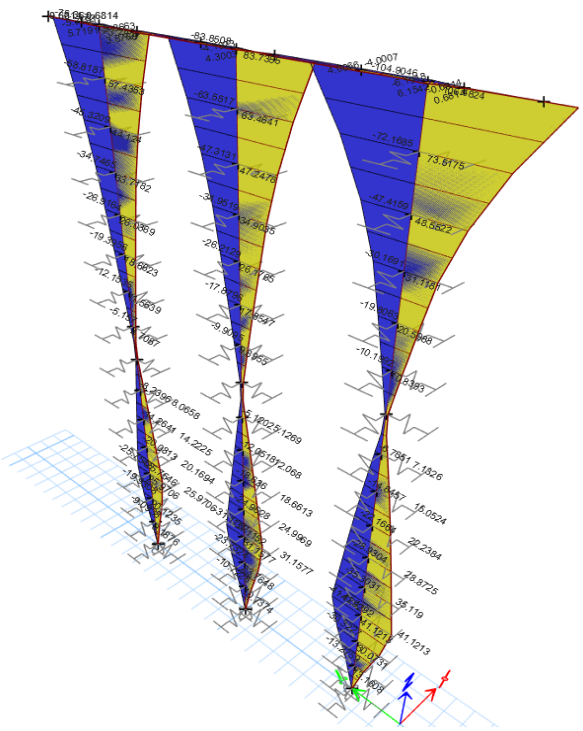
Estación 0+052.5



Estación 0+082.5

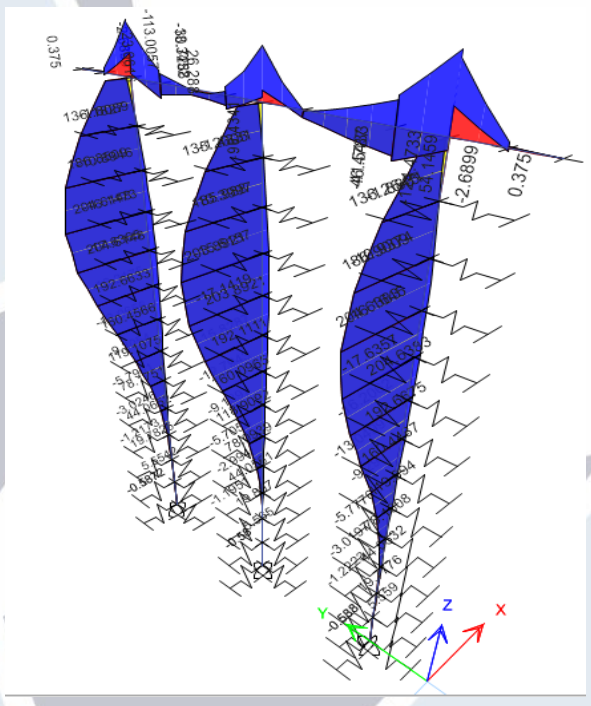
EMPUJE DE TIERRAS

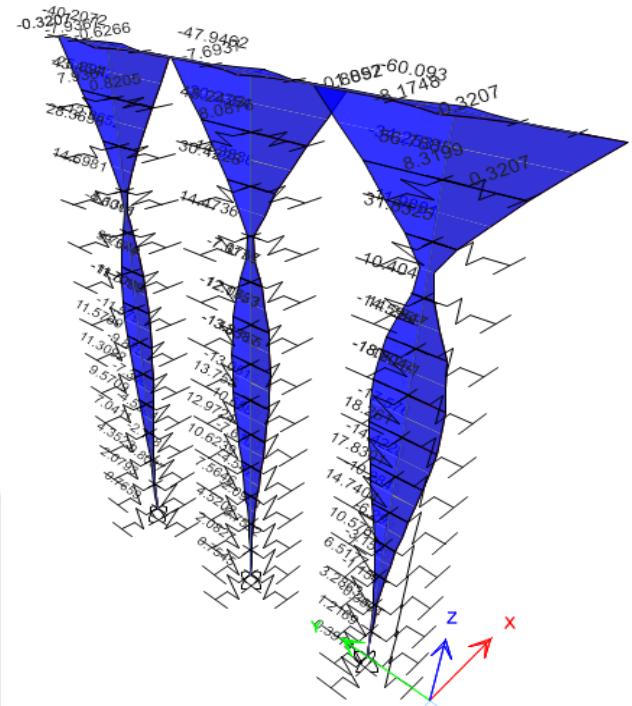




MOMENTOS FLEXIONANTES (TON-M)

Estación 0+052.5
COMBINACIÓN ENVOLVENTE

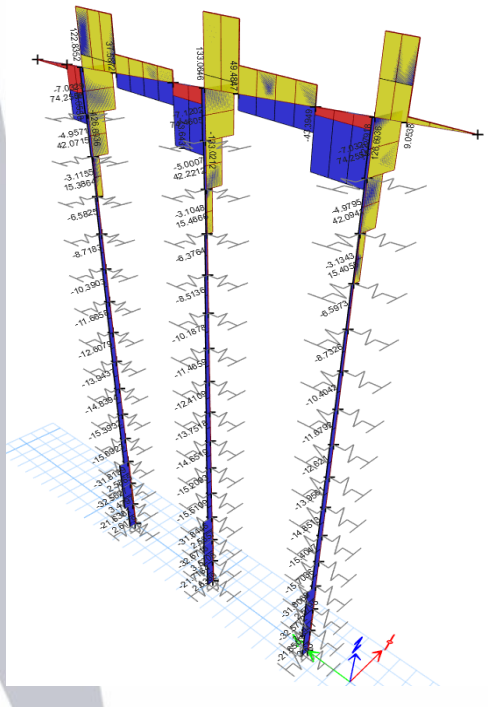


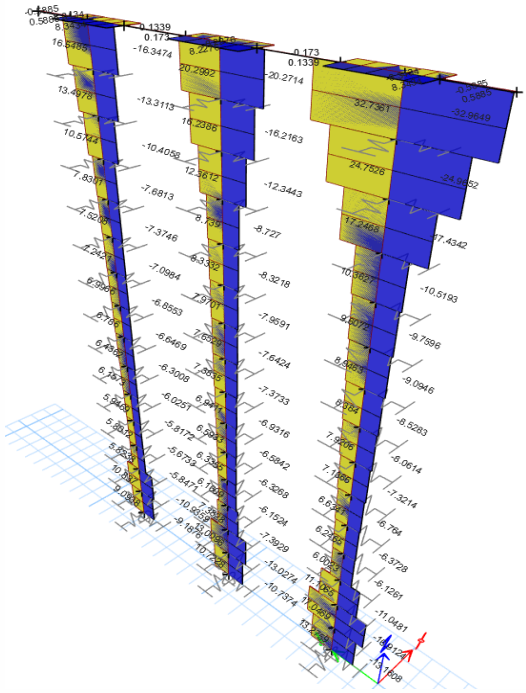


MOMENTOS FLEXIONANTES (TON-M)

Estación 0+082.5

COMBINACIÓN ENVOLVENTE

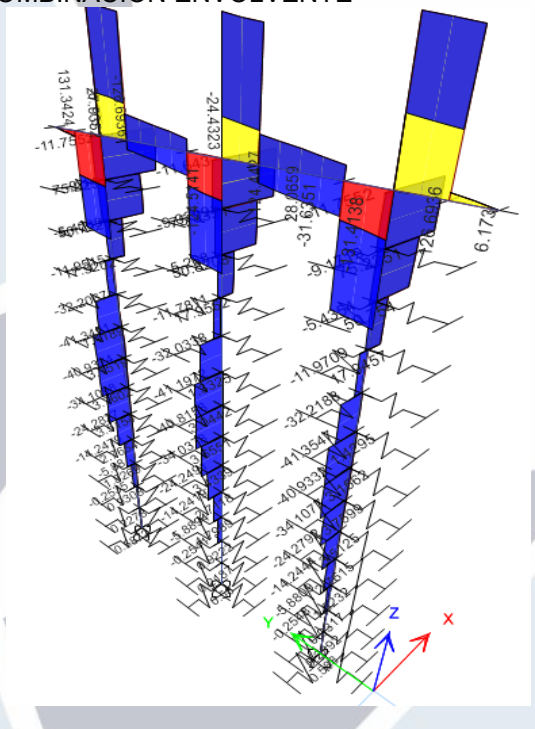


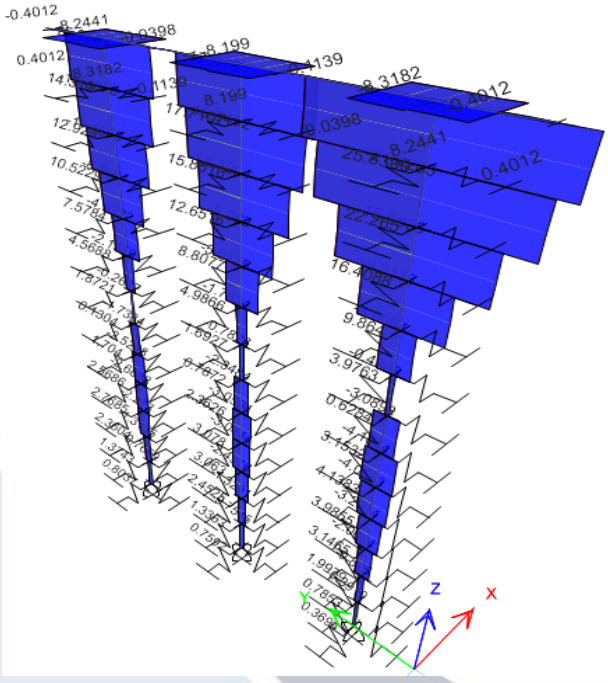


FUERZAS CORTANTES (TON)

Estación 0+052.5

COMBINACIÓN ENVOLVENTE

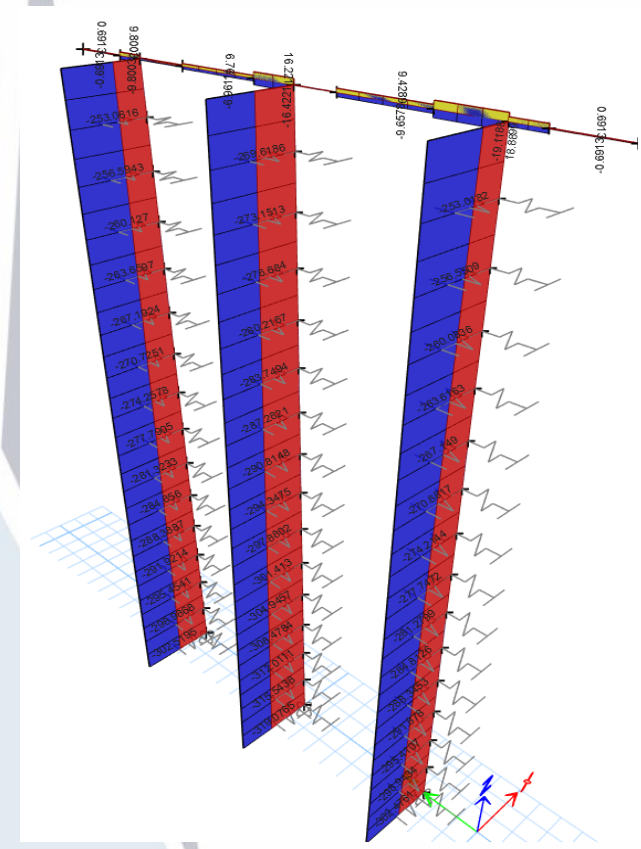




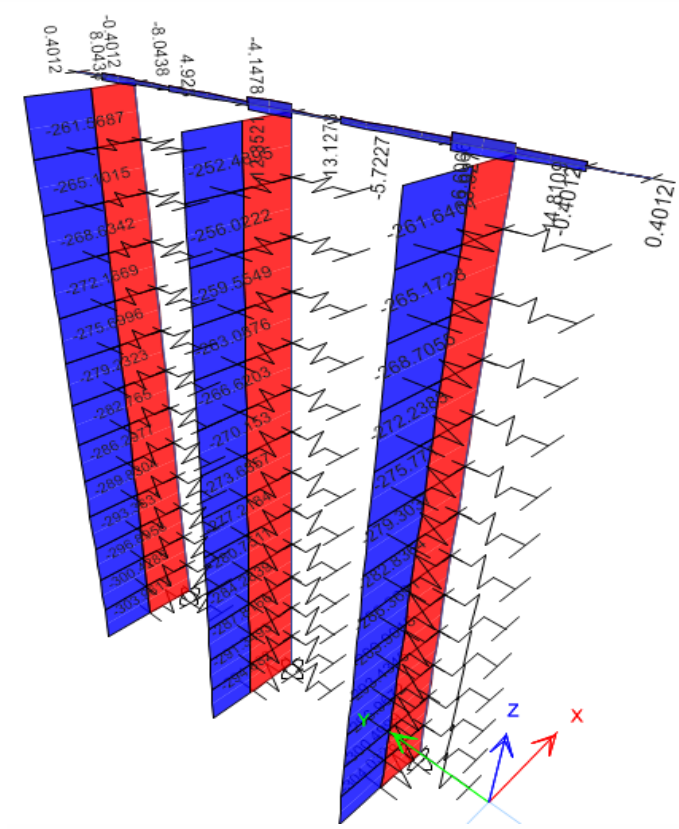
FUERZAS CORTANTES (TON)

Estación 0+082.5

COMBINACIÓN ENVOLVENTE



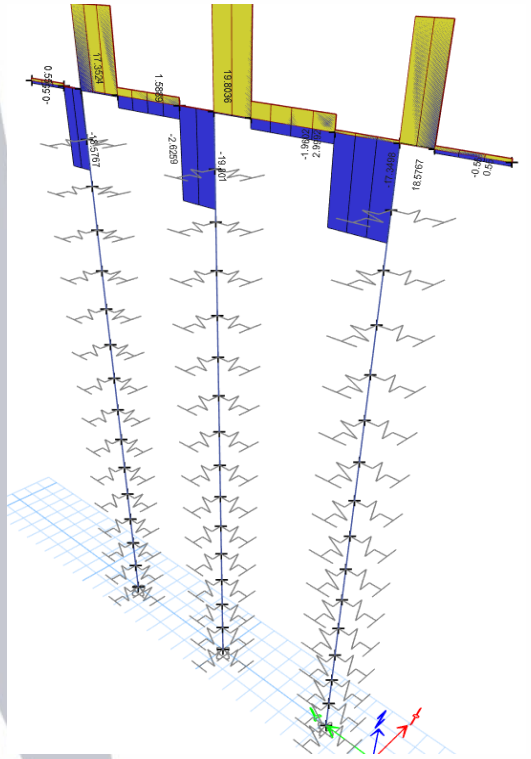
Estación 0+052.5



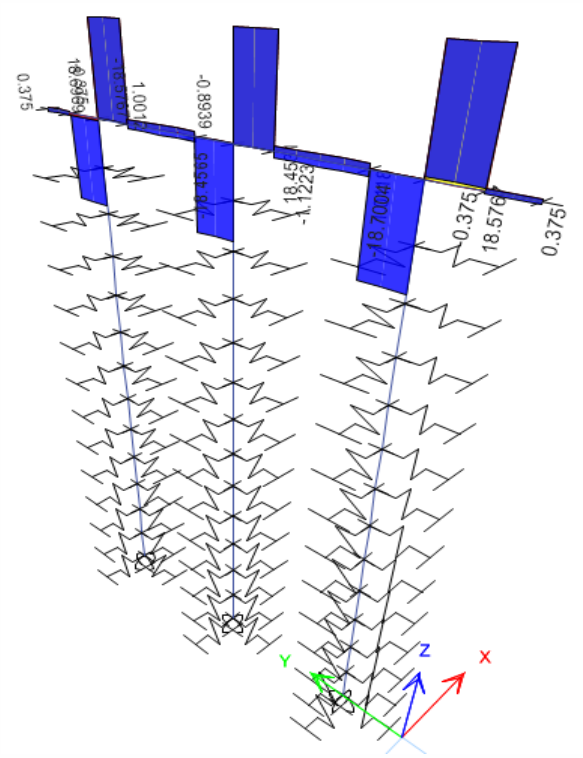
Estación 0+082.5

FUERZAS AXIALES (TON)

COMBINACIÓN ENVOLVENTE



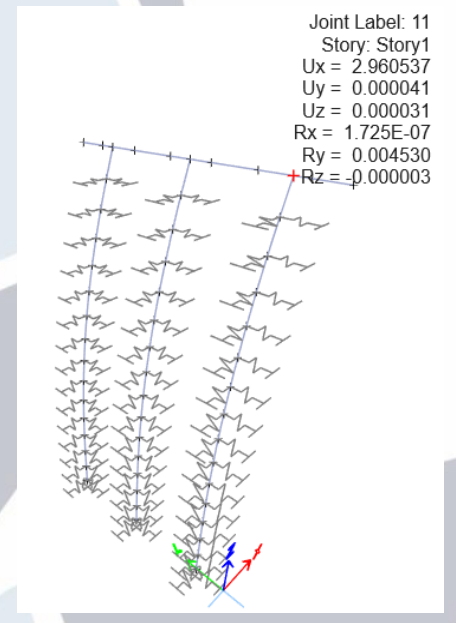
Estación 0+052.5

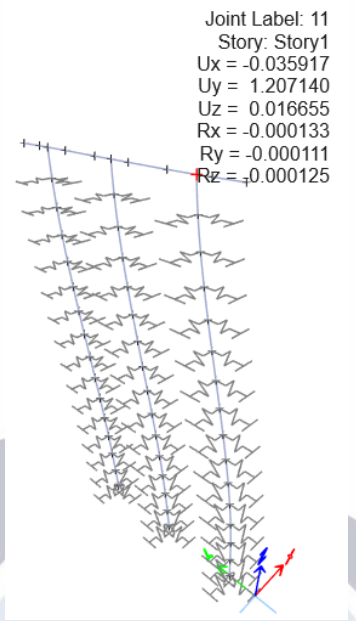


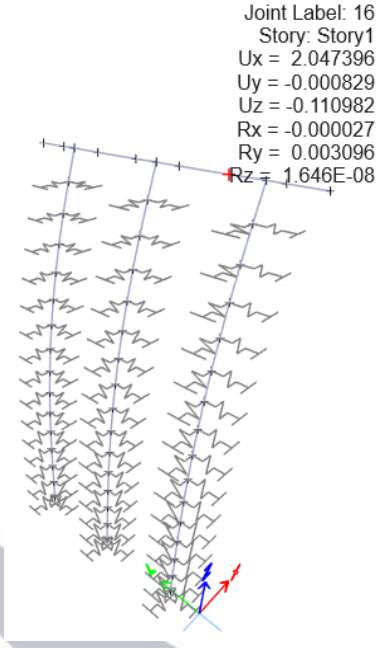
Estación 0+082.5

TORSIONES (TON-M)

COMBINACIÓN ENVOLVENTE

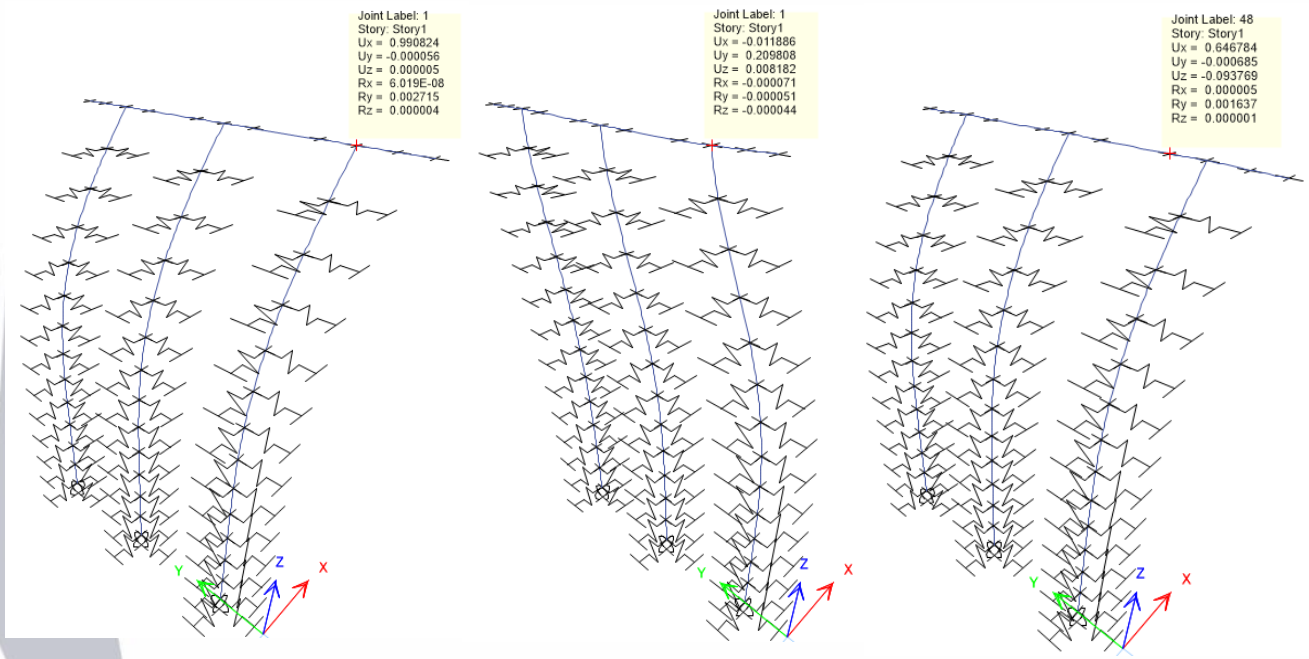






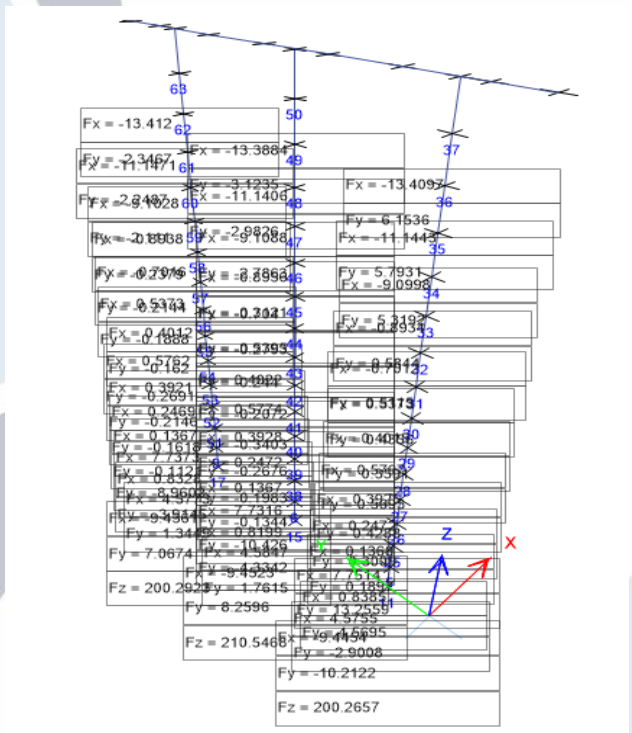
DEFORMACIONES [CM]

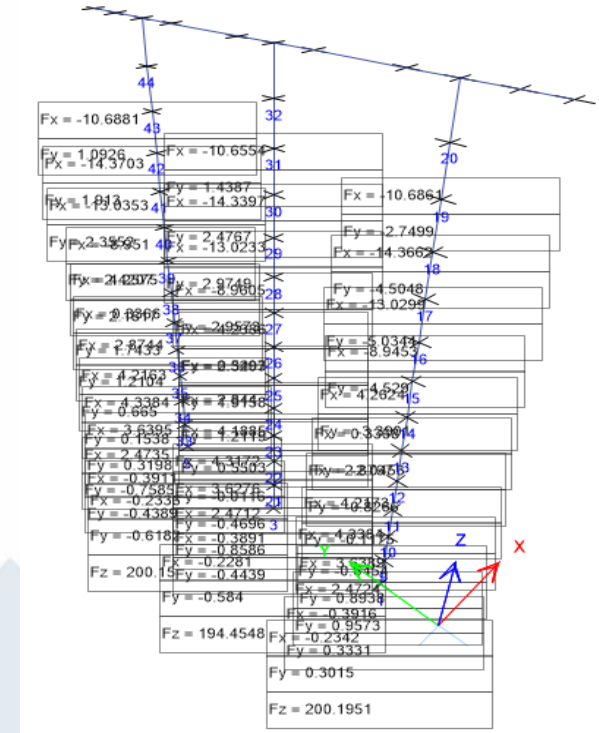
Estación 0+052.5



DEFORMACIONES [CM]

Estación 0+082.5





Estación 0+052.5

Estación 0+082.5

RESULTADOS DE ANALISIS
REACCIONES EN LOS APOYOS (TON, M)

COMBINACIÓN ENVOLVENTE

REVISIÓN DE ESTABILIDAD ANTE MOMENTO DE VOLTEO

Estación 0+052.5

Momento desestabilizante			Momento estabilizante		
Md =	204	ton-m	Me =	1,481	ton-m
			FS =	7	

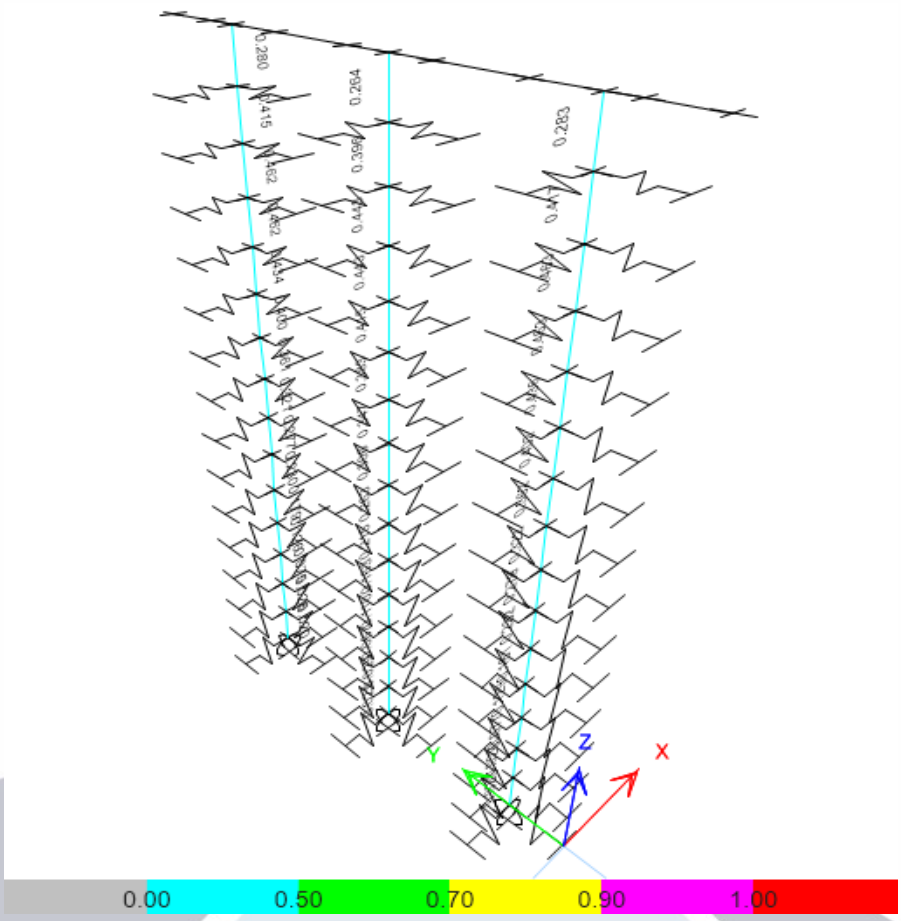
Md = 204 ≤ 1,481 = Me **OK**

Estación 0+082.5

Momento desestabilizante			Momento estabilizante		
Md =	125	ton-m	Me =	1,481	ton-m
			FS =	12	

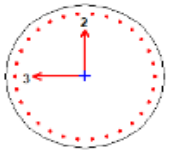
Md = 125 ≤ 1,481 = Me **OK**

DISEÑO Y REVISIÓN DE PILAS DE CONCRETO
EST.0+052.5



DISEÑO DE PILA D = 1.2 M + 30 VARILLAS # 8

ACI 318-19 Column Section Design (Summary)



Column Element Details

Level	Element	Unique Name	Section ID	Combo ID	Station Loc	Length (m)	LLRF	Type
Story1	C16	30	Pila 1.2 m	Fact 7 Sismo 1	1	1	1	Sway Special

Section Properties

d (m)	h_c (m)	dc (m)	Cover (Torsion) (m)
1.2	1.12776	0.07224	0.0373

Material Properties

E_c (tonf/m²)	f'_c (tonf/m²)	Lt.Wt Factor (Unitless)	f_y (tonf/m²)	f_{ys} (tonf/m²)
2424871.13	30000	1	42184.18	42184.18

Design Code Parameters

ϕ_T	ϕ_{CTied}	$\phi_{CSpiral}$	ϕ_{Vns}	ϕ_{Vs}	ϕ_{Vjoint}	Ω_0
0.9	0.65	0.75	0.75	0.6	0.85	2

Axial Force and Biaxial Moment Check for P_u , M_{u2} , M_{u3}

Design P_u tonf	Design M_{u2} tonf-m	Design M_{u3} tonf-m	Minimum M_2 tonf-m	Minimum M_3 tonf-m	Rebar % %	Capacity Ratio Unitless
121.742	-9.4333	209.4472	6.2381	6.2381	1.36	0.463

Axial Force and Biaxial Moment Factors

	C_m Factor Unitless	δ_{ns} Factor Unitless	δ_s Factor Unitless	K Factor Unitless	Length m
Major Bend(M3)	1	1.081038	1	1	15
Minor Bend(M2)	1	1.081038	1	1	15

Shear Design for V_{u2} , V_{u3}

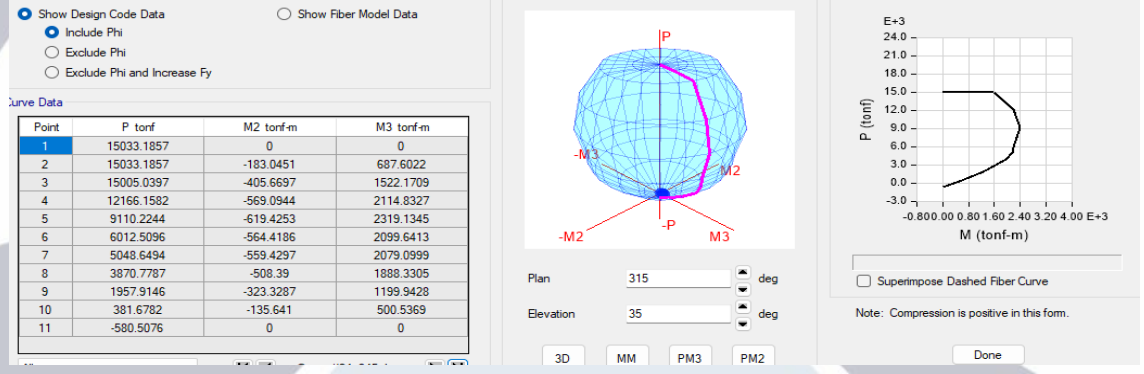
	Shear V_u tonf	Shear ϕV_c tonf	Shear ϕV_s tonf	Shear ϕV_p tonf	Rebar A_v/s m²/m
Major, V_{u2}	6.3523	58.5715	0	0	0
Minor, V_{u3}	3.0555	58.5715	0	0	0

Joint Shear Check/Design

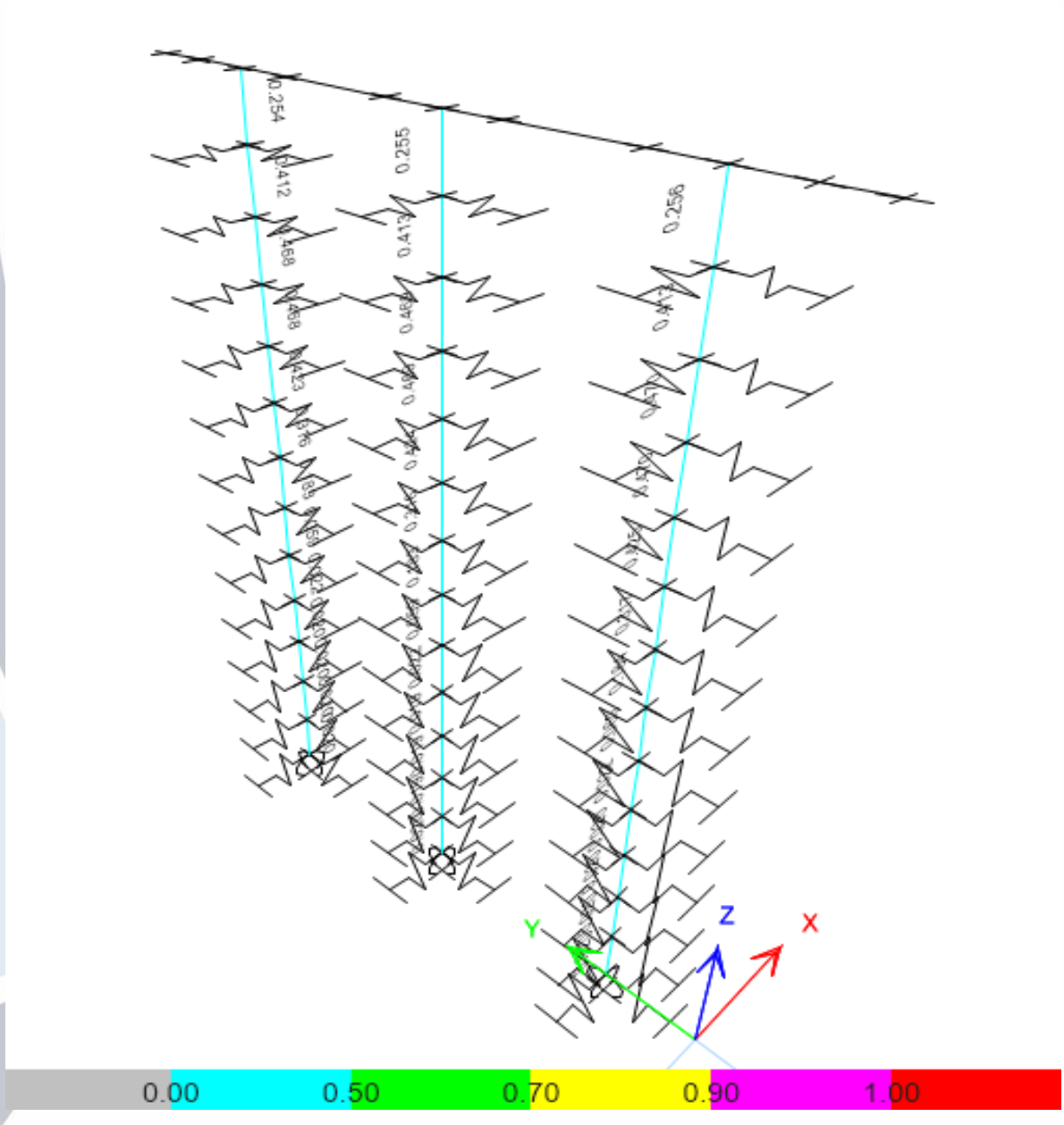
	Joint Shear Force tonf	Shear V_{uTop} tonf	Shear V_{uTor} tonf	Shear ϕV_c tonf	Joint Area m²	Shear Ratio Unitless
Major Shear, V_{u2}	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Minor Shear, V_{u3}	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

(6/5) Beam/Column Capacity Ratio

Major Ratio	Minor Ratio
N/A	N/A



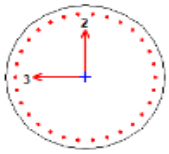
DISEÑO Y REVISIÓN DE PILAS DE CONCRETO
EST.0+082.5



DISEÑO DE PILA D = 1.2 M + 30 VARILLAS # 8

ETABS Concrete Frame Design

ACI 318-19 Column Section Design (Summary)



Column Element Details

Level	Element	Unique Name	Section ID	Combo ID	Station Loc	Length (m)	LLRF	Type
Story1	C13	18	Pila 1.2 m	Fact 7 Sismo 1	1	1	1	Sway Special

Section Properties

d (m)	h_c (m)	dc (m)	Cover (Torsion) (m)
1.2	1.12776	0.07224	0.0373

Material Properties

E_c (tonf/m²)	f'_c (tonf/m²)	Lt.Wt Factor (Unitless)	f_y (tonf/m²)	f_{ys} (tonf/m²)
2424871.13	30000	1	42184.18	42184.18

Design Code Parameters

ϕ_T	ϕ_{CTied}	$\phi_{CSpiral}$	ϕ_{Vns}	ϕ_{Vs}	ϕ_{Vjoint}	Ω_0
0.9	0.65	0.75	0.75	0.6	0.85	2

Axial Force and Biaxial Moment Check for P_u, M_{u2}, M_{u3}

Design P_u tonf	Design M_{u2} tonf-m	Design M_{u3} tonf-m	Minimum M_2 tonf-m	Minimum M_3 tonf-m	Rebar % %	Capacity Ratio Unitless
130.6227	7.1235	216.5347	6.6931	6.6931	1.36	0.47

Axial Force and Biaxial Moment Factors

	C_m Factor Unitless	δ_{ns} Factor Unitless	δ_s Factor Unitless	K Factor Unitless	Length m
Major Bend(M3)	1	1.064297	1	1	13
Minor Bend(M2)	1	1.064297	1	1	13

Shear Design for V_{u2}, V_{u3}

	Shear V_u tonf	Shear ϕV_c tonf	Shear ϕV_s tonf	Shear ϕV_p tonf	Rebar A_v/s m²/m
Major, V_{u2}	11.7051	59.4595	0	0	0
Minor, V_{u3}	3.1508	59.4595	0	0	0

Joint Shear Check/Design

	Joint Shear Force tonf	Shear $V_{u,Top}$ tonf	Shear $V_{u,Bot}$ tonf	Shear ϕV_c tonf	Joint Area m²	Shear Ratio Unitless
Major Shear, V_{u2}	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Minor Shear, V_{u3}	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

(6/5) Beam/Column Capacity Ratio

Major Ratio	Minor Ratio
N/A	N/A

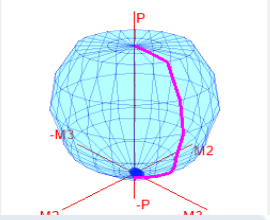
Display Options

- (●) Show Design Code Data
- ( ) Show Fiber Model Data
- (●) Include Phi
- ( ) Exclude Phi
- ( ) Exclude Phi and Increase Fy

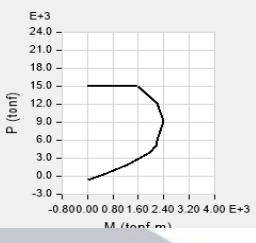
Curve Data

Point	P tonf	M2 tonf-m	M3 tonf-m
1	15033.1857	0	0
2	15033.1857	-183.0451	687.6022
3	15005.0397	-405.6697	1522.1709
4	12166.1582	-569.0944	2114.8327
5	9110.2244	-619.4253	2319.1345

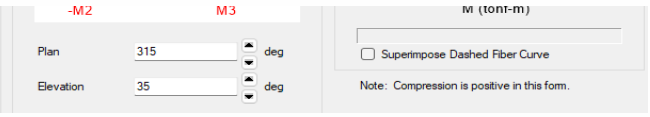
3D Interaction Surface



Current Interaction Curve



6	6012.5096	-564.4186	2099.6413
7	5048.6494	-559.4297	2079.0999
8	3870.7787	-508.39	1888.3305
9	1957.9146	-323.3287	1199.9428
10	381.6782	-135.641	500.5369
11	-580.5076	0	0



DISEÑO DE LA CORONA

DISEÑO DE TRABES

MATERIAL			
CONCRETO		ACERO	
f´c (Kg/cm²)	300.00	fy (Kg/cm²)	4,200
b_1	0.84	Es (Kg/cm²)	2,000,000
f"c (Kg/cm²)	250.71	fy (Kg/cm²)	2,530
Ec=	242,487		

CONSTANTES DE DISEÑO	
PMIN	0.002887
PBAL=	0.029345
PMAX=	0.026411

DISEÑO DE TRABES

CORONA	EJE	TRAMO	EXTREMO	WT	FC * WT	P	b	L
			KG/M	KG	M	KG	M	M
CRN-1	EST. 0+052.5							
CRN-2	EST. 0+082.5							

DISEÑO DE TRABES

CORONA	B	H	D	M (+)	MU(+)	q	P	As REQ
#REF!	CM	CM	CM	KG-M	KG-M			cm²
CRN-1	250	90	83.73	80,000	104,000	0.03	0.00	60.43
CRN-2	250	90	83.73	46,154	60,000	0.02	0.00	60.43

DISEÑO DE TRABES

CORONA	DIAM #	CANTIDAD	Se usaran	M(-)	MU(-)	q	P	As REQ
				KG-M	KG-M			cm²
CRN-1	8	11.93	12.00	124,769	162,200	0.04	0.00	60.43
CRN-2	8	11.93	12.00	95,769	124,500	0.03	0.00	60.43

DISEÑO DE TRABES

CORONA	DIAM #	CANT	Se usaran	V	VU	VCR	EST. DOB.	A CADA
				KG	KG	KG	#	KG
CRN-1	8	11.93	12.00	102,385	133100	70,084	4	21
CRN-2	8	11.93	12.00	101,538	132000	70,084	4	22

CONTRATO: [redacted]

“ESTUDIOS Y PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR "LA TORRECILLA" DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA”

ESTUDIO HIDROLÓGICO

3

ROCA SOULT, S.A. DE C.V.

[redacted]

CONTRATO: [redacted]

“ESTUDIOS Y PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR "LA TORRECILLA" DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA”

ESTUDIO HIDRÁULICO

4

ROCA SOULT, S.A. DE C.V.

[redacted]

ANÁLISIS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

PUENTE VEHICULAR ‘LA TORRECILLA’ DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA

Dirección: CAMINO A DOLORES ENTRE RIO ZAHUAPAN Y BARRANCA DE SANCHEZ, Xicohtzinco, Tlaxcala

Fecha: diciembre 2025

Contenido

Reporte técnico: Análisis hidrológico e hidráulico 1
Puente vehicular “La Torrecilla” ubicado en el municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala 1
Resumen ejecutivo 5
Análisis Hidrológico 5
Análisis Hidráulico 5
Información general 7
Análisis hidrológico 8
Objetivo 8
Caracterización fisiográfica de la cuenca 8
Descripción física de la cuenca 8
Localización geográfica 8
Análisis de las tormentas 9
Parámetros físicos y de red de drenaje de la cuenca 9
Edafología 10
Uso de suelo 10
Tiempo de concentración 11
Componentes climatológicos del escurrimiento 12
Análisis de la información climatológica disponible 12
Análisis de frecuencias 13
Función de distribución Normal 13
Función de distribución logarítmica Normal 14
Función de distribución de Pearson 14
Función de distribución de Gumbel 15
Determinación de la función de mejor ajuste 16
Precipitación media 18
Proceso estadístico de lluvias máximas diarias 18
Método de Hershfield 19
..... 19

Método de la Organización Meteorológica Mundial 19
Curvas P – D – Tr e I – D – Tr 21
Clasificación de usos de suelo y obtención del Número de Curva (CN) para suelos Cambisol eútricos 23
Coeficientes de escurrimiento 26
Escurrimiento superficial 36
Determinación de la avenida de diseño 36
Método Racional 36
Método Racional Americano Unitario 37
Hidrograma Unitario Adimensional (US SCS) 38
Hidrograma Unitario Adimensional 39
Resumen de gastos 40
Conclusiones 41
Análisis hidráulico HEC – RAS 44
Componente del medio físico 44
Secciones transversales 44
Elementos artificiales del cauce 45
Información topográfica y geométrica 46
Sistema de modelación hidráulica HEC -RAS 47
Modelación 2D 48
Modelación 1D Tr = 100 años, Q=201.73 m^3/s 48
Modelación 1D Tr = 50 años, Q=174.054 m^3/s 50
Características técnicas de y sus aplicaciones 52
Coeficiente de rugosidad de Manning 52
Coeficientes de contracción y expansión 53
Condición de contorno 53
Tipo de régimen 53
Modelación hidráulica 54
Resultados Tr 50 años 54
Resultados Tr 100 años 56

Resultados generales de HEC RAS..... 60

Resumen ejecutivo

El presente estudio comprende el análisis hidrológico e hidráulico del cauce donde se ubica el Puente Vehicular “La Torrecilla”, con el objetivo de evaluar su capacidad de conducción, el comportamiento del flujo ante diferentes avenidas y las condiciones de riesgo hidráulico para la infraestructura existente. La metodología se desarrolló conforme a los lineamientos técnicos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y a las mejores prácticas de modelación mediante HEC-RAS.

La cuenca pertenece a la RH18Ad, de la subcuenca del Rio Atoyac – San Martin Texmelucan, siendo una cuenca de tipo exorreica. El lugar a donde drena corresponde a RH18Ac presa Manuel Ávila Camacho.

Análisis Hidrológico

Para la determinación de los caudales de diseño se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

1. Caracterización de la cuenca aportante, identificando superficie, pendiente promedio, tipo de uso de suelo y características del drenaje.
2. Obtención y depuración de registros pluviométricos de estaciones cercanas, integrando información de precipitación máxima anual.
3. Ajuste estadístico de distribución de frecuencias (Gumbel, Log-Pearson III u otras aplicables) para los periodos de retorno requeridos, conforme a criterios normativos.
4. Construcción de hietogramas de diseño y estimación de intensidades aplicables a la cuenca.
5. Cálculo de la escorrentía mediante el método del SCS-CN o método racional, según la escala de la cuenca.
6. Determinación de caudales pico y curvas hidrograma-avenida, que sirven como insumo para la modelación hidráulica.

Análisis Hidráulico

El comportamiento del flujo en el cauce y a través del puente se evaluó mediante un modelo unidimensional en HEC-RAS, siguiendo los pasos:

1. Levantamiento y depuración de la geometría, incorporando:
    - Secciones transversales del río aguas arriba y aguas abajo.
    - Perfil longitudinal del cauce.
    - Geometría completa del puente: losa, claro, pilas, estribos y rasante.

2. Generación del modelo hidráulico, definiendo:
    - Coeficientes de rugosidad de Manning acorde con las características del cauce
    - Condiciones iniciales y límites de flujo
    - Caudales de entrada correspondientes a los periodos de retorno analizados

Ejecución de simulaciones para flujo permanente, obteniendo:

- Tirantes máximos
- Niveles de agua respecto a la estructura
- Áreas susceptibles a desbordamiento

Evaluación de capacidad hidráulica del puente, verificando:

- Altura libre disponible
- Condiciones de remanso y posibles obstrucciones
- Riesgos potenciales por obstrucción, socavación o insuficiencia de sección

Análisis comparativo entre escenarios, para identificar la respuesta del cauce ante crecientes ordinarias y extraordinarias

Información general

El puente se ubica en zona rural del municipio de Xicohtzinco, en la comunidad o zona denominada como Santo Toribio, el municipio cuenta con una población de 14197 habitantes, de acuerdo con el censo 2020.

El municipio pertenece al suroeste del Valle Puebla – Tlaxcala, región donde converge parte de la cuenca aluvial del sistema hídrico que incluye los ríos del valle, es un territorio caracterizado por planicies agrícolas e historia de uso rural.

El puente La Torrecilla sirve para conectar la zona agrícola de la propiedad ejidal / pequeña propiedad con el ejido de Xicohtzinco, facilitando la movilidad de habitantes rurales y acceso a sus parcelas o comunidades, su existencia es relevante para la población rural, ya que funge como vínculo vial entre áreas dispersas del municipio.

En la comunidad de Santo Toribio —zona donde se encuentra el puente— predominan usos del suelo rural, con población vinculada a actividades agrícolas, lo que incrementa la importancia de vías de comunicación como el puente para transporte de personas, bienes agrícolas y acceso a servicios.



Análisis hidrológico

Objetivo

El estudio hidrológico tiene como objetivo conocer los caudales en régimen natural de la máxima crecida ordinaria y de otras avenidas mediante el análisis de las lluvias a 24 h

Se compone de la siguiente manera:

- Análisis de tormentas: se basa en los registros histórico de la precipitación máxima a 24 horas de las estaciones meteorológicas más cercanas al sitio de estudio, para obtener la tormenta de diseño para diferentes periodos de retorno mediante el análisis estadístico y probabilístico.
- Hidrografía de la cuenca establece los parámetros hidrológicos de tiempos de concentración y coeficientes de escurrimientos, para las diferentes áreas de captación.
- Avenida de diseño para obtener los gastos de diseño de acuerdo con las características el sitio, realizando un análisis para diferentes periodos de retorno.

Caracterización fisiográfica de la cuenca

Descripción física de la cuenca

La cuenca de análisis cuenta con una extensión de 68.907 km².

Localización geográfica

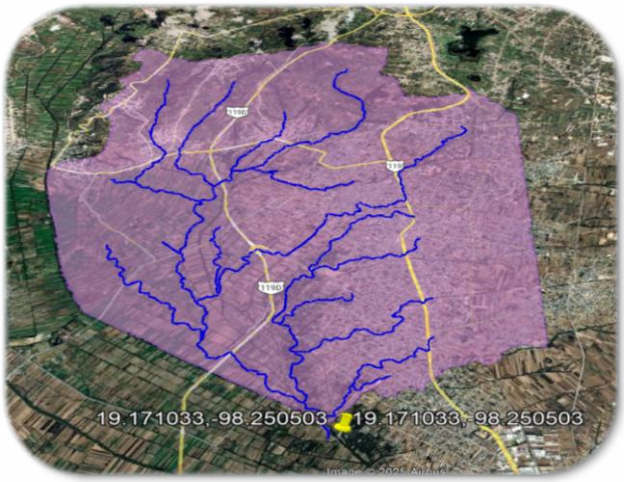


Ilustración 1. Cuenca de estudio. Fuente: Propia (2025)

Análisis de las tormentas

Una tormenta es un evento meteorológico que produce una precipitación o lluvia esta debería medirse con los pluviógrafos que registren la distribución de la tormenta de inicio a fin. Sin embargo, la mayoría de las estaciones meteorológicas dentro de la República Mexicana está equipadas únicamente con pluviómetros que solo registran las láminas de lluvia acumuladas a 24 horas o no se tiene la información de la interpretación de los pluviogramas.

La frecuencia de las precipitaciones máximas en 24 horas se obtendrá empleando el registro histórico de estaciones climatológicas preferentemente del Servicio Meteorológico Nacional de la CONAGUA, que se analizarán estadística y probabilísticamente, para periodos de retorno de 2, 5 ,10, 25, 50 y 100 años de la cuenca de estudio.

Las curvas I – D – Tr se obtendrán a partir de las precipitaciones para duraciones de una hora y menores aplicando el método de la U. S. Weather Bureau, Método de Hershfield.

Parámetros físicos y de red de drenaje de la cuenca

Una vez delimitada la cuenca de estudio, se procesa la información obteniendo las características físicas que se muestran a continuación en la tabla 1:

Tabla 1. Características fisiográficas de la cuenca de estudio. Fuente: Propia (2024)

Parámetro	Valor	Unidad
Área =	68907000	m²
Perímetro =	55128	m
L cauce =	15847	m
Sc Taylor =	0.715	%
Elev. Máx=	2369.4	msnm
Elev. Mín=	2179.36	msnm

Para la delimitación de la cuenca se obtuvo la información de la página del INEGI con las curvas de nivel y corrientes que delimitan el sitio de estudio, y así proceder a la delimitación de la cuenca, se obtiene como resultado de los análisis que de acuerdo con el coeficiente de compacidad se relaciona a una cuenca asimétrica, irregular con fuertes relieves.

Los parámetros de la red de drenaje se obtuvieron a partir de la información del INEGI que se procesó en AUTOCAD, se determinó que el tipo de corriente es intermitente ya que transporta agua durante la época de lluvia.

Presenta una pendiente del cauce principal es del orden de 0.715% lo cual se considera una pendiente medianamente accidentada tabla 2.

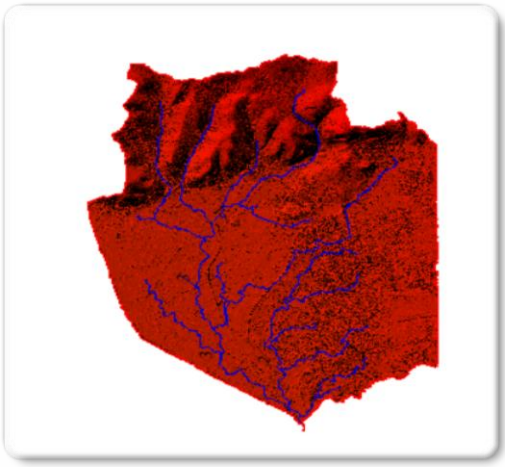


Ilustración 2. Delimitación de la cuenca de estudio, corriente principal y red de drenaje. Fuente: Propia (2025)

Edafología

La edafología se encarga del estudio del suelo, desde otro punto de vista se pueden obtener datos como el tipo de suelo que tiende a ser el estrato, es decir, estudia la parte superficial de la corteza terrestre y esto para poder comprender el comportamiento que puede tener, así como lo que lo rodea.

En el área de estudio se presentó un suelo de tipo Cambisol/Eutrico identificándolo como tipo C, donde el 100% de la cuenca delimitada se encuentra conformado por este tipo de suelo.

Uso de suelo

Una vez llevado a cabo el análisis de la estación con área de influencia en la zona de estudio, se emplean los datos de precipitación anual y precipitación máxima a 24 h, para lo cual se procesa la información para obtener los parámetros empleados en el cálculo del gasto en la zona de estudio.

Para la obtención de los coeficientes de escurrimiento se emplean las tablas y la fórmula de los valores K en función del tipo y uso del suelo como se indica en la NOM - 011 - CONAGUA - 2015.

- Si en la cuenca de estudio existen diferentes tipos y usos de suelo, el valor K se calcula como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas y obtener el promedio ponderado de ellas.
- Una vez obtenido el valor de K, el coeficiente de escurrimiento anual (Ce) se calcula mediante las siguientes fórmulas.

K, parámetro que depende del tipo y uso del suelo

Coeficiente de escurrimiento anual (Ce)

Si K resulta menor o igual que 0.15

$$C_e = \frac{K(9-250)}{2000}$$

Si K es mayor que 0.15

$$C_e = \frac{K(9-250)}{2000} + \frac{K+0.15}{1.5}$$

P; Precipitación anual, mm

Rango de validez, las fórmulas se consideran válidas para valores de precipitación anual entre 350 y 2150 mm

Tiempo de concentración

El tiempo de concentración (Tc) se describe como el intervalo de tiempo que requiere una gota de agua para desplazarse desde el punto más distante de la cuenca hasta el punto de descarga o salida. Se dispone de diversas fórmulas para calcularlo, que incluyen Kirpich, Témez, CHPW y Giandotti.

En el cálculo del tiempo de concentración con cada método, se emplea la información obtenida de las características físicas de la cuenca como lo son: el área de la cuenca (Ac), la longitud del cauce principal (Lc) y la pendiente del cauce principal (Sr). Se realiza el cálculo por cada uno de los métodos previamente mencionados y se establece el tiempo más apropiado.

Tabla 2. Resultados de determinación de los tiempos de concentración. Fuente:

Método	hr	mín
Kirpich	3.726	223.572
CHPW	3.058	183.486
Témez	7.380	442.804
Giandotti	5.166	309.970

El análisis hidrológico realizado para la cuenca en estudio arrojó un tiempo de concentración (Tc) de 223.57 minutos (Kirpich), valor que resulta significativamente alto para una cuenca clasificada como pequeña. Esta condición tiene varias implicaciones técnicas que deben considerarse en la interpretación de los resultados y en la selección del método de estimación de caudales de diseño.

Un tiempo de concentración de esta magnitud sugiere que la cuenca presenta condiciones fisiográficas que favorecen una respuesta lenta al evento de precipitación, tales como pendientes reducidas, longitudes de escurrimiento considerables, rugosidades altas, o bien un régimen de infiltración significativo. Estas características modifican el comportamiento hidrológico esperado para cuencas pequeñas, las cuales tienden a responder con rapidez ante episodios de lluvia intensa.

Implica que las tormentas de corta duración dejan de ser representativas para la generación del gasto máximo, debido al desfase entre el pico de precipitación y el momento en que el flujo alcanza su concentración total. Esto afecta directamente la selección de la tormenta de diseño, ya que obliga a emplear duraciones de lluvia mayores, acordes con el tiempo de respuesta propio de la cuenca.

Asimismo, tiene consecuencias relevantes en la aplicabilidad de ciertos métodos hidrológicos, particularmente el Método Racional, cuyo uso está recomendado para cuencas pequeñas con tiempos de concentración cortos y tormentas de rápida respuesta. En este caso, el valor obtenido excede los rangos aceptables para dicho método, lo que justificaría la adopción de metodologías más robustas, como el método SCS o modelos lluvia–escurrimiento de carácter distribuido, conforme a los criterios comúnmente aplicados por la CONAGUA.

Es importante destacar que un Tc elevado influye en la forma del hidrograma, resultando en un ascenso más paulatino y picos de gasto relativamente menores, pero con duraciones más prolongadas, lo cual debe ser contemplado al evaluar riesgos de inundación, capacidad hidráulica de infraestructura y diseños de obras de control.

Componentes climatológicos del escurrimiento

Análisis de la información climatológica disponible

Para seleccionar la estación climatológica se hace a partir de Google Earth, donde se ubica el polígono de la cuenca, así como su centroide, se activa la capa de Estaciones Climatológicas obtenidas del Servicio Meteorológico Nacional, para la selección de la estación climatológica se emplea el método de Polígonos de Thiessen y así definir el área de influencia de cada una de las estaciones cercanas al sitio.

Una vez identificadas las estaciones climatológicas se determinaron las que tenían área de influencia las cuales se muestran a continuación en la tabla 3:

Tabla 3.Datos de la estación climatológica Clave 14065. Fuente: ERIC (2024)

CLAVE	29169
NOMBRE	ZACATELCO
ESTADO	TLAXCALA
MUNICIPIO	ZACATELCO
ORG_CUENCA	BALSAS
CUENCA	RÍO ALTO ATOYAC
TIPO_EST	CLIMATOLÓGICA
INICIO	1994-10-01
MAS_RECIENTE	2024-07-12
SITUACION	OPERANDO
LONGITUD	-98.24305556
LATITUD	19.21944444

Se realiza el procesamiento de la información para obtener la estadística y conseguir la función de distribución que mejor se ajusta al registro histórico, para proceder posteriormente a la generación de las curvas P – D – Tr e I – D – Tr respectivamente.

Análisis de frecuencias

En estadística existen muchas funciones de distribución de probabilidad teóricas, para este estudio se emplearon las funciones de distribución que son conocidas por ser las que se emplean en los procesos hidrológicos.

Función de distribución Normal

Se define como:

$$F_{(x)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

x; Dato variable
σ; Desviación estándar de la población
μ; Media de la población

De acuerdo con la función de densidad de población de probabilidad f(x):

$$F(x) = \int_{-\infty}^{x} f(x)dx$$

La función de probabilidad normal resulta:

$$F(x) = \int_{-\infty}^{x} \frac{1}{\sqrt{2\Pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu)}{\sigma}\right)^2} dx$$

La variable estandarizada se define como:

$$z = \frac{x-\mu}{\sigma}$$

Z; Variable estandarizada

Considerando la desviación estándar como 1 y que esta está distribuida con media cero se obtiene que:

$$F(x) = f(z) = \int_{-\infty}^{z} \frac{1}{\sqrt{2\Pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}(z)^2} dz$$

Función de distribución logarítmica Normal

En esta función los logaritmos naturales se distribuyen normalmente. Se definen como:

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x\beta} e^{\frac{1}{2}\left(\frac{lnx-\alpha)}{\beta}\right)^2}$$

α; Media de los logaritmos naturales de variable aleatoria x
β; Desviación estándar de los logaritmos de la variable aleatoria x
x; Variable aleatoria de la población

Los valores de α y β se estiman a partir de diferentes observaciones para x y se define como:

En esta función los logaritmos naturales de variable se distribuyen normalmente y se definen como:

$$\alpha = \sum_{i=1}^{n} \frac{lnx}{n} \qquad x = \left[\sum_{i=1}^{n} \frac{(lnx-\alpha)^2}{n}\right]^{\frac{1}{2}}$$

La variable estandarizada “z” se define como:

$$z = \frac{lnx - \alpha}{\beta}$$

Una vez obtenidos los valores de α y β se calcula la variable estandarizada para los datos registrados con la expresión z.

Función de distribución de Pearson

La función de distribución de Pearson se define como:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha_1 \tau(\beta_1)} \left\{\frac{x - \delta_1}{\alpha_1}\right\}^{\beta_1 - 1} e^{-\frac{x-\delta_1}{\alpha_1}}$$

Donde α, β y δ son los parámetros de la función τ y se evalúan mediante el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\bar{x} = \alpha_1\beta_1 + \delta_1 \qquad S^2 = \alpha_1^2\beta_1 \qquad \gamma = \frac{2}{\sqrt{\beta_1}}$$

x; Media aritmética

S; Desviación estándar
γ; Coeficiente de sesgo

$$\gamma = \sum_{i=1}^{n} \frac{(xi - \bar{x})^3/n}{s^3}$$

$$F(x) = \frac{1}{\alpha_1 \tau(\beta_1)} \int_0^x e^{-\frac{(x-\delta 1)}{\delta 1}} \left(\frac{x-\delta 1}{\delta 1}\right)^{\beta-1} dx$$

Sustituyendo la variable y en la ecuación anterior se obtiene:

$$y = \frac{x - \delta 1}{\alpha 1}$$

$$F(y) = \frac{1}{\tau(\beta_1)} \int_0^y y^{-\beta 1} e^{-y} dy$$

Función de distribución de Gumbel

La función de densidad de probabilidad se determina como

$$f(x) = \alpha e^{[-\alpha(x-\beta) - e^{-\alpha(x-\beta)}]}$$

α y β son parámetros de la función y se estiman de manera aritmética.

Para muestras pequeñas se determinan:

$$\alpha = \frac{1.2825}{S} \qquad \beta = \bar{x} - 0.45S$$

Para muestras grandes se determinan:

$\alpha = \frac{\sigma_y}{S}$ $\beta = \bar{x} - \frac{\mu y}{\alpha}$

Tabla 4. Análisis estadístico de la estación 29169. Fuente: Propia (2025)

No	Año	Precipitación	x	Tr	Normal	Log Normal	Pearson III	Gumbel
		mm			x (mm)	x (mm)	x (mm)	x (mm)
1	1995	41	91.5	31.00	79.6726789	80.97	67.0979963	89.0970558
2	1996	64.5	84	15.50	75.471029	75.54	61.522411	80.987442
3	1997	47.7	76	10.33	72.7015276	72.16	58.1695397	76.154461
4	1998	51	69	7.75	70.5541963	69.64	55.7423475	72.6686854
5	1999	84	68.5	6.20	68.7522884	67.60	53.8197727	69.9098797
6	2000	38.4	68.2	5.17	67.1789654	65.86	52.2249339	67.6187901
7	2001	47.5	64.5	4.43	65.7510248	64.33	50.844119	65.6299513
8	2002	61	61.5	3.88	64.4471051	62.96	49.6378388	63.8857725
9	2003	45	61	3.44	63.1890796	61.66	48.5227259	62.265286
10	2004	91.5	60	3.10	62.0346463	60.49	47.5409408	60.8298709
11	2005	61.5	60	2.82	60.9216703	59.39	46.6314953	59.4909271
12	2006	50	58	2.58	59.8121798	58.31	45.7606206	58.198364
13	2007	51	55.5	2.38	58.7432469	57.29	44.9548283	56.9913542
14	2008	60	55	2.21	57.7001962	56.31	44.1995321	55.8484185
15	2009	42	53	2.07	56.7220328	55.41	43.5186153	54.8066974
16	2010	60	52	1.94	55.6906736	54.47	42.8289387	53.7387212
17	2011	53	51.5	1.82	54.6042443	53.50	42.1333041	52.6461876
18	2012	69	51	1.72	53.5725824	52.60	41.5015372	51.6383691
19	2013	68.5	51	1.63	52.5181826	51.69	40.8842974	50.6370031
20	2014	52	50	1.55	51.452807	50.79	40.2892779	49.6534934
21	2015	47.3	48.8	1.48	50.393701	49.90	39.7257138	48.7028337
22	2016	76	47.7	1.41	49.1806447	48.91	39.1136968	47.645762
23	2017	46.9	47.5	1.35	47.9795714	47.95	38.5420556	46.631117
24	2018	58	47.3	1.29	46.5763754	46.85	37.9162319	45.4841276
25	2019	51.5	46.9	1.24	45.1934798	45.79	37.3423422	44.3922337
26	2020	55	45	1.19	43.5296037	44.55	36.7061189	43.126386
27	2021	48.8	42	1.15	41.8968342	43.37	36.1369403	41.9321723
28	2022	55.5	41	1.11	39.833746	41.91	35.4917444	40.4868055
29	2023	39.7	39.7	1.07	36.98631	39.98	34.7274055	38.5995824
30	2024	68.2	38.4	1.03	32.1196857	36.89	33.7204163	35.6313216

Determinación de la función de mejor ajuste

Para definir cuál es la función de distribución que mejor se ajusta a los datos registrados para poder las extrapolaciones que el estudio hidrológico requiere se aplicar el método del error cuadrático mínimo.

$$C = \left[\sum_{i=1}^{n} (x_{ei} - x_{0i})^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

C;representa el error cuadrático mínimo
Xei; i-esimo dato estimado
Xoi; i-esimo dato calculado

Comparando las cuatro distribuciones de ajustes por cada uno de los datos analizados por cada estación climatológica, se elige la que cuenta con el menor Error Cuadrático Mínimo como se muestra a continuación:

Tabla 5. Estimación del método del error cuadrático de la estación 29169. Fuente: Propia (2024)

n	Tr	Xo	F(x)	Normal	Log normal	Pearson III	Gumbel
				$(Xe - X_0)^2$	$(Xe - X_0)^2$	$(Xe - X_0)^2$	$(Xe - X_0)^2$
1	31.00	91.5	0.96774194	139.885523	110.8119	595.457786	5.77414059
2	15.50	84	0.93548387	72.7433461	71.5707	505.242006	9.07550572
3	10.33	76	0.90319458	10.87992	14.7482	317.925313	0.0238582
4	7.75	69	0.87096774	2.41552611	0.4136	175.765349	13.4592525
5	6.20	68.5	0.83870968	0.06364946	0.8113	215.509074	1.98776069
6	5.17	68.2	0.8065764	1.0425116	5.4577	255.202737	0.33780497
7	4.43	64.5	0.77426637	1.56506298	0.0298	186.483086	1.27678991
8	3.88	61.5	0.74226804	8.68542819	2.1188	140.710869	5.69191055
9	3.44	61	0.70930233	4.79206954	0.4355	155.682368	1.6009486
10	3.10	60	0.67741935	4.13978546	0.2444	155.228156	0.68868576
11	2.82	60	0.64539007	0.84947611	0.3702	178.716917	0.25915517
12	2.58	58	0.6124031	3.28399556	0.0975	149.802407	0.03934828
13	2.38	55.5	0.57983193	10.5186506	3.2072	111.200646	2.22413726
14	2.21	55	0.54751131	7.29105949	1.7200	116.650106	0.71981391
15	2.07	53	0.51690821	13.8535283	5.7998	89.8966555	3.26415547
16	1.94	52	0.48453608	13.6210714	6.1090	84.1083655	3.02315157
17	1.82	51.5	0.45054945	9.63633285	4.0083	87.7349921	1.31374604
18	1.72	51	0.41860465	6.61818012	2.5517	90.2207956	0.40751517
19	1.63	51	0.38650307	2.30487846	0.4741	102.327439	0.13176673
20	1.55	50	0.35483871	2.11064813	0.6182	94.2981237	0.12006681
21	1.48	48.8	0.32432432	2.53988294	1.2206	82.3426696	0.00944128
22	1.41	47.7	0.29078014	2.19230862	1.4739	73.724603	0.00294176
23	1.35	47.5	0.25925926	0.22998875	0.2047	80.2447674	0.75495774
24	1.29	47.3	0.2248062	0.52363255	0.1998	88.0551037	3.29739247
25	1.24	46.9	0.19354839	2.9122113	1.2231	91.3488217	6.28889157
26	1.19	45	0.15966387	2.16206538	0.2010	68.7884643	3.51042947
27	1.15	42	0.13043478	0.01064319	1.8639	34.3754691	0.0046006
28	1.11	41	0.0990991	1.3601484	0.8304	30.3408797	0.2633686
29	1.07	39.7	0.06542056	7.36411331	0.0808	24.7266959	1.21091897
30	1.03	38.4	0.02912621	39.4423471	2.2695	21.8985032	7.66558006
Sumatoria				375.037985	241.1657	4404.00917	74.4280364
Error cuadrático				19.3658975	15.52951176	66.3627092	8.62716851

Con la distribución elegida se realiza la extrapolación de láminas de precipitación a 24 horas, para obtener las precipitaciones para un periodo de retorno de 2 años a 60 minutos empleados en el método de Hershfield y el método de la Organización Meteorológica Mundial.

Precipitación media

Para el análisis de la precipitación se empleó la información de la estación No. 29169 con nombre: Zacatelco, ya que es la más cercana al sitio de análisis, con una lámina a 24 h de 91.5 mm

Para el presente estudio hidrológico se determinó utilizar exclusivamente la información proveniente de la estación climatológica No. 29169, debido a que es la estación que se encuentra a menor distancia del sitio de análisis, cumpliendo con los criterios de representatividad espacial establecidos para la caracterización de la precipitación en cuencas de escala local. Su proximidad garantiza que los registros de lluvia reflejen de manera adecuada la variabilidad climática asociada al área de estudio, por lo que constituye la fuente de datos más confiable para la estimación de precipitaciones máximas e intensidades de diseño.

Motivos por los cuales no se consideraron las estaciones 29038, 29049 y 29056

Las estaciones No. 29038, 29049 y 29056 fueron descartadas del análisis por las siguientes razones:

1. Insuficiencia y discontinuidad de registros de precipitación. Las series disponibles presentan vacíos, periodos incompletos o información no sistematizada, lo que impide realizar análisis estadísticos con confiabilidad y consistencia. La falta de datos afecta directamente la determinación de precipitaciones extremas y la obtención de parámetros hidrológicos confiables.
2. Distancia considerable respecto al sitio de estudio. Además de la escasez de información, estas estaciones se ubican a distancias que exceden los rangos aceptables para garantizar que la lluvia registrada sea representativa del comportamiento pluviométrico de la zona evaluada. El incremento en la distancia introduce una mayor variabilidad espacial, lo que puede generar sesgos y disminuir la precisión del modelo hidrológico.

Proceso estadístico de lluvias máximas diarias

El procesamiento de los registros disponibles de lluvias máximas diarias tiene como objetivo principal cuantificar las lluvias máximas en 24 horas evaluados en diferentes periodos de retorno.

Los periodos de retorno se determinan de manera que cubran las necesidades de diseño de las obras hidráulicas, ya están estandarizadas, en las cuales se utilizan las lluvias máximas en 24 horas a través de las llamadas curvas P – D – Tr (Curvas Precipitación – Duración – Periodo de Retorno)

Método de Hershfield

Con base al primer dato adicional se selecciona un valor cociente de 0.60 para la relación entre la lluvia de una hora y la de 24 horas, ambas de periodo de retorno de 2 años. Por lo tanto, si el valor de la lluvia en una hora será igual a:

Tabla 6.Determinación de la lluvia en una hora y un periodo de retorno de 2 años Hershfield. Fuente: Propia (2025)

Método de D.M. Hershfield

$$P_2^{60} = 0.60(P_2^{1440})$$

No	Clave	Nombre	P_2^{1440}(mm)	Área (m²)	Área (km²)	P*A
1	29169	Zacatelco	54.245	68907000	68.907	3737.86
			Sumas:	68907000	68.907	3737.86

P_2^{60}= 32.547 mm

Método de la Organización Meteorológica Mundial

Este método indica el cociente entre la lluvia en un ahora de periodo de retorno de 2 años y la de 24 horas es igual a la frecuencia; se ha relacionado con la ocurrencia de tormentas, mediante estudios que incluyeron un amplio rango de climas del mundo.

Tabla 7Determinación de la lluvia en una hora y un periodo de retorno de 2 años OMM. Fuente: Propia (2024)

Método de la organización metereológica mundial

Numero de dias con lluvia por año	1	8	16	24
($P_{1\ hora}/P_{24\ horas}$) 2 años	0.2	0.3	0.4	0.5

No	Clave	Nombre	P_2^{1440}(mm)	Área (m²)	Área (km²)	P*A
1	29169	Zacatelco	54.245	68907000	68.907	3737.86
			Sumas:	68907000	68.907	3737.86

P_2^{60}= 27.1225 mm

Una vez realizado el análisis se comparan los resultados para seleccionar uno de los métodos y se recomienda emplear el valor máximo.

Resumen

Método	P_2^{60}	
Método D.M. Hershfield:	32.547	mm
Método Organización Metereológica Mundial:	27.1225	mm

+

Curvas P – D – Tr e I – D – Tr

Las lluvias máximas a 24 horas se cuantifican para distintos periodos de retorno, los periodos de retorno se determinan de manera que cubran las necesidades de diseño de las obras hidráulicas, en las cuales se emplean las lluvias máximas en 24 horas a través de la construcción de las curvas Precipitación – Duración – Periodo de Retorno (P – D – Tr) e Intensidad – Duración – Periodo de Retorno (I – D – Tr).

Toda vez que en la zona en donde se ubica la cuenca en estudio existen estaciones que cuentan pluviógrafos, para obtener la intensidad, será necesario aplicar una metodología que permita obtenerlas a partir de los registros de lluvia máxima diaria que son de los que se disponen en las estaciones climatológicas.

Debido a la escasez de registros de lluvias de corta duración, surgió la necesidad de utilizar relaciones promedio entre lluvias con duración de una hora y periodos de retorno de 2 año, con las precipitaciones de diferentes duraciones y el mismo periodo de retorno Bell propone la ecuación que se muestra a continuación:

Tabla 8. Curvas P - d - Tr e I -d - Tr. Fuente: Propia (2025)

Curvas Precipitación - Duración - Tiempo de Retorno (P-d-Tr) e Intensidad - Duración - Periodo de Retorno (I-d-Tr)

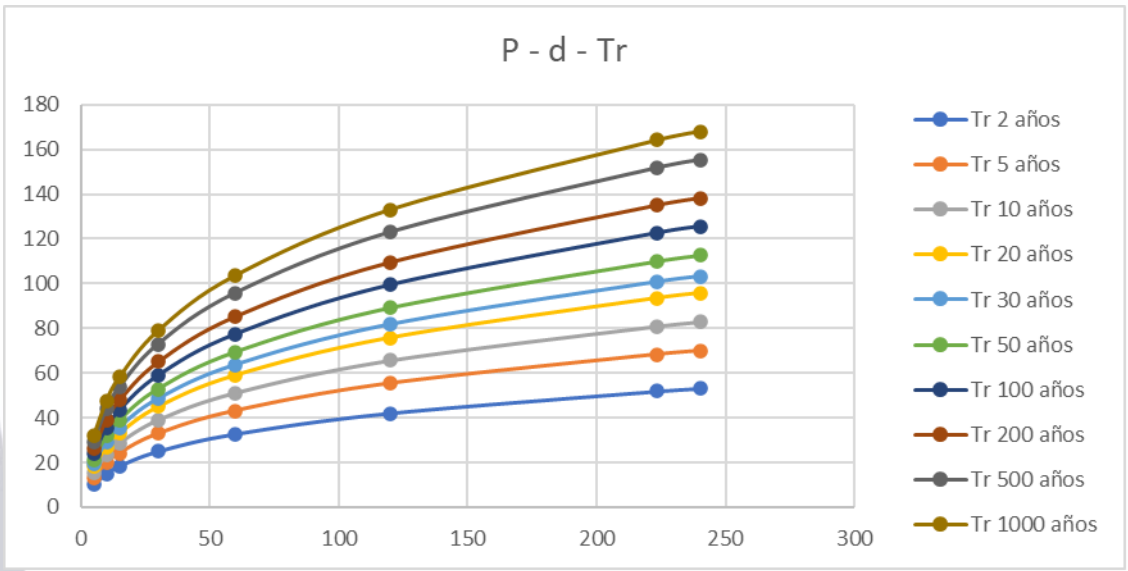
$$P_T^t = (0.35LnT + 0.76)(0.54d^{0.25} - 0.50)P_2^{60}$$

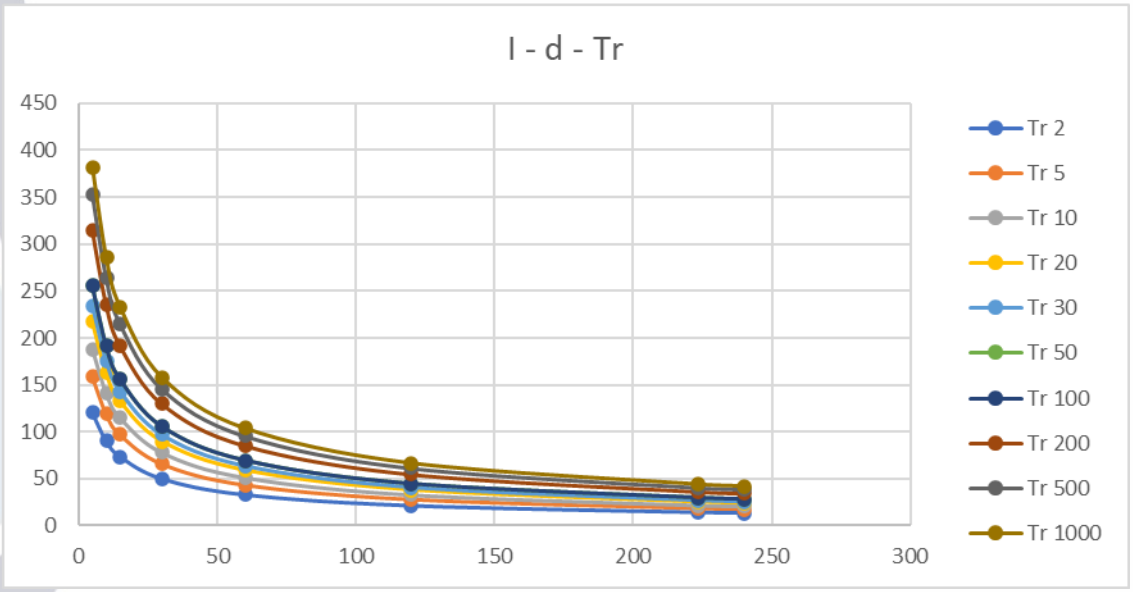
P_2^{60} = 32.547 mm

P - d - Tr								
Tr	Duraciones (minutos)							
(años)	5	10	15	30	60	120	223.57197	240
2	10.0338585	15.0194082	18.3623122	24.9236645	32.7264713	42.0056248	51.8218564	53.04046
5	13.243385	19.8236604	24.2358578	32.8959873	43.195	55.4419476	68.3980934	70.0064914
10	15.671298	23.457937	28.6790236	38.9268168	51.114	65.6061335	80.9375327	82.8407986
20	18.099211	27.0922135	33.1221893	44.9576462	59.032	75.7703193	93.476972	95.6751059
30	19.5194491	29.218129	35.7212747	48.4854553	63.665	81.7159869	100.812074	103.182694
50	21.3087374	31.8964658	38.995735	52.9299691	69.501	89.2066422	110.053209	112.641137
100	23.7366505	35.5307423	43.4389007	58.9607985	77.42	99.3708281	122.592648	125.475444
200	26.1645635	39.1650188	47.8820665	64.9916279	85.338	109.535014	135.132088	138.309752
500	29.3740899	43.9692711	53.7556121	72.9639508	95.807	122.971337	151.708325	155.275783
1000	31.8020029	47.6035476	58.1987779	78.9947802	103.726	133.135523	164.247764	168.11009

I - d - Tr								
Tr	Duraciones (minutos)							
(años)	5	10	15	30	60	120	223.57197	240
2	120.406303	90.1164491	73.4492486	49.8473289	32.7264713	21.0028124	13.9074292	13.260115
5	158.92062	118.941963	96.9434312	65.7919747	43.195	27.7209738	18.3559931	17.5016228
10	188.055576	140.747622	114.716094	77.8536335	51.114	32.8030667	21.7212019	20.7101997
20	217.190532	162.553281	132.488757	89.9152924	59.032	37.8851597	25.0864106	23.9187765
30	234.233389	175.308774	142.885099	96.9709105	63.665	40.8579935	27.0549315	25.7956736
50	255.704849	191.378795	155.98294	105.859938	69.501	44.6033211	29.5349745	28.1602843
100	284.839806	213.184454	173.755603	117.921597	77.42	49.685414	32.9001833	31.3688611
200	313.974762	234.990113	191.528266	129.983256	85.338	54.767507	36.265392	34.5774379
500	352.489079	263.815626	215.022449	145.927902	95.807	61.4856684	40.713956	38.8189457
1000	381.624035	285.621286	232.795112	157.98956	103.726	66.5677613	44.0791647	42.0275226

Gráfica 1. Gráficas P - d -Tr e I - d - Tr. Fuente: Propia (2025)





Clasificación de usos de suelo y obtención del Número de Curva (CN) para suelos Cambisol eútricos

Para el análisis hidrológico de la cuenca se llevó a cabo la clasificación de los usos de suelo con base en la proporción del área que cada categoría ocupa dentro de la superficie total. Este procedimiento consiste en delimitar las zonas homogéneas identificadas en el estudio de cartografía y asignar el porcentaje de participación que cada uso representa en la cuenca. La ponderación por superficie es fundamental, ya que determina la contribución relativa de cada zona en la generación del escurrimiento.

Una vez definidos los porcentajes de área, se asignaron los Números de Curva (CN) de acuerdo con el tipo de suelo predominante. En este caso, la cuenca se encuentra asociada a un suelo Cambisol eútrico, el cual, por sus características de estructura moderada y permeabilidad media, corresponde usualmente al Grupo Hidrológico de Suelo B (HSG-B). Bajo este criterio, los CN se seleccionaron conforme a las tablas oficiales del método SCS, eligiendo los valores específicos para cada uso de suelo dentro del grupo hidrológico mencionado.

Posteriormente, los CN individuales se integraron mediante una ponderación proporcional al porcentaje de área de cada categoría, lo que permitió obtener un Número de Curva compuesto (CNc) representativo del comportamiento hidrológico total de la cuenca.

Con el CN compuesto se procedió a calcular el porcentaje de escurrimiento (%N), el cual representa la fracción de la precipitación total que se convierte en escorrentía directa. Este parámetro se obtiene a partir de la relación entre el almacenamiento potencial inicial y la lluvia de diseño, siguiendo las ecuaciones del método SCS.
El %N constituye un insumo fundamental para determinar el volumen y el gasto pico asociado al evento hidrometeorológico considerado.

Se aplicó una corrección al Número de Curva (CN) derivada de la evaluación de la precipitación acumulada durante los cinco días previos al evento de tormenta (ll5). Esta corrección responde no solo a la metodología establecida por el método SCS para ajustar las condiciones de humedad antecedente, sino también a la necesidad de considerar explícitamente los efectos del cambio climático en la dinámica hidrológica regional.

En las últimas décadas, las observaciones climatológicas han mostrado un incremento en la variabilidad intraestacional de la precipitación, así como una mayor frecuencia de eventos extremos de corta duración, características asociadas a

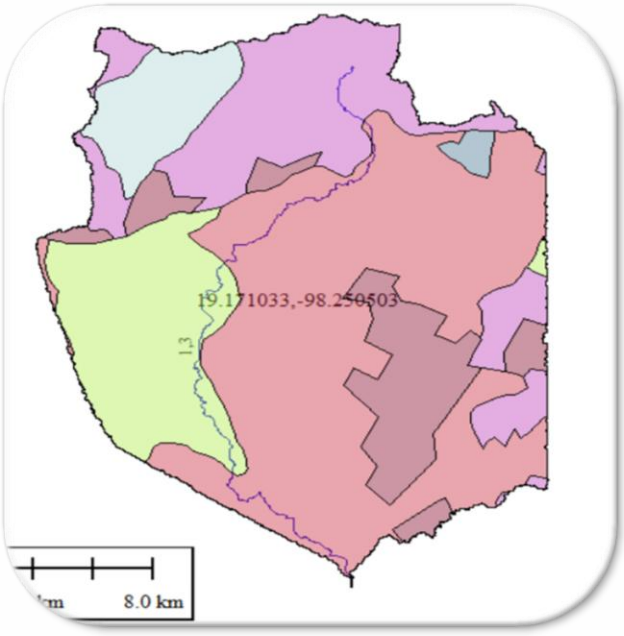
escenarios de cambio climático documentados por instituciones nacionales e internacionales. Estos cambios generan condiciones en las que el estado de humedad del suelo previo a una tormenta adquiere una importancia mayor, dado que episodios de lluvia moderada o intensa ocurren con menor separación temporal, reduciendo la capacidad del terreno para infiltrar y almacenar agua.

Bajo este contexto, la corrección del CN con base en ll5 permite representar de manera más realista el comportamiento hidrológico de la cuenca frente a un evento de precipitación significativo. Conforme al criterio técnico aplicado:

- Cuando ll5 es baja, se ajusta el CN hacia condiciones secas (A), reflejando mayor capacidad de infiltración.
- Cuando ll5 es intermedia, el CN se mantiene sin corrección (B), indicando humedad normal del suelo.
- Cuando ll5 es elevada, el CN se corrige hacia condiciones húmedas (C), aumentando el escurrimiento esperado.

Este procedimiento adquiere relevancia adicional bajo escenarios de cambio climático, ya que permite compensar los efectos de suelos que pueden encontrarse con humedad residual más alta debido a secuencias de tormentas más frecuentes o intensas. En consecuencia, el ajuste aplicado al CN se convierte en una medida técnica preventiva que contribuye a mejorar la estimación del volumen de escorrentía y del gasto pico, reduciendo la incertidumbre asociada a cambios recientes en los patrones de lluvia.

Uso de suelo	Área (km²)	%	Suelo	A	B	C	D	%*N
Urbano contruido	7.8482	11.389554	Cambisol	77	85	90	94	9.68112093
Agricultura de riego anual	31.4870516	45.694997	Cambisol	67	76	81	86	34.7281977
Agricultura de riego anual y semipermanente	11.1934	16.2442132	Cambisol	64	73	78	84	11.8582756
Agricultura de Temporal anual	13.6009907	19.7381844	Cambisol	74	81	85	89	15.9879293
Agricultura de riego permanente	0.537	0.77931125	Cambisol	60	70	76	82	0.54551787
Agricultuta de temporal anual y permanente	4.247	6.16337963	Cambisol	69	78	82	87	4.80743611
	68.9136423							**77.608478**


19.171033,-98.250503
8.0 km

Coeficientes de escurrimiento

El coeficiente de escurrimiento es entendido como la relación entre la precipitación total que incide sobre la superficie de la cuenca y la precipitación efectiva, le cual corresponde a la porción de precipitación que no es retenida por el suelo ni se infiltra. La influencia de estos parámetros está directamente relacionada con las características y condiciones particulares del suelo.

El método USSCS (United States Soil Conservation Service), considera que la lámina de lluvia se encuentra vinculada tanto a la lámina de lluvia máxima como al parámetro N, que representa el Número de curva. Este último está condicionado por las características específicas del suelo. Este último está condicionado por las características específicas del suelo. Esta relación se expresa de la siguiente manera:

$$P_e = \frac{\left[P - \frac{508}{N} + 5.08\right]^2}{P + \frac{2032}{N} - 20.32}$$

Donde:
Pe; Lámina de la precipitación efectiva, cm
P; Lámina de la lluvia máxima, cm
N, número de curva

Una vez obtenido el valor de la lámina de precipitación efectiva es posible calcular el coeficiente de escurrimiento.

$$C_e = \frac{P_e}{P}$$

Donde:
Ce; Coeficiente de escurrimiento
Pe; Lámina de la precipitación efectiva, cm
P; Lámina de la lluvia máxima, cm

Para determinar el valor del número N es necesario conocer los datos del uso de suelo y cobertura vegetal, tratamiento de estos y la lámina de lluvia acumulada 5 días antes de la fecha en cuestión ya que estos son factores que pudieran afectar los resultados si no se hace el ajuste pertinente.

Para realizar los ajustes y revisiones existen tablas que facilitan la elaboración del análisis.

Tabla 9. Clasificación de suelos.

Clasificación de suelos	
Tipo de Suelo	Características
Tipo A	Arenas con poco limo y arcilla de tamaño medio (escurrimiento medio)
Tipo B	Arenas finas y limos orgánicos e inorgánicos, mezcla de ambos.
Tipo C	Arenas muy finas, limos y bastante arcilla.
Tipo D	Arcillas en grandes cantidades: suelos poco profundos con subhorizontes casi impermeables (escurrimiento máximo)

Se realiza la corrección considerando si se presentaron lluvias cinco días antes de la precipitación de acuerdo con el periodo de retorno, por lo que la corrección se realiza de acuerdo con los datos de la siguiente tabla:

N	N con correción A	N con correción B
0	0	0
10	4	22
20	9	37
30	15	50
40	22	60
50	31	70
60	40	78
70	51	85
80	63	91
90	78	96
100	100	100

Si $ll_5 < 2.5$ cm, hacer la correción en A
Si $2.5 < ll_5 < 5$ cm, No hacer correción
Si $ll_5 > 5$ cm, hacer la correción en B

Tabla 10. Corrección por antecedente de lluvia acumulada 5 días antes. Fuente: Propia (2025)

Corrección por antecente de lluvia

Tr	P (mm)	P (cm)	ll_5	ll_5	NC	Pe (cm)	Ce (Adim)	%Pérdidas
años	223.571973		29169	cm	0			
2	51.8218564	5.18218564	21.8	2.18	70	0.65009287	0.12544762	87.4552%
5	68.3980934	6.83980934	35.5	3.55	70	1.39824584	0.2044276	79.5572%
10	80.9375327	8.09375327	NA	NA	70	2.08341878	0.25741071	74.2589%
20	93.476972	9.3476972	NA	NA	70	2.84758997	0.3046301	69.5370%
30	100.812074	10.0812074	NA	NA	70	3.32490534	0.32981222	67.0188%
50	110.053209	11.0053209	NA	NA	70	3.95339115	0.35922543	64.0775%
100	122.592648	12.2592648	NA	NA	70	4.84786232	0.39544478	60.4555%
200	135.132088	13.5132088	NA	NA	70	5.78290258	0.42794444	57.2056%
500	151.708325	15.1708325	NA	NA	70	7.07035947	0.46604954	53.3950%
1000	164.247764	16.4247764	NA	NA	70	8.07672192	0.49174014	50.8260%

Soil Conservation Service (SCS)

El método SCS-CN es un método empírico para estimar la escorrentía directa resultante de una lluvia, que relaciona la precipitación acumulada Pcon la escorrentía acumulada Qvía un parámetro representativo de la capacidad de infiltración y retención del suelo: el Curve Number (CN). Su simplicidad y demanda reducida de datos lo hacen apropiado para estudios de cuencas pequeñas y medianas y para generar hidrogramas de entrada a modelos hidrológicos.

En cuencas de pequeño tamaño o con tiempos de concentración cortos, las variaciones de intensidad en intervalos de pocos minutos afectan significativamente el pico de escorrentía y la forma del hidrograma. Por ello se recomienda resoluciones temporales finas

La discretización a 10 minutos permite representar mejor las ráfagas de precipitación intensas y producir hidrogramas de respuesta con picos y tiempos de subida más realistas en sistemas rápidos (alcantarillas, pasos deprimidos, puentes, cauces estrechos).

El SCS-CN proporciona precipitaciones efectivas (volumen de lluvia transformable en escurrimiento). Estas precipitaciones efectivas por intervalo se pueden transformar en hidrogramas mediante un unit hydrograph (SCS Unit Hydrograph) o mediante transformadores más detallados en HEC-HMS.

El análisis hidrológico se desarrolló mediante la metodología del Servicio de Conservación de Suelos (SCS), empleando intervalos de desagregación de 10 minutos con el fin de representar adecuadamente la variabilidad temporal de la lluvia. Para la evaluación de las condiciones de diseño, se generaron hietogramas

de tormenta correspondientes a periodos de retorno de 50 y 100 años, lo que permitió estimar los caudales de escorrentía asociados a eventos de intensidad moderada y extrema, respectivamente, garantizando una caracterización robusta del comportamiento hidrológico de la cuenca.

Hidrograma para un Periodo de retorno a 50 años. SCS

Hidrogramas			
No	Tiempo (hr)	Gasto (m^3/s. HUT	Gasto (m^3/s). HU Curvilineo SCS
81	13.33	89.310	174.878
82	13.50	101.890	179.531
83	13.67	114.649	181.725
84	13.83	127.548	180.664
85	14.00	140.503	177.370
86	14.17	153.325	172.481
87	14.33	165.308	166.156
88	14.50	173.494	158.399
89	14.67	174.054	148.991
90	14.83	172.164	138.040
91	15.00	168.987	126.801
92	15.17	164.981	116.241
93	15.33	160.382	107.176
94	15.50	155.329	98.933
95	15.67	149.914	91.374
96	15.83	144.198	84.615
97	16.00	138.230	78.563
98	16.17	132.043	73.152
99	16.33	125.665	68.027
100	16.50	119.117	63.255
101	16.67	112.418	58.815
102	16.83	105.582	54.594
103	17.00	98.621	50.824
104	17.17	91.546	47.465
105	17.33	84.366	44.316
106	17.50	77.088	41.459
107	17.67	69.719	38.842
108	17.83	62.268	36.375
109	18.00	54.752	34.144
110	18.17	47.210	32.459
111	18.33	39.742	31.050
112	18.50	32.793	29.959
113	18.67	28.070	28.499
114	18.83	25.414	27.080
115	19.00	23.490	25.728
116	19.17	22.292	24.402

117	19.33	21.407	23.102
118	19.50	20.760	21.889
119	19.67	19.841	20.711
120	19.83	19.031	19.579
121	20.00	18.309	18.505
122	20.17	17.659	17.490
123	20.33	17.022	16.544
124	20.50	16.267	15.713
125	20.67	15.556	14.939
126	20.83	14.885	14.239
127	21.00	14.249	13.648
128	21.17	13.643	13.151
129	21.33	13.064	12.700
130	21.50	12.523	12.284
131	21.67	12.065	11.909
132	21.83	11.687	11.571
133	22.00	11.373	11.268
134	22.17	11.074	11.122
135	22.33	10.791	10.939
136	22.50	10.522	10.710
137	22.67	10.265	10.327
138	22.83	10.021	9.946
139	23.00	9.786	9.565
140	23.17	9.741	9.162
141	23.33	9.626	8.759
142	23.50	9.439	8.384
143	23.67	9.084	8.008
144	23.83	8.737	7.640
145	24.00	8.397	7.275
146	24.17	8.040	6.905
147	24.33	7.666	6.531
148	24.50	7.366	6.146
149	24.67	7.123	5.747
150	24.83	6.863	5.348
151	25.00	6.586	4.951
152	25.17	6.292	4.561
153	25.33	5.981	4.183
154	25.50	5.662	3.817
155	25.67	5.354	3.468
156	25.83	5.046	3.145
157	26.00	4.729	2.848
158	26.17	4.385	2.573
159	26.33	4.025	2.314

160	*26.50*	*3.656*	*2.068*

Hidrograma para un Periodo de retorno a 100 años. SCS

Hidrogramas			
No	Tiempo (hr)	Gasto (m^3/s. HUT	Gasto (m^3/s). HU Curvilineo SCS
81	13.33	104.631	203.210
82	13.50	119.228	208.351
83	13.67	134.012	210.633
84	13.83	148.920	209.160
85	14.00	163.845	205.119
86	14.17	178.552	199.248
87	14.33	192.194	191.726
88	14.50	201.351	182.561
89	14.67	201.730	171.512
90	14.83	199.335	158.724
91	15.00	195.487	145.656
92	15.17	190.705	133.416
93	15.33	185.256	122.921
94	15.50	179.296	113.386
95	15.67	172.929	104.650
96	15.83	166.225	96.846
97	16.00	159.236	89.863
98	16.17	152.002	83.618
99	16.33	144.553	77.705
100	16.50	136.915	72.202
101	16.67	129.106	67.084
102	16.83	121.143	62.225
103	17.00	113.041	57.888
104	17.17	104.810	54.027
105	17.33	96.462	50.407
106	17.50	88.004	47.125
107	17.67	79.446	44.120
108	17.83	70.803	41.289
109	18.00	62.102	38.730
110	18.17	53.392	36.789
111	18.33	44.794	35.161
112	18.50	36.838	33.897
113	18.67	31.473	32.224
114	18.83	28.481	30.600
115	19.00	26.316	29.056
116	19.17	24.968	27.545

117	19.33	23.971	26.064
118	19.50	23.243	24.687
119	19.67	22.211	23.348
120	19.83	21.301	22.063
121	20.00	20.490	20.843
122	20.17	19.762	19.690
123	20.33	19.047	18.618
124	20.50	18.200	17.676
125	20.67	17.404	16.800
126	20.83	16.652	16.008
127	21.00	15.939	15.339
128	21.17	15.260	14.775
129	21.33	14.611	14.264
130	21.50	14.005	13.792
131	21.67	13.493	13.365
132	21.83	13.069	12.981
133	22.00	12.716	12.634
134	22.17	12.382	12.466
135	22.33	12.065	12.254
136	22.50	11.763	11.993
137	22.67	11.476	11.560
138	22.83	11.201	11.128
139	23.00	10.939	10.698
140	23.17	10.888	10.243
141	23.33	10.758	9.790
142	23.50	10.550	9.370
143	23.67	10.152	8.950
144	23.83	9.764	8.537
145	24.00	9.383	8.130
146	24.17	8.984	7.716
147	24.33	8.566	7.297
148	24.50	8.230	6.867
149	24.67	7.958	6.422
150	24.83	7.668	5.975
151	25.00	7.358	5.531
152	25.17	7.029	5.095
153	25.33	6.682	4.673
154	25.50	6.326	4.265
155	25.67	5.981	3.874
156	25.83	5.637	3.513
157	26.00	5.282	3.182
158	26.17	4.898	2.875
159	26.33	4.496	2.585

160	*26.50*	*4.084*	*2.311*

Escurrimiento superficial

Determinación de la avenida de diseño

Se le denomina avenida de diseño a toda relación entre el volumen del agua máximo que fluye por un conducto en el tiempo que tarda en fluir transportándose por una corriente natural u obras hidráulicas sin ningún daño.

Para llevar a cabo este procedimiento, primero se requiere conocer los parámetros fisiográficos de la cuenca como el área, longitud y pendiente del cauce principal, así como el coeficiente de escurrimiento de la cuenca que se tiene mediante los usos y tipos de suelo entre otros.

Método Racional

El método racional modificado permite estimar los caudales de la cuenca a través de precipitaciones de para diferentes periodos de diseño. De acuerdo con o anterior, se emplean los valores obtenidos al aplicar la fórmula de Bell, y posteriormente se calculan los gastos de cada tormenta de diseño con la siguiente expresión:

$$Q = 0.2778 * C * i * A$$

Donde:
Q; Caudal pico, m³/s
C; Coeficiente de escurrimiento
I; intensidad, mm/h
A; Área de la cuenca, km²

Tabla 11. Método Racional Americano. Fuente: Propia (2025)

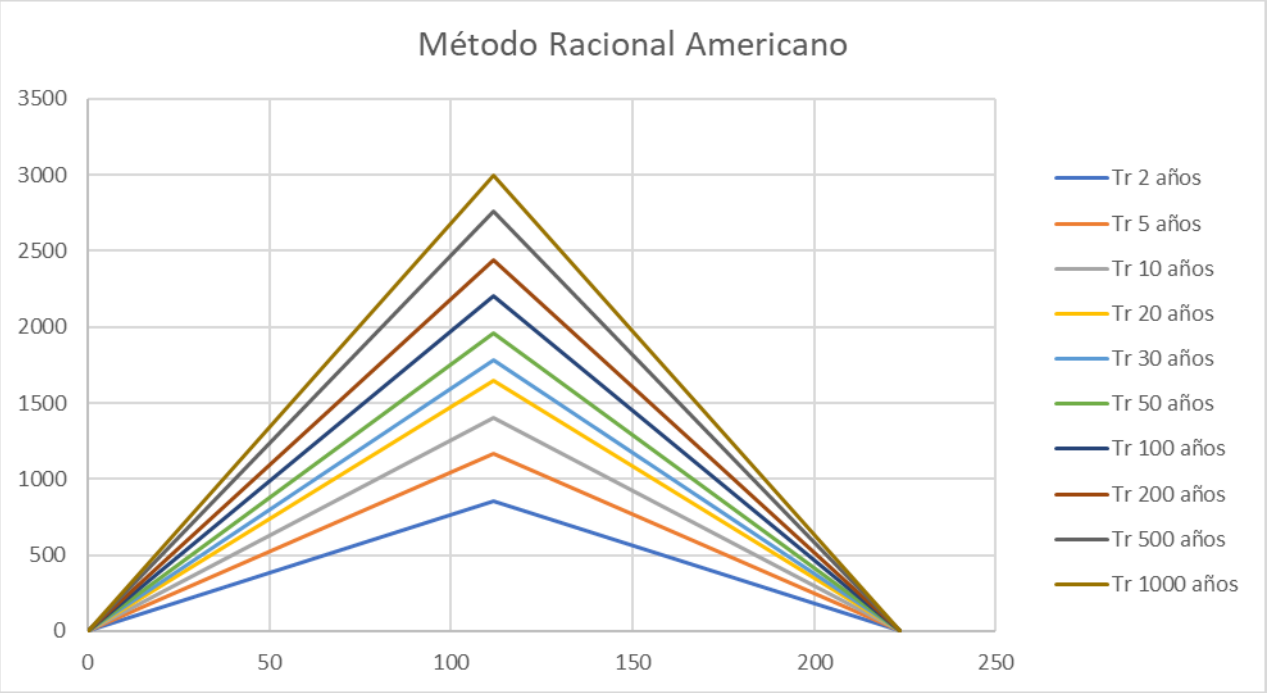
Método Racional Americano

$$Qp = 0.278CiA_c$$

Acuenca= 68.907 km²
Tc= 223.571973 min
Tp= 111.785987 min

Tr años	Ce adim	i mm/h	Qpico m³/s
2	0.86116273	51.8218564	854.882
5	0.89227372	68.3980934	1169.096
10	0.9078895	80.9375327	1407.638
20	0.9195518	93.476972	1646.603
30	0.92509937	100.812074	1786.525
50	0.93108649	110.053209	1962.912
100	0.93782985	122.592648	2202.402
200	0.94337121	135.132088	2442.02
500	0.94934034	151.708325	2758.922
1000	0.95308156	164.247764	2998.732

Gráfica 2. Método Racional Americano. Fuente: Propia. (2025)



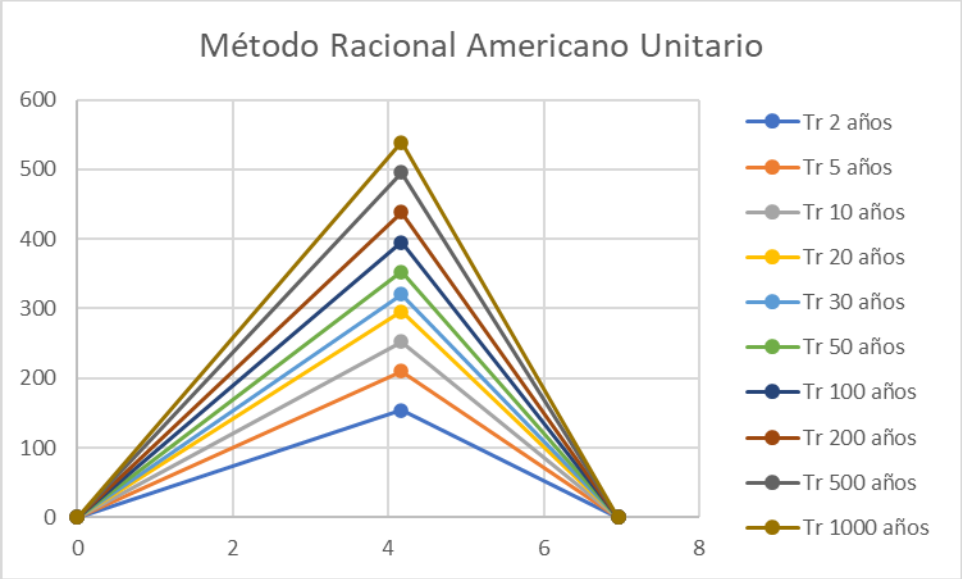
Método Racional Americano Unitario

Tabla 12. Método Racional Americano Unitario. Fuente: Propia (2025)

Método Racional Americano Unitario

Tr años	Pe mm	Qp m^3/s
2	44.6270511	153.532
5	61.0298211	209.963
10	73.4823357	252.804
20	85.9569176	295.721
30	93.2611854	320.85
50	102.469056	352.529
100	114.971045	395.54
200	127.479721	438.574
500	144.022832	495.488
1000	156.541515	538.556

Gráfica 3. Método Racional Americano Unitario. Fuente: Propia (2025)



Hidrograma Unitario Adimensional (US SCS)

Es aquella demostración del escurrimiento producida por el exceso de lluvias con una duración constante y dispersas de una manera uniforme alrededor de la cuenca.

Los parámetros del hidrograma a utilizar son los mismos que se emplearon previamente y se calcularon para la realización del método Racional Americano, anexando el gasto unitario.

$$q = \frac{0.555 * Área\ de\ la\ cuenca}{Tiempo\ base}$$

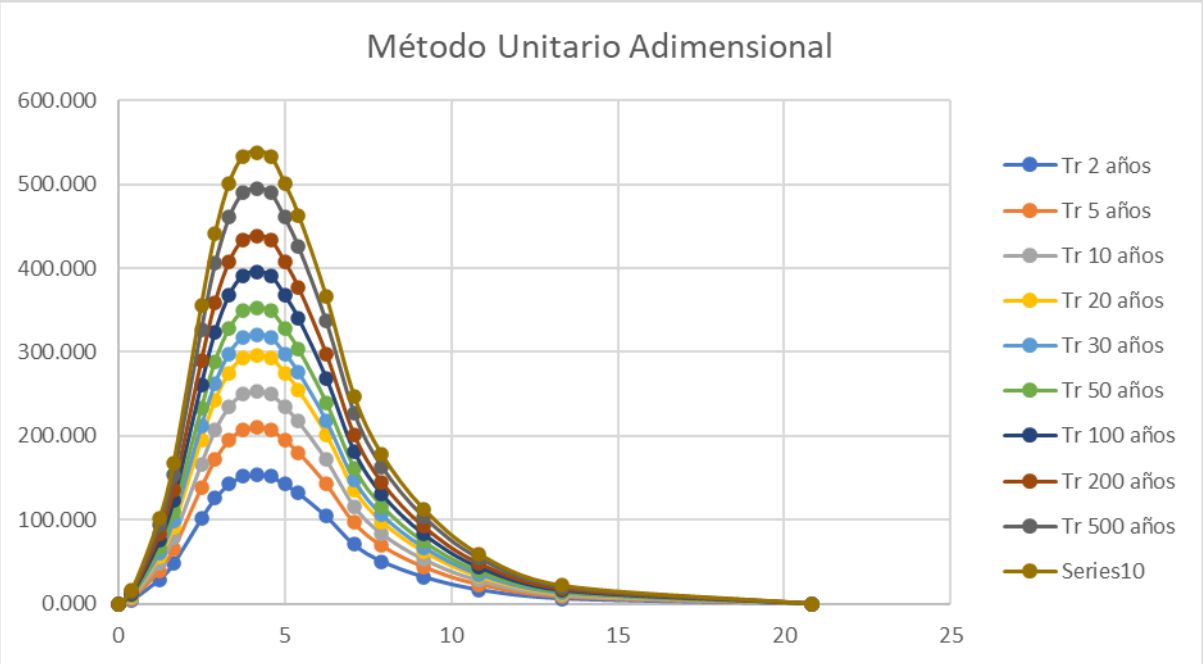
Este método dispone de los datos del pico del hidrograma, los cuales son t/tp y Q/QP, a partir de una tabulación se puede calcular el hidrograma resultante para ello se despeja para obtener los tiempos en función al pico del hidrograma y q/qp para obtener los caudales en función al caudal unitario. Después cada valor de q se multiplica por la lámina de escurrimiento, que depende del diseño de la tormenta de diseño.

Tabla 13. Hidrograma Unitario Adimensional. Fuente: Propia (2025)

Hidrograma Unitario Adimensional (USSCS)

Punto	t/tp adim	q/qp adim	t horas	q m³/s/mm	2 44.627051	5 61.029821	10 73.482336	20 85.956918	30 93.261185	50 102.46906	100 114.97104	200 127.47972	500 144.02283	1000 156.54152
a	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
b	0.1	0.03	0.417	0.103	4.597	6.286	7.569	8.854	9.606	10.554	11.842	13.130	14.834	16.124
c	0.3	0.19	1.25	0.654	29.186	39.914	48.057	56.216	60.993	67.015	75.191	83.372	94.191	102.378
d	0.4	0.31	1.666	1.067	47.617	65.119	78.406	91.716	99.510	109.334	122.674	136.021	153.672	167.030
e	0.6	0.66	2.5	2.271	101.348	138.599	166.878	195.208	211.796	232.707	261.099	289.506	327.076	355.506
f	0.7	0.82	2.916	2.821	125.893	172.165	207.294	242.484	263.090	289.065	324.333	359.620	406.288	441.604
g	0.8	0.93	3.333	3.2	142.807	195.295	235.143	275.062	298.436	327.901	367.907	407.935	460.873	500.933
h	0.9	0.99	3.749	3.406	152.000	207.868	250.281	292.769	317.648	349.010	391.591	434.196	490.542	533.180
i	1	1	4.166	3.44	153.517	209.943	252.779	295.692	320.818	352.494	395.500	438.530	495.439	538.503
j	1.1	0.99	4.583	3.406	152.000	207.868	250.281	292.769	317.648	349.010	391.591	434.196	490.542	533.180
k	1.2	0.93	4.999	3.2	142.807	195.295	235.143	275.062	298.436	327.901	367.907	407.935	460.873	500.933
l	1.3	0.86	5.416	2.959	132.051	180.587	217.434	254.347	275.960	303.206	340.199	377.212	426.164	463.206
m	1.5	0.68	6.249	2.339	104.383	142.749	171.875	201.053	218.138	239.675	268.917	298.175	336.869	366.151
n	1.7	0.46	7.082	1.583	70.645	96.610	116.323	136.070	147.632	162.209	181.999	201.800	227.988	247.805
o	1.9	0.33	7.916	1.135	50.652	69.269	83.402	97.561	105.851	116.302	130.492	144.689	163.466	177.675
p	2.2	0.21	9.165	0.722	32.221	44.064	53.054	62.061	67.335	73.983	83.009	92.040	103.984	113.023
q	2.6	0.11	10.832	0.378	16.869	23.069	27.776	32.492	35.253	38.733	43.459	48.187	54.441	59.173
r	3.2	0.04	13.331	0.138	6.159	8.422	10.141	11.862	12.870	14.141	15.866	17.592	19.875	21.603
s	5	0	20.83	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Gráfica 4. Método Unitario Adimensional. Fuente: Propia (2025)



Resumen de gastos

Para la determinación del comportamiento del flujo se realizó el análisis para diferentes periodos de retorno, para así de acuerdo con las características físicas y de precipitación de la cuenca de estudio, determinar los caudales que escurren hacia el punto de descarga, obteniendo los valores mostrados a continuación.

Tabla 14. Resumen de gastos de diseño para diferentes periodos de diseño. Fuente: Propia (2025)

Tr	MRA	MRAU	USSCS
	Qp	Qp	Qp
años	m^3/s	m^3/s	m^3/s
2	854.882	153.532	153.517
5	1169.096	209.963	209.943
10	1407.638	252.804	252.779
20	1646.603	295.721	295.692
30	1786.525	320.85	320.818
50	1962.912	352.529	352.494
100	2202.402	395.54	395.5
200	2442.02	438.574	438.53
500	2758.922	495.488	495.439
1000	2998.732	538.556	538.503

Conclusiones

Para el dimensionamiento de obras hidráulicas que están sujetas al comportamiento del ciclo hidrológico en la zona de estudio, es necesario llevar a cabo un análisis específico del sitio.

En el caso de la cuenca de estudio, una vez identificado el sitio de descarga y las corrientes que abastecen al mismo se procede a la delimitación de la cuenca, de acuerdo con las condiciones topográficas para su posterior procesamiento, obteniendo que la cuenca cuenta con un área de 68.907 km², lo cual la define como una cuenca pequeña de acuerdo con sus dimensiones, cuenta con un perímetro de 55.128 km. La elevación máxima es de 2369.4 msnm y la mínima de 2179.36 msnm.

La longitud del cauce principal es 15,847 m, es una corriente intermitente, con una pendiente de 0.715% obtenida por medio del método de Taylor.

De acuerdo con el análisis realizado, una estación climatológica es la que tiene área de influencia en la cuenca, lo cual se determinó por medio de la aplicación del método de los Polígonos de Thiessen, siendo la estación con clave: 29169 de nombre Zacatelco de la cual se procesó la información de las lluvias a 24 horas para así por medio del análisis estadístico determinar la lámina de lluvia, la cual se obtuvo 91.5. mm, misma que se empleará para la determinación de la precipitación para un periodo de retorno a 2 años para una duración de 60 minutos, para así proceder a la determinación de las curvas P – D – Tr e I – D – Tr, por lo cual se determinará el tiempo de concentración de acuerdo con las condiciones del sitio, lo cual permitirá conocer los datos de precipitación e intensidad de lluvia para diferentes periodos de retorno pero específicos para la cuenca de análisis, como se mostró en el desarrollo del estudio.

Teniendo un tiempo de concentración de 223.57 min, para una precipitación para un periodo de retorno a 2 años y una duración de 60 minutos de 32.547 mm, con los cuales se diseñan las tormentas de diseño.

Se identifica el tipo de suelo y el uso de suelo en el sitio, de la cuenca de análisis con el objetivo de obtener los coeficientes de escurrimiento, que están relacionados directamente como en comportamiento del escurrimiento en el sitio, para posteriormente determinar los gastos de diseño.

Para lo cual se emplearon tres métodos de obtención de los gastos de diseño que son el Método Racional Americano (MRA), Método Racional Americano Unitario (MRAU) y el Hidrograma Unitario Adimensional (US SCS), obteniendo los siguientes resultados:

Tr	MRA	MRAU	USSCS
	Qp	Qp	Qp
años	m³/s	m³/s	m³/s
2	854.882	153.532	153.517
5	1169.096	209.963	209.943
10	1407.638	252.804	252.779
20	1646.603	295.721	295.692
30	1786.525	320.85	320.818
50	1962.912	352.529	352.494
100	2202.402	395.54	395.5
200	2442.02	438.574	438.53
500	2758.922	495.488	495.439
1000	2998.732	538.556	538.503

La variación de los gastos radica en que ningún método es exacto, ya que todos se basan en la aproximación, se recomienda emplear los datos obtenidos por el método racional americano ya que considera la mayor cantidad de datos obtenidos del análisis de la cuenca en cada uno de sus apartados.

Es fundamental destacar que en el presente estudio hidrológico trasciende la evaluación del flujo del agua y las condiciones climatológicas que intervienen. Este tipo de análisis desempeñan un papel fundamental en la planificación y diseño de infraestructura, al proporcionar la información esencial para una gestión efectiva de los recursos hídricos. Además de que contribuyen a la toma de decisiones informadas y simultáneamente permite la mitigación de riesgos.

Se selecciona el método SCS (Soil Conservation Service) como procedimiento principal para la estimación del escurrimiento superficial. Esta elección se fundamenta en los lineamientos comúnmente aceptados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y en la naturaleza del área de estudio, donde el método SCS ofrece mayor representatividad, precisión y coherencia técnica respecto a las condiciones hidrológicas y fisiográficas de la cuenca.

El método SCS es recomendado para cuencas con cobertura vegetal, usos de suelo heterogéneos y características topográficas diversas, condiciones que son típicas en gran parte del territorio nacional. La metodología se adapta adecuadamente a cuencas pequeñas y medianas, considerando explícitamente factores como:

- Tipo de suelo (Hidrologic Soil Group),
- Uso y cobertura del suelo,
- Condición de humedad antecedente.

Estos elementos son consistentes con los criterios establecidos por CONAGUA para la caracterización hidrológica de cuencas con comportamiento natural o mixto.

Análisis hidráulico HEC – RAS

La modelación hidráulica en HEC-RAS depende de manera directa de la calidad y precisión de la topografía y de la geometría del cauce y de las estructuras, ya que estos elementos constituyen la base física con la que el modelo reproduce el comportamiento real del flujo. Su incorporación adecuada garantiza resultados confiables en la simulación de niveles de agua, velocidades, tirantes, gradientes del flujo y riesgos asociados.

Componente del medio físico

La representación del medio físico en HEC-RAS se basa en la incorporación de los elementos geométricos y topográficos que definen el dominio de flujo. Estos incluyen:

Perfil longitudinal del cauce

Consiste en la secuencia de elevaciones del talweg a lo largo del eje del cauce. Su función es:

- Definir la pendiente del flujo
- Determinar las condiciones de energía
- Servir como referencia para la ubicación de secciones y estructuras

Secciones transversales

Las secciones transversales describen la forma del cauce y sus planicies laterales. De ellas se obtienen parámetros hidráulicos esenciales:

- Área mojada
- Perímetro mojado
- Radio hidráulico
- Profundidad hidráulica
- Ancho de la sección eficaz

Estos parámetros son indispensables para el cálculo de energía, pérdidas por fricción y variación de niveles del agua.

Geometría de planicie de inundación

Incluye:

- Bancos del río
- Planicies adyacentes

- Taludes laterales
- Lomeríos o elevaciones que actúan como limitantes del flujo

En modelos 1D definen el comportamiento lateral y las posibles zonas de desbordamiento; en modelos 2D controlan la propagación del flujo sobre la superficie.

Elementos artificiales del cauce

Toda intervención antrópica debe representarse explícitamente, por ejemplo:

- Puentes vehiculares (losas, pilas, estribos, rasante)
- Alcantarillas
- Bordos y estructuras de control
- Terraplenes, caminos y rellenos
- Estructuras transversales y longitudinales

Estos elementos modifican la sección efectiva de flujo y generan pérdidas locales que afectan el comportamiento hidráulico

Rugosidad del cauce y planicies

La rugosidad de Manning representa la fricción generada por:

- Tipos de suelo
- Vegetación
- Irregularidades geométricas
- Obstáculos y variaciones en la superficie

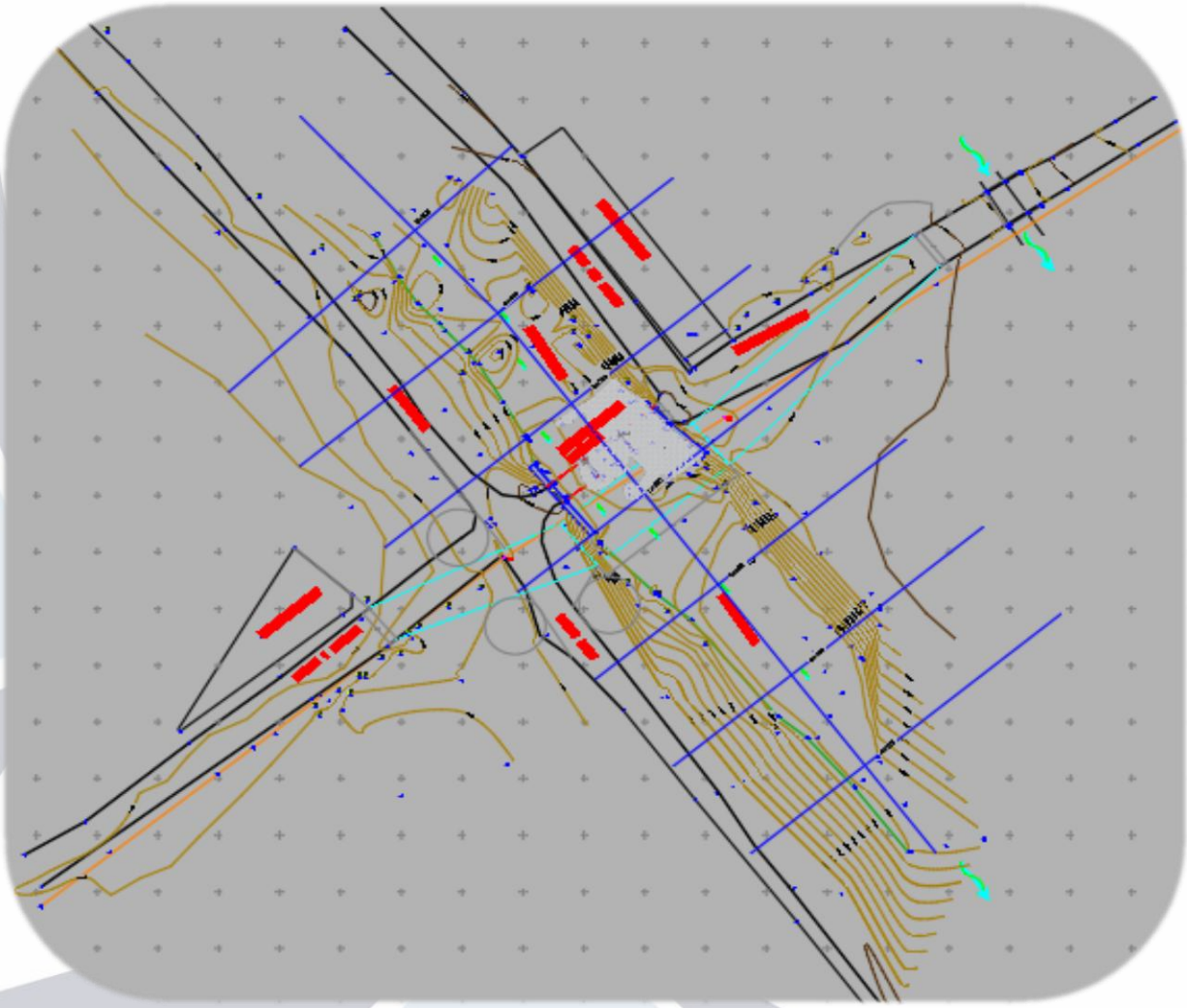
La rugosidad es parte del medio físico y se asigna a cada segmento de la sección transversal

Información topográfica y geométrica

E Puente Vehicular “La Torrecilla”, con el objetivo de evaluar su capacidad de conducción, por lo que es necesario analizar su comportamiento hidráulico y determinar los tirantes de agua, así como las correspondientes velocidades para loa caudales de crecida, con la finalidad de obtener parámetros y consideraciones para el análisis de socavación en las pilas previstas para el diseño del puente.

La información proporcionada secciones transversales a cada 20 metros en una franja de 120 m, con lo que se realizará el análisis desde aguas arriba de la ubicación del puente. Se muestra la información disponible, así como las secciones transversales.

A partir de la topografía entregada se procesó el Modelo Digital del Terreno (MDT), para su procesamiento en el programa

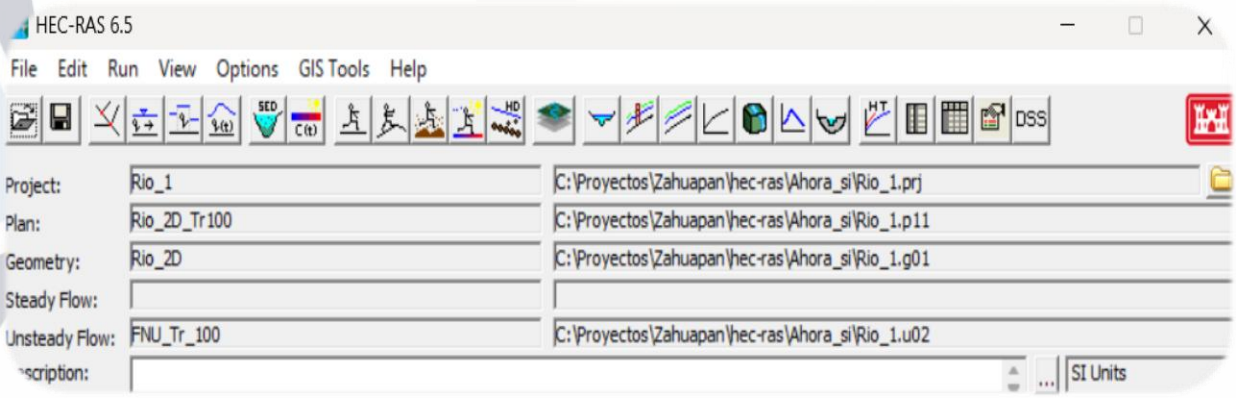




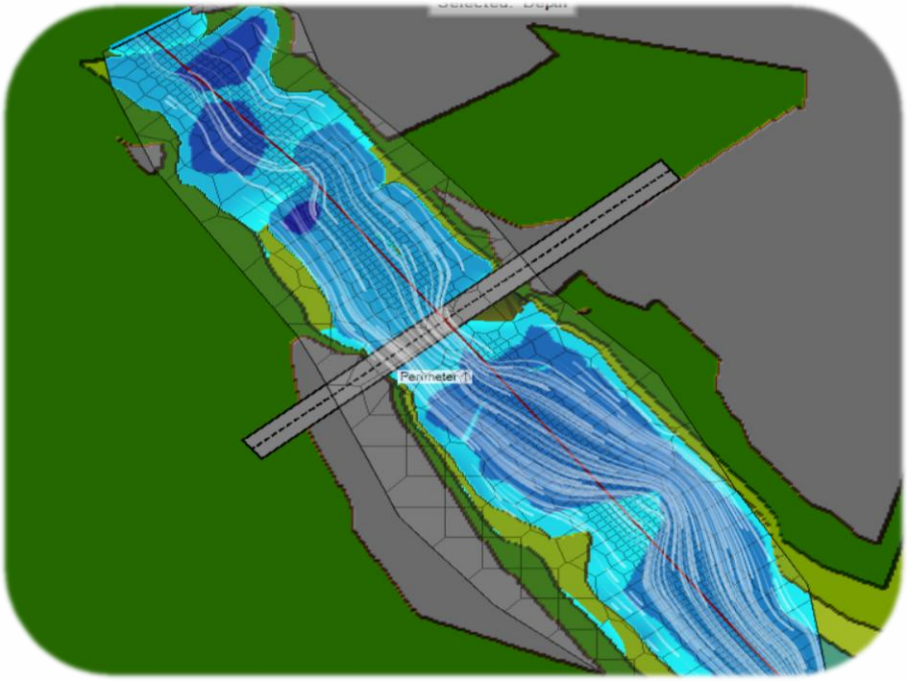
Sistema de modelación hidráulica HEC -RAS

Es un sistema dinámico para la modelación unidimensional de flujo rápidamente variado, analizando regímenes crítico, subcrítico y mixto, por lo que brinda la flexibilidad necesaria para modelar las condiciones presentes en un evento de crecida histórica de interés del proyecto.

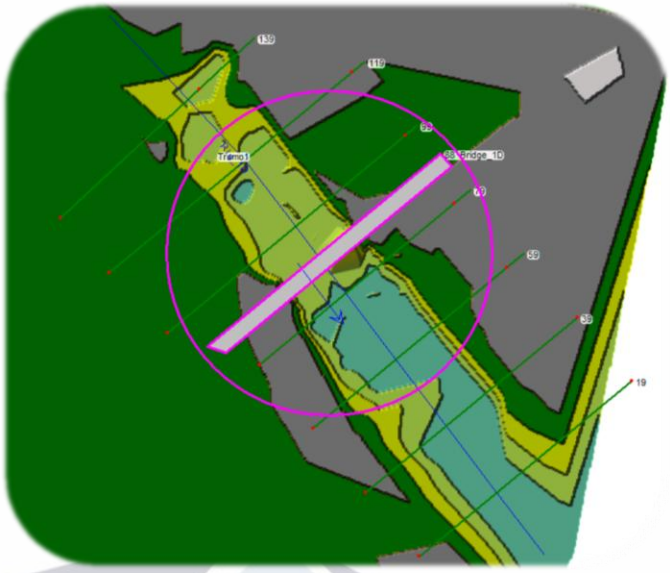
El entorno del modelo, así como el ingreso de la información al modelo se muestra a continuación:

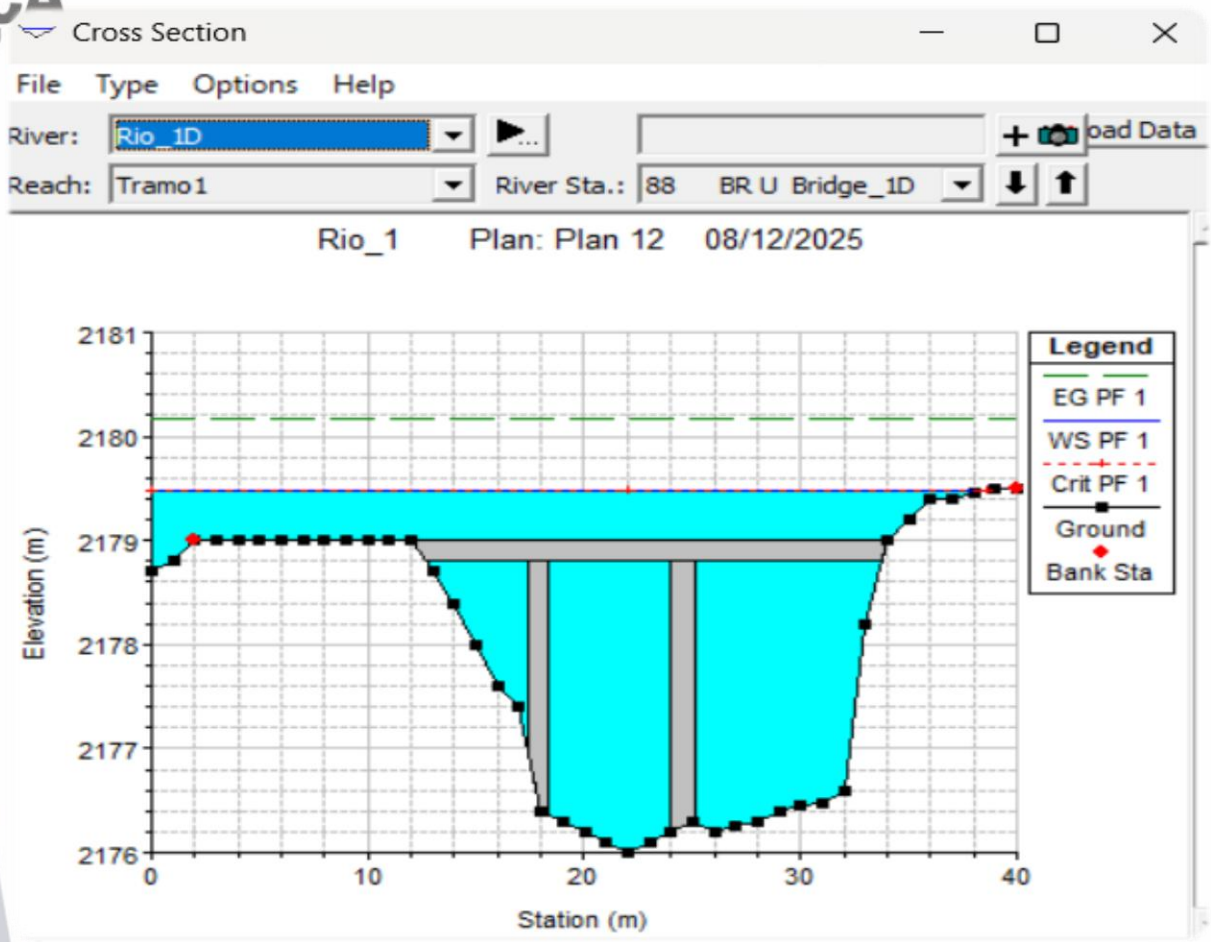


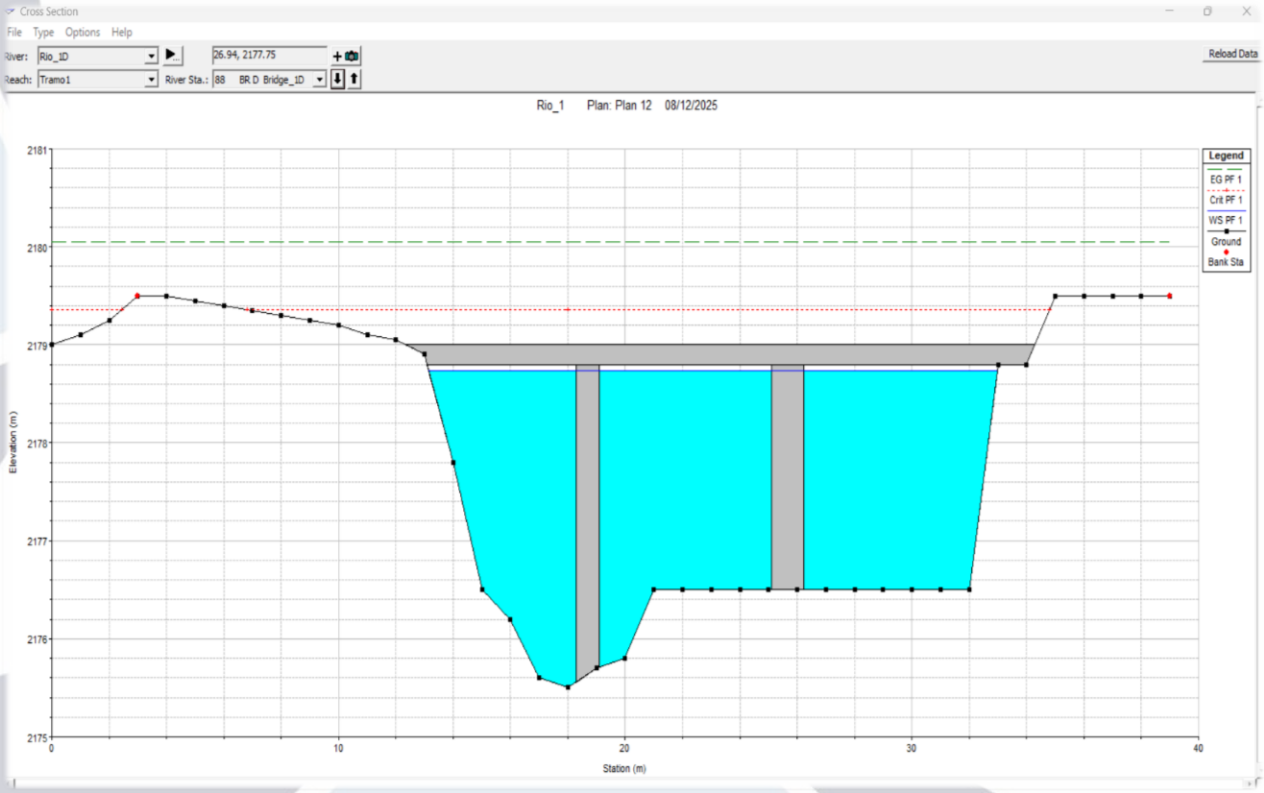
Modelación 2D



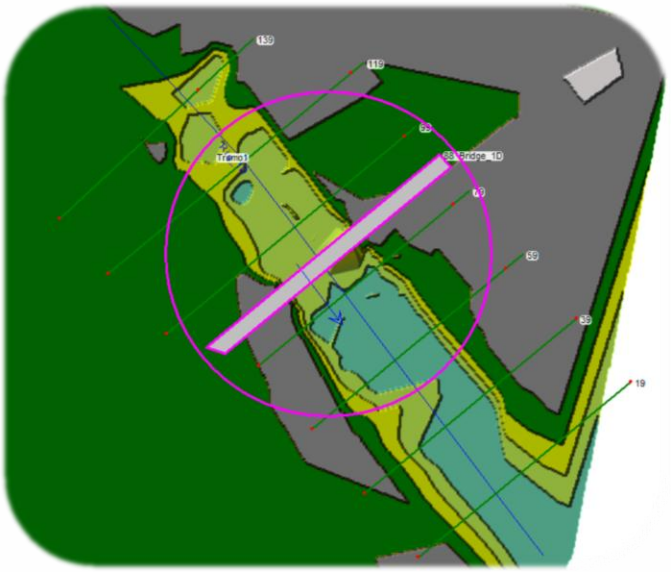
Modelación 1D Tr = 100 años, Q=201.73 m^3/s

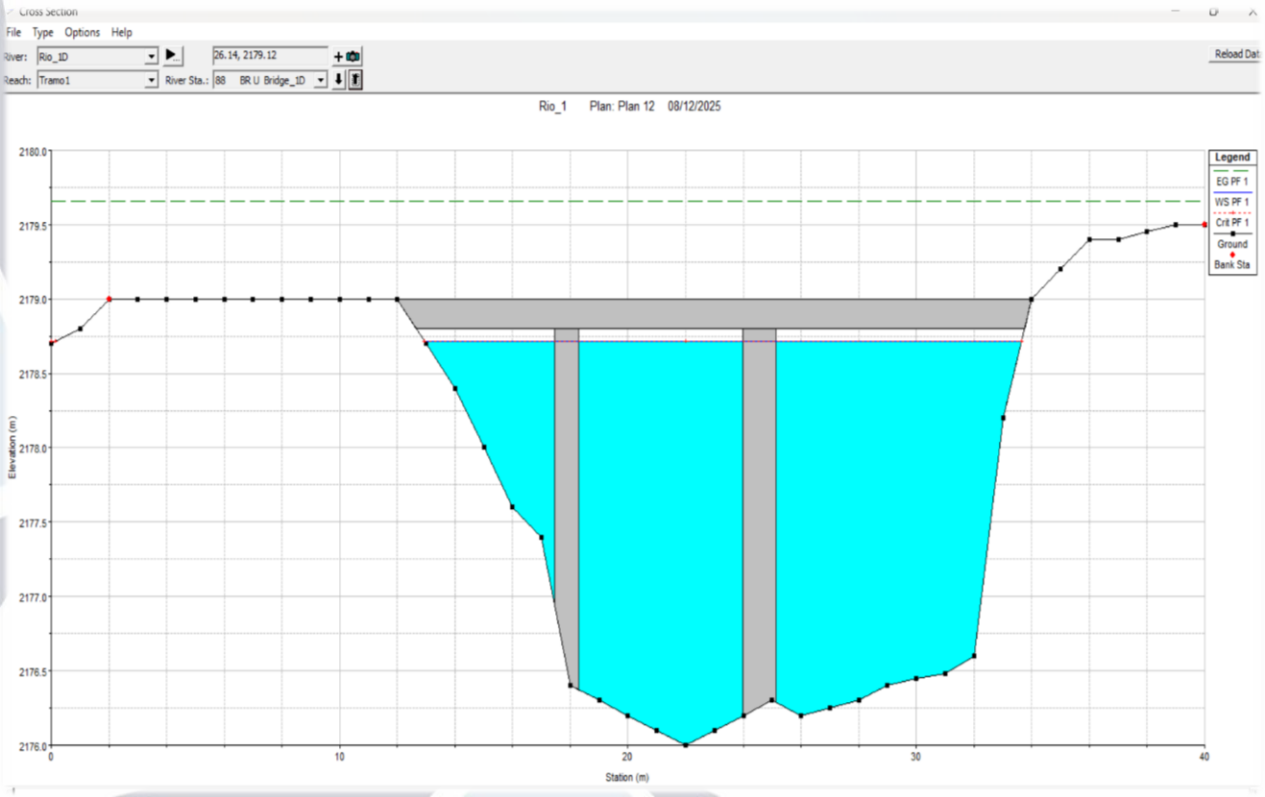


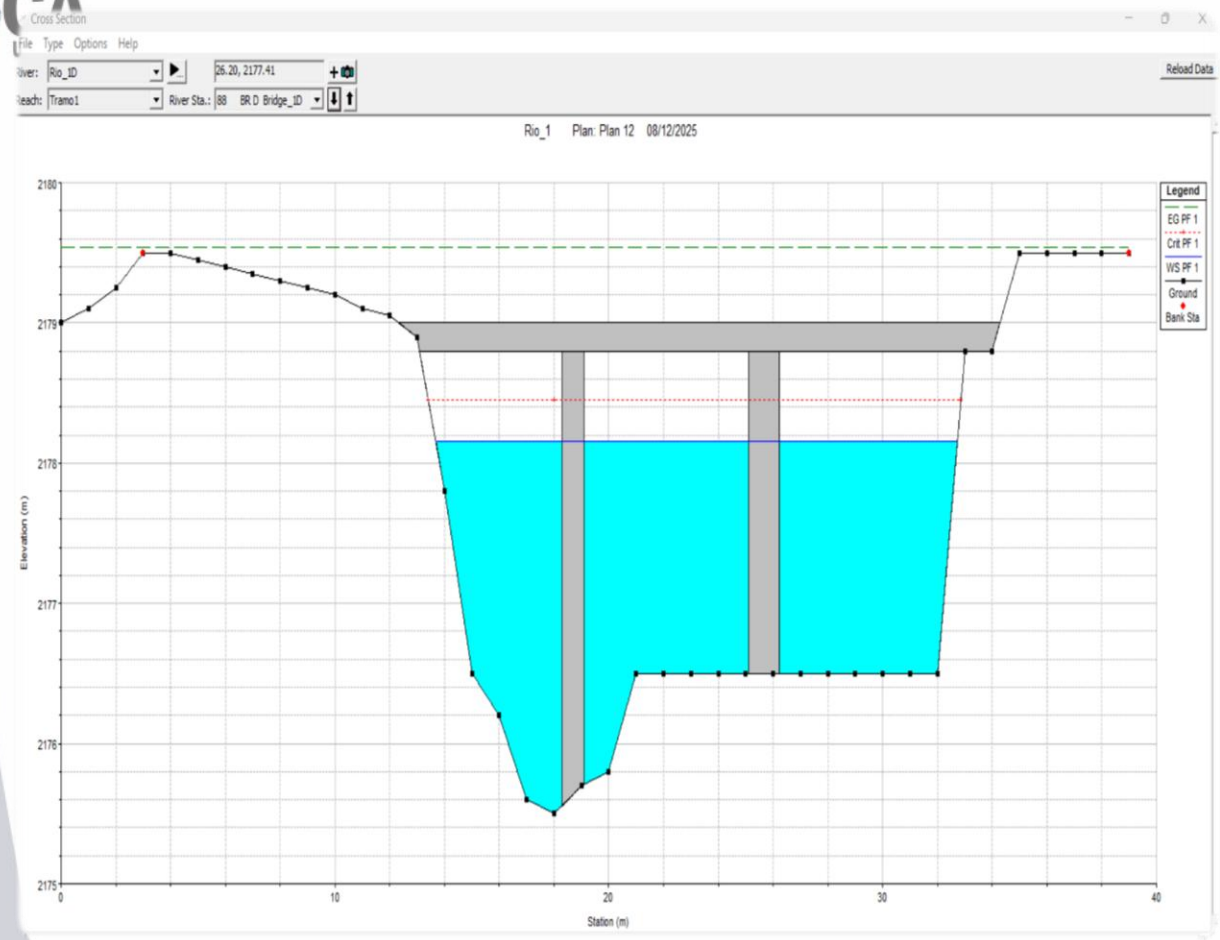

Cross Section
File Type Options Help
River: Rio_1D
Reach: Tramo1
River Sta.: 88 BR U Bridge_1D
Rio_1 Plan: Plan 12 08/12/2025
Legend
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
2181
2180
2179
2178
2177
2176
0
10
20
30
40

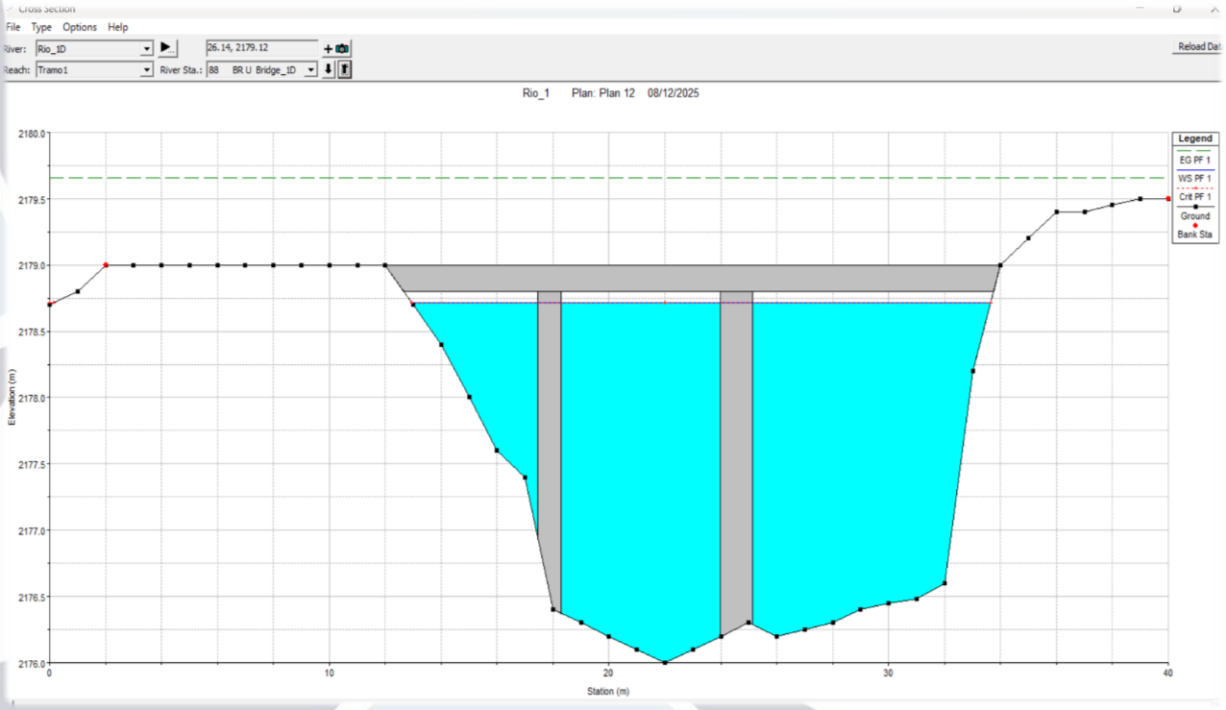

Cross Section
File Type Options Help
Rio_1 Plan: Plan 12 08/12/2025
Legend
Station (m)

Modelación 1D Tr = 50 años, Q=174.054 m^3/s






Cross Section
File Type Options Help
River: Rio_1D
Reach: Tramo1
River Sta.: 88 BR D Bridge_1D
26.20, 2177.41
Reload Data
Rio_1 Plan: Plan 12 08/12/2025
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
2180
2179
2178
2177
2176
2175
0
10
20
30
40


File Type Options Help
River: Rio_1D
Reach: Tramo1
River Sta.: 88 BR U Bridge_1D
26.14, 2179.12
Reload Da
Rio_1 Plan: Plan 12 08/12/2025
Legend
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
2180.0
2179.5
2179.0
2178.5
2178.0
2177.5
2177.0
2176.5
2176.0
0
10
20
30
40

- Cálculo hidráulico de estructuras (puentes. Aliviaderos, alcantarilladas, etc.)
- Visualización gráfica de datos y resultados
- Edición de gráfica de secciones

Parámetros hidráulicos requerido para la modelación del flujo en ríos

Para la aplicación del modelo descrito es necesario establecer las características geométricas del cauce, definidas con los niveles transversales y estructuras singulares obtenidas en el levantamiento topográfico.

Coeficiente de rugosidad de Manning

El concepto de rugosidad permite simular la aspereza o falta de uniformidad de los contornos en el lecho natural, en el caso de un rio de lecho móvil, la resistencia al flujo se puede explicar con base a la caracterización de la rugosidad el sedimento que forma el cauce y en las formas del lecho.

Existen relaciones entre las características de los suelos potencialmente inundables por la crecida de un rio con dichos parámetros hidráulicos, esto permite estimar unos coeficientes de rugosidad en las riberas de inundación que como es bien sabido suelen diferir de los correspondientes al cauce de aguas abajo.

Para la modelación hidráulica del tramo de estudio localizado en el municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala, se determinó el coeficiente de rugosidad de Manning (n) a partir de las condiciones físicas observadas en el cauce y en sus márgenes, así como de la clasificación de usos de suelo predominantes. La selección de los valores de n se fundamentó en los rangos establecidos por Ven Te Chow (1959), los cuales constituyen una referencia ampliamente aceptada por la ingeniería hidráulica nacional e internacional.

En el caso del cauce natural, caracterizado por un lecho con materiales aluviales finos, presencia moderada de vegetación ribereña y una geometría relativamente estable, se adoptó un coeficiente de rugosidad dentro del intervalo recomendado por Chow para ríos y arroyos naturales con lechos limpios y márgenes con vegetación ligera, cuyo rango típico se encuentra entre 0.030 y 0.045. De acuerdo con las observaciones en campo, el cauce presenta irregularidades moderadas y crecimiento vegetal intermitente, por lo que se seleccionó un valor representativo que refleja dichas condiciones.

Para las áreas colindantes clasificadas como agricultura, el valor de n se determinó considerando superficies cultivadas con vegetación de porte bajo a medio y texturas relativamente uniformes, lo que se ajusta a los rangos establecidos por Chow para superficies agrícolas en parcelas abiertas, con valores típicos entre 0.035 y 0.050,

dependiendo del tipo de cultivo, densidad y estacionalidad. Con base en las condiciones locales, se eligió un coeficiente que representa adecuadamente la resistencia al flujo que estas zonas aportan durante eventos de inundación.

La selección final de los valores de rugosidad se realizó buscando la mejor correspondencia entre las características físicas del sitio y los rangos propuestos por la literatura especializada, garantizando así una representación hidráulica confiable para el análisis del comportamiento del flujo en la zona de estudio. Estos valores permiten modelar adecuadamente la resistencia al flujo en el cauce y las zonas adyacentes, contribuyendo a la precisión de las simulaciones en HEC-RAS y al cumplimiento de criterios técnicos establecidos por las autoridades competentes.

Coeficientes de contracción y expansión

Son los coeficientes que definen la brusquedad en la transición entre dos perfiles consecutivos según su morfología. Para el coeficiente de expansión como para la el de contracción, pasando de ser 0.5 para el primero y 0.3 para el segundo al pasar por un puente y de 0.3 y 0.1 respectivamente en el caso de una transición gradual.

Condición de contorno

Estable el valor de los parámetros que definen el comienzo y el final de la ejecución del modelo hidráulico, para ello hay que conocer, en algún punto del cauce, la relación entre los caudales circulante y los niveles de la lámina de agua o, sino se contase con dicha información, situar el perfil lo suficientemente alejado para asegurar que posibles errores en el establecimiento de la condición de borde (dentro, lógicamente, de un rango razonable) no afectan a los niveles de avenida en esa zona.

Se adopta la condición de contorno de caudal en el extremo más aguas arriba según el caudal de avenida calculado para cada punto en el estudio hidrológico, siguiendo la distribución de caudales. Mientras que aguas abajo la condición de contorno viene impuesta por al pendiente promedio del cauce.

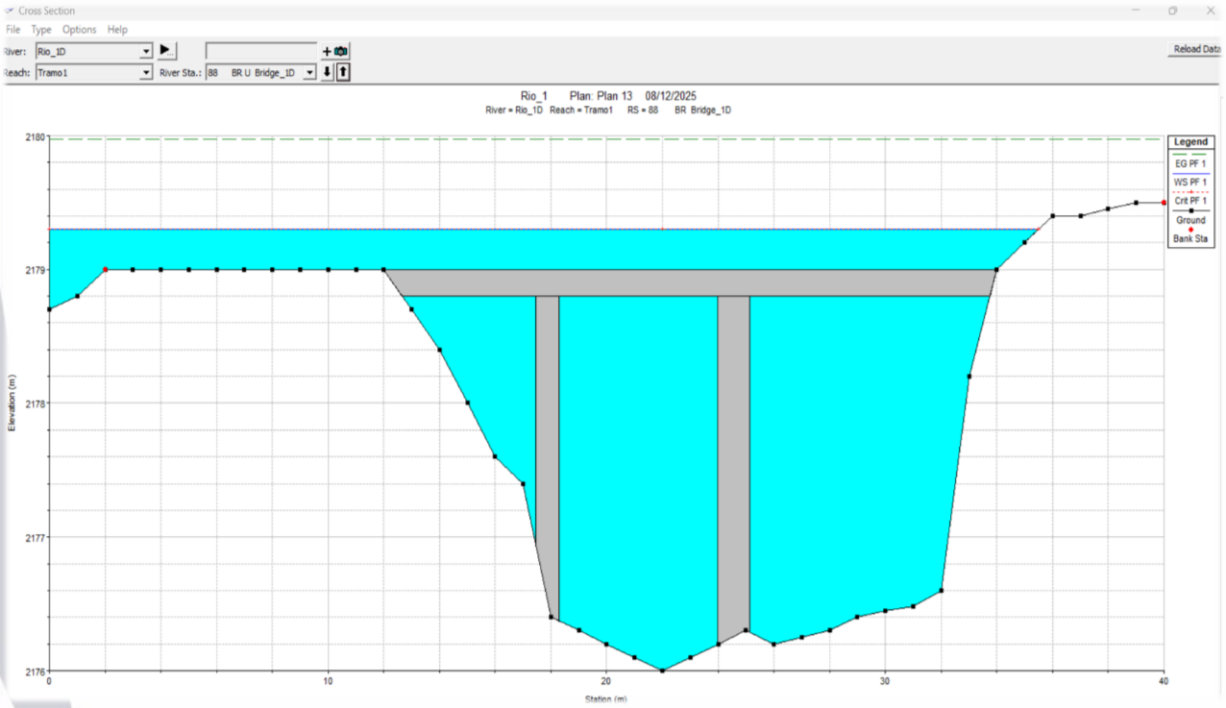
Tipo de régimen

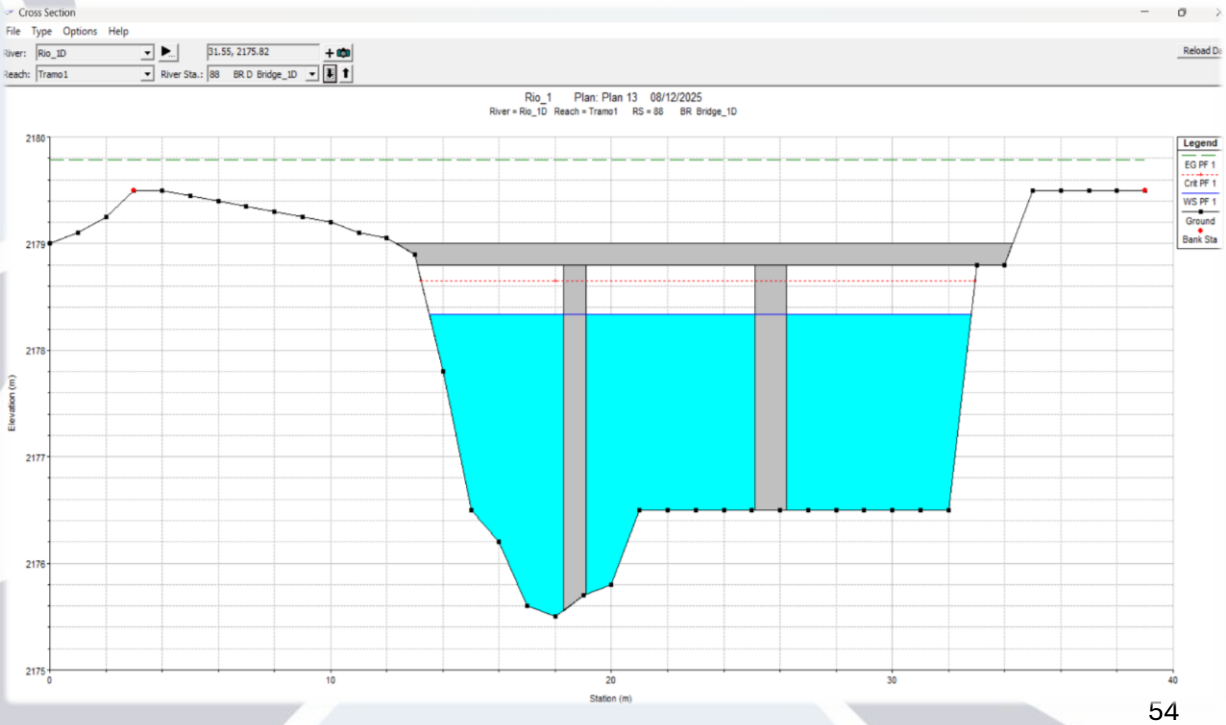
El cálculo se ha realizado asumiendo un régimen misto de forma que los niveles obtenidos en dicha zona se encuentran del lado de la seguridad, las condiciones topográficas relativamente planos de la zona de implantación del puente prevé este comportamiento.

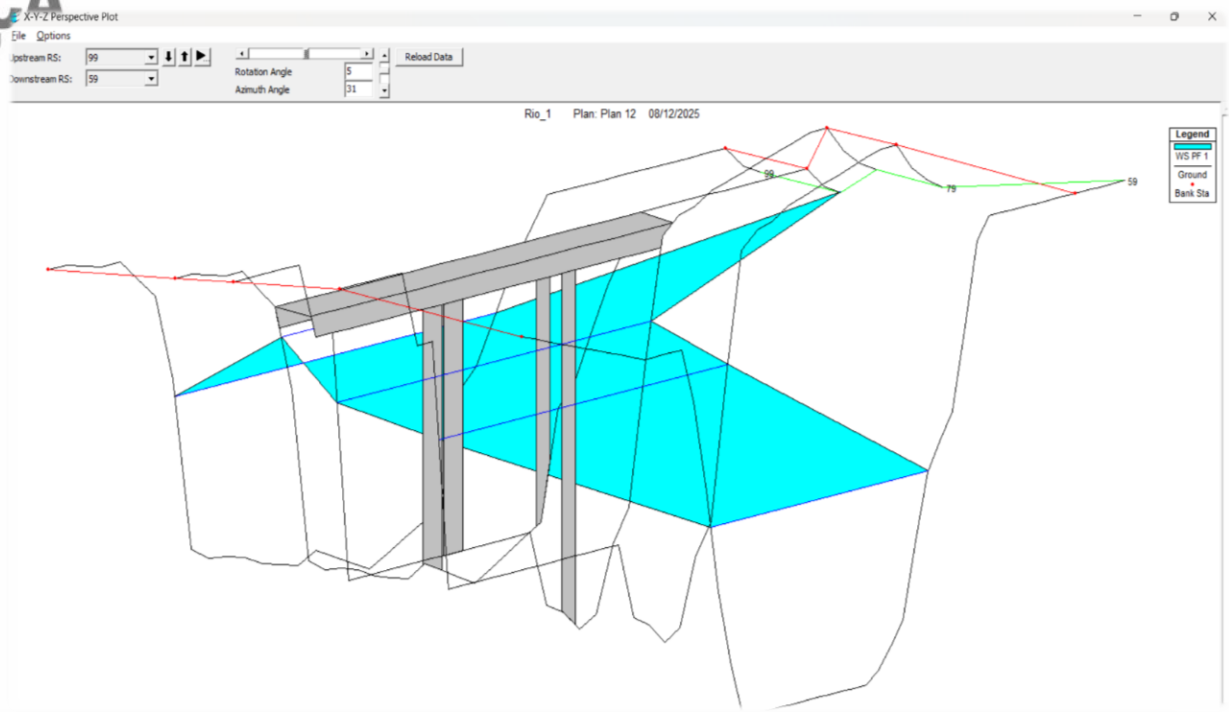
Modelación hidráulica

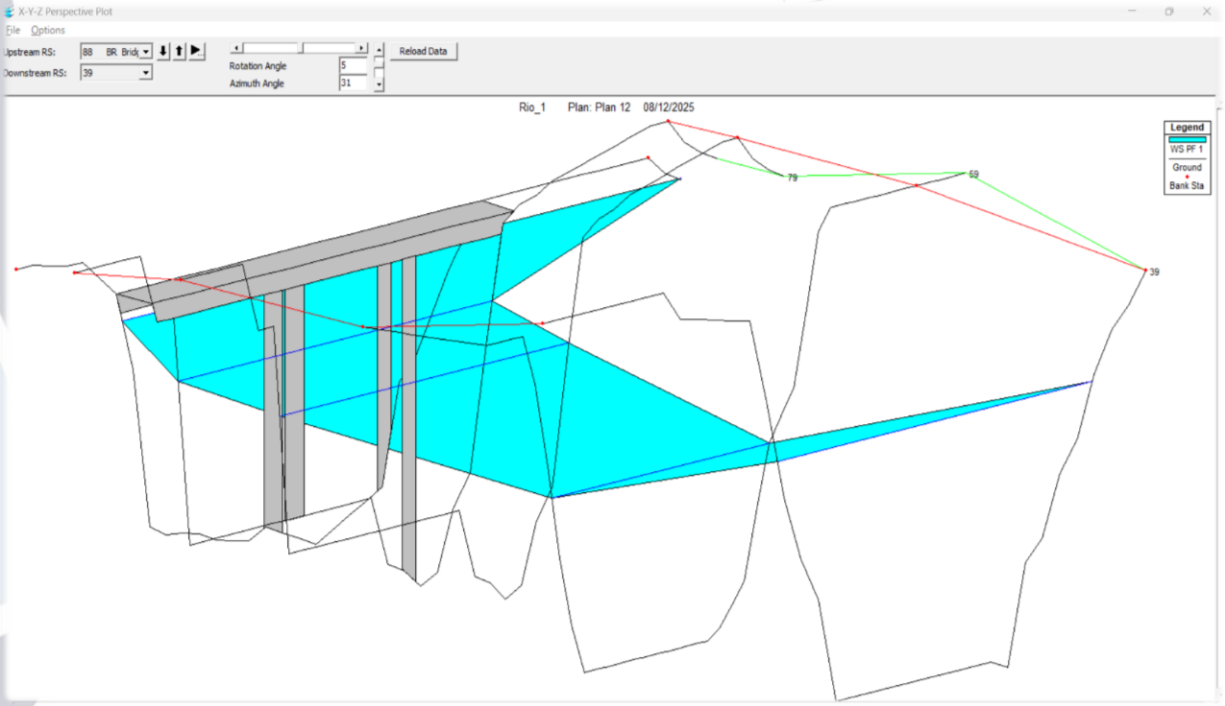
El modelo trabaja con un tramo de una longitud de 120 m, le puente se encuentra entre la sección 0+040 y 0+060, las secciones transversales se encuentran separada a cada 20 m.

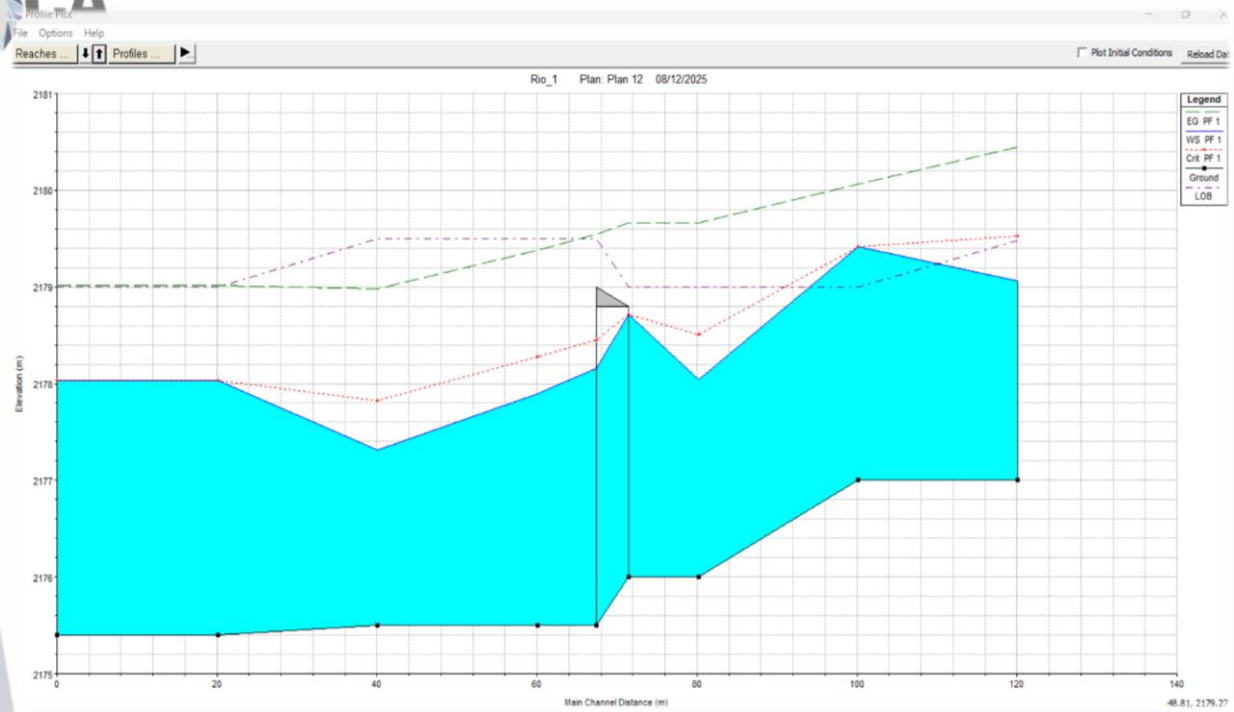
Resultados Tr 50 años



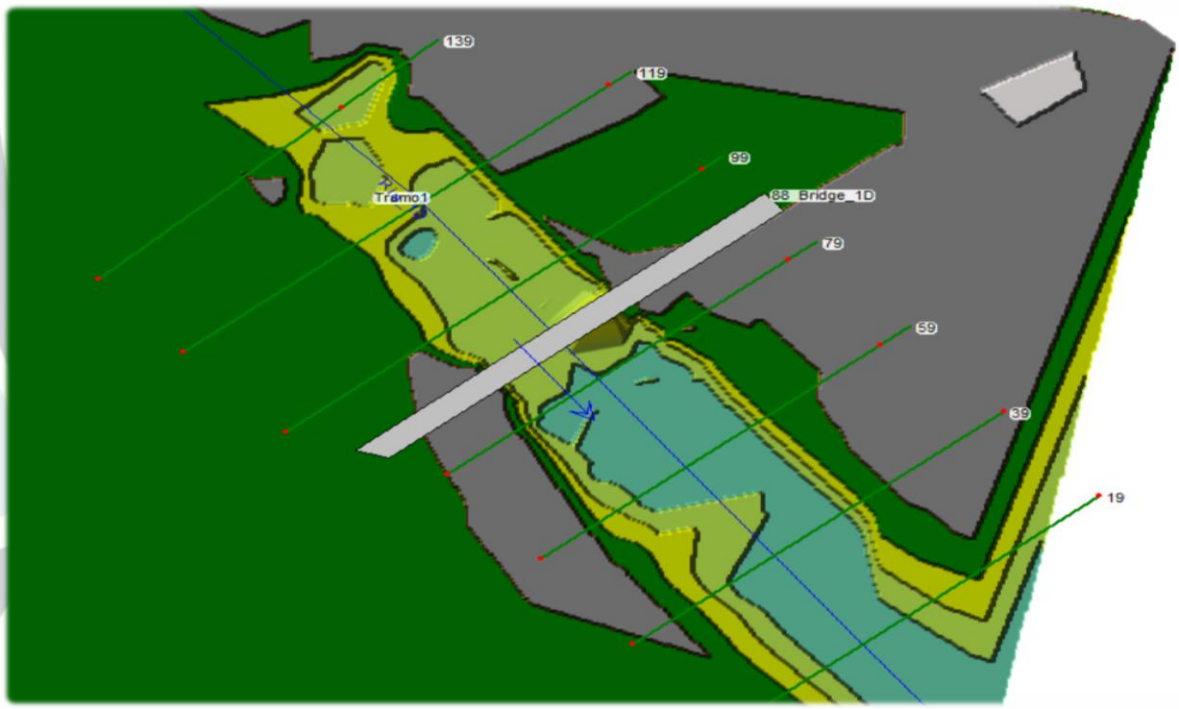


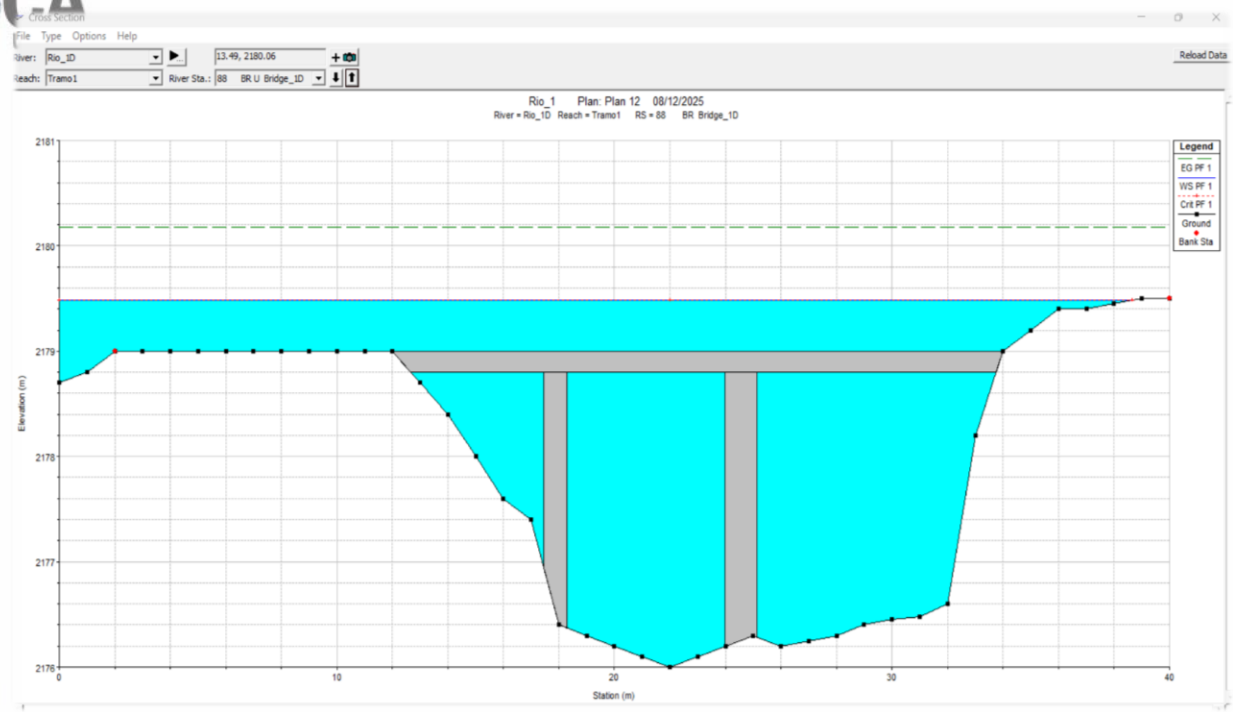

X-Y-Z Perspective Plot
File Options
Upstream RS: 99
Downstream RS: 59
Rotation Angle 5
Azimuth Angle 31
Reload Data
Rio_1 Plan: Plan 12 08/12/2025
Legend
WS PF 1
Ground
Bank Sta
99
79
59

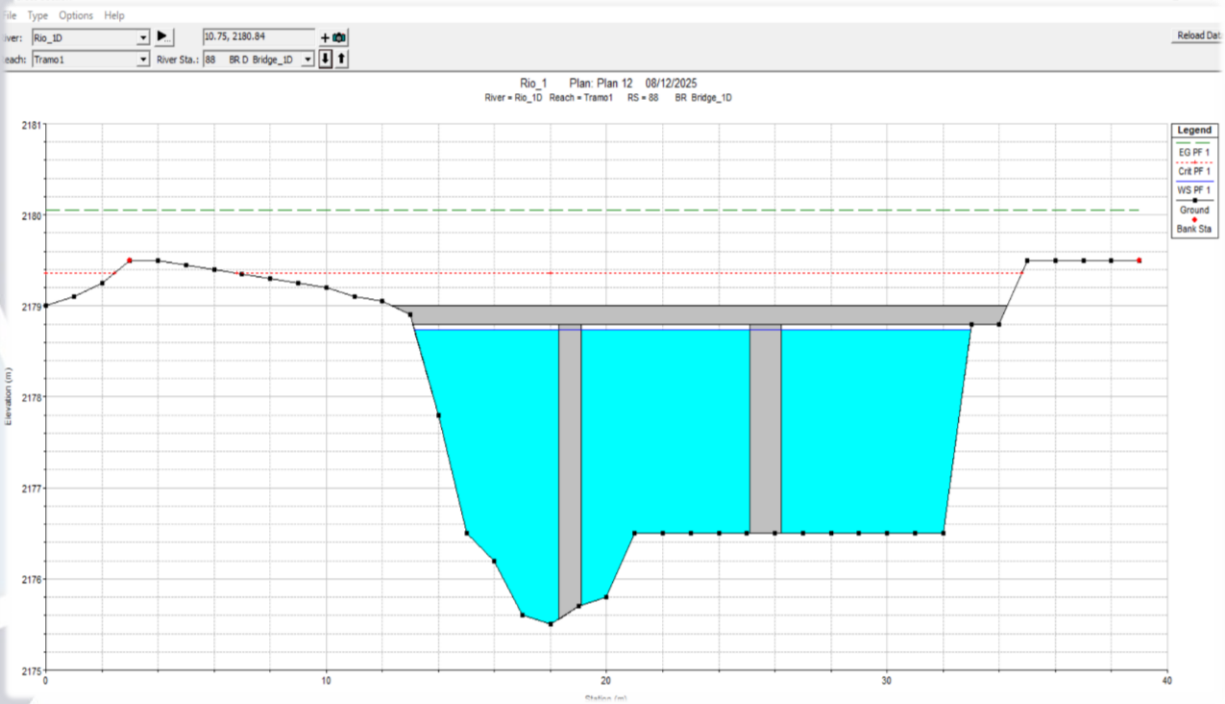

X-Y-Z Perspective Plot
File Options
Upstream RS: 88 BR Brid
Downstream RS: 39
Rotation Angle 5
Azimuth Angle 31
Reload Data
Rio_1 Plan: Plan 12 08/12/2025
Legend
WS PF 1
Ground
Bank Sta
79
59
39

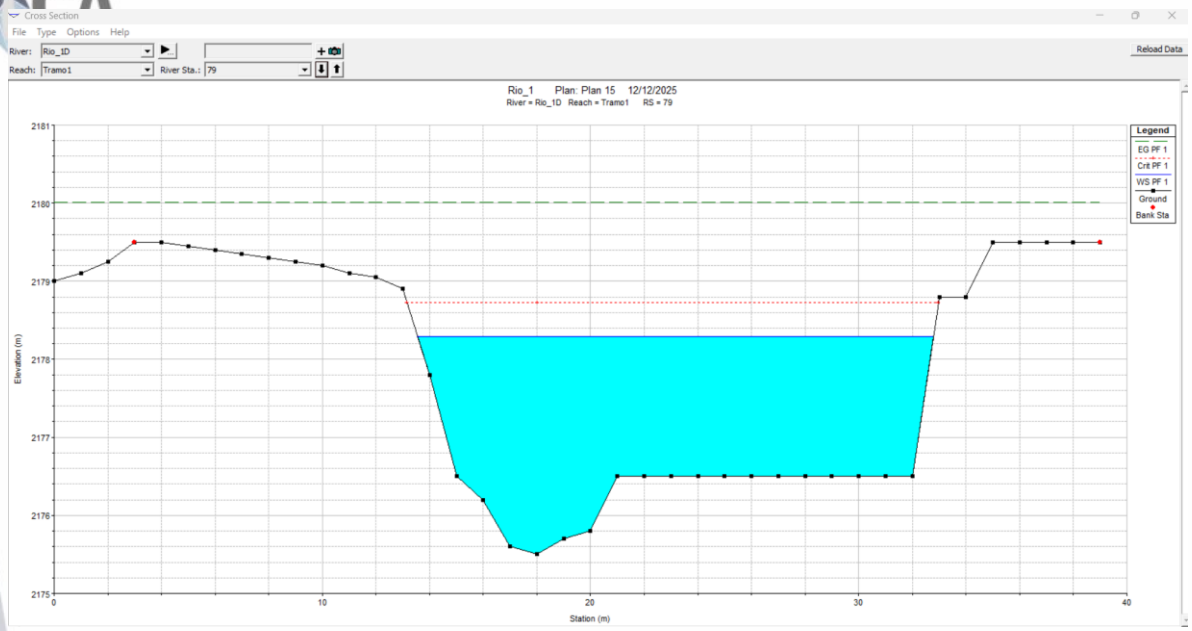


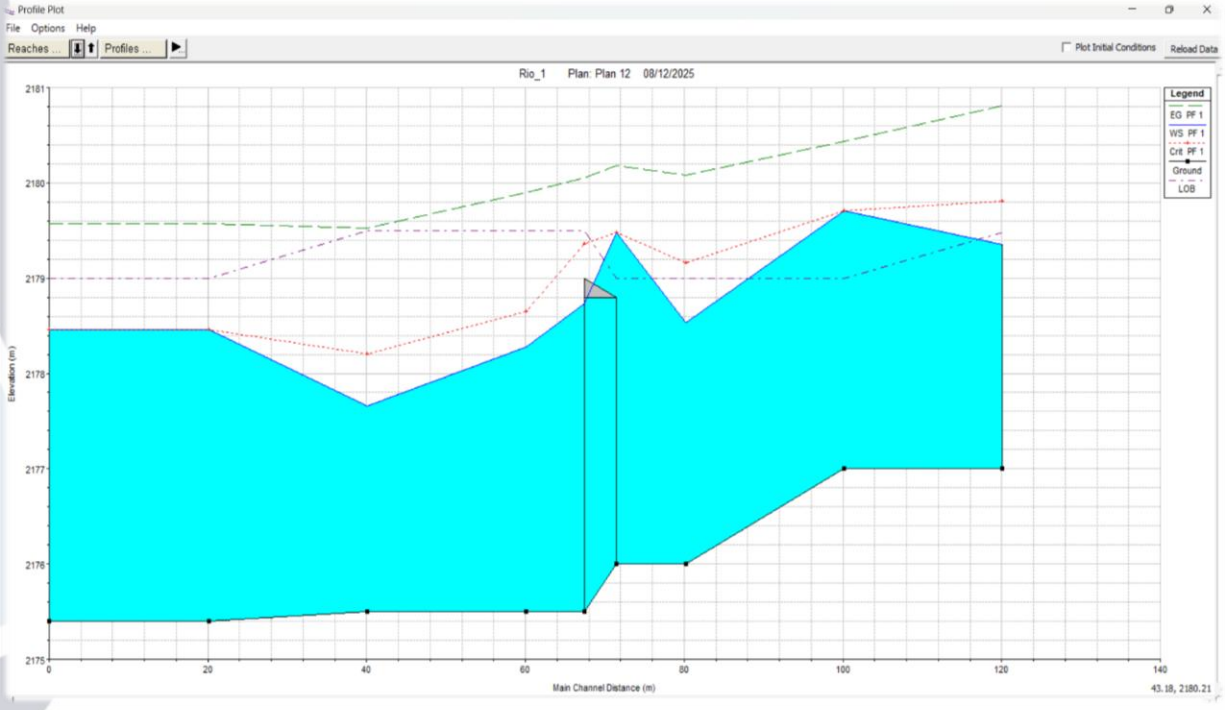
Resultados Tr 100 años

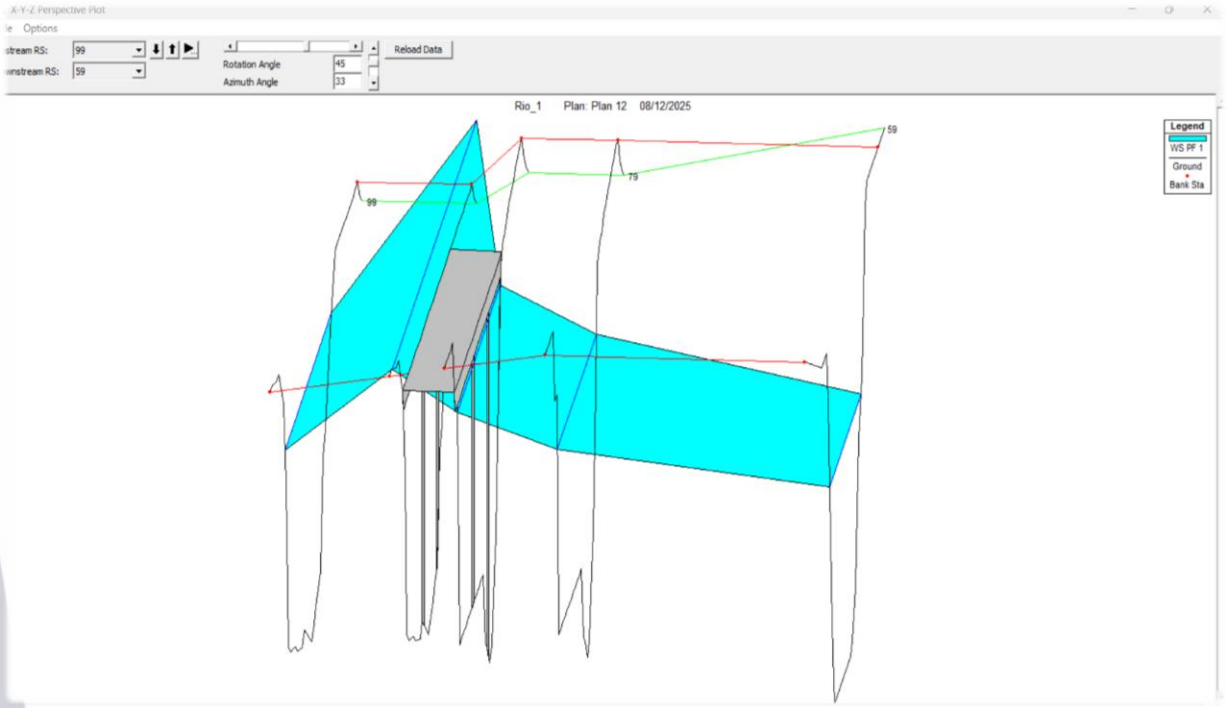


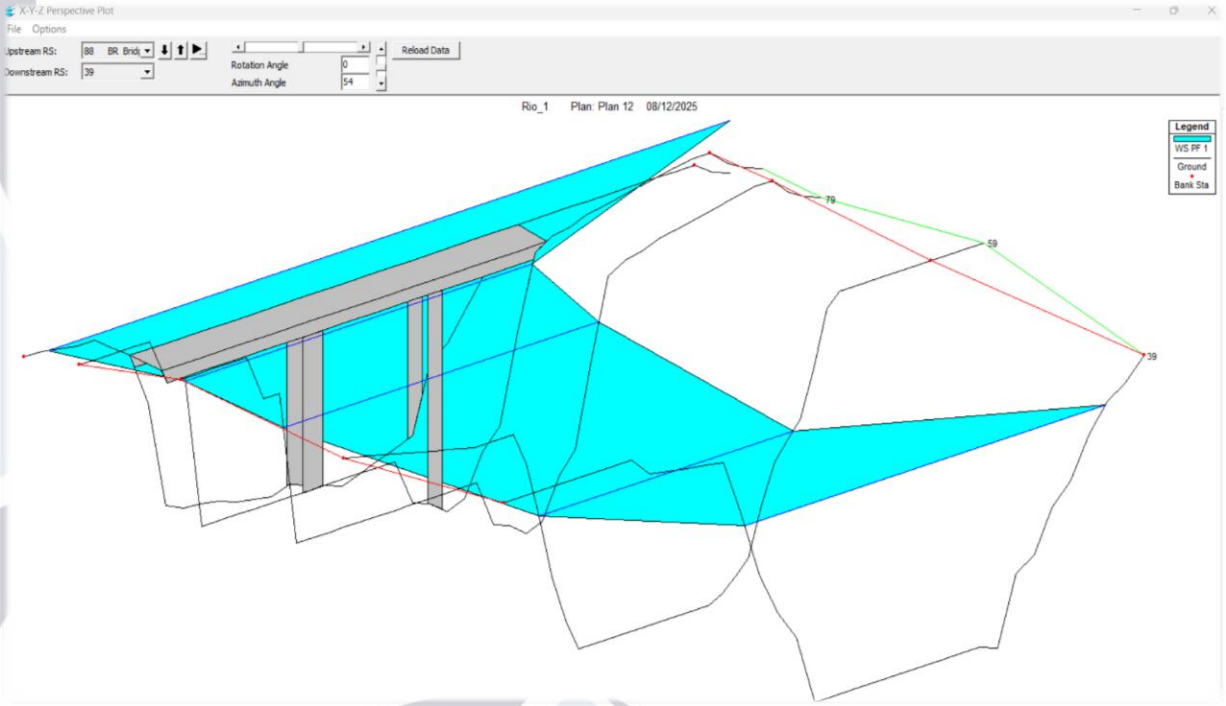

Cross Section
File Type Options Help
River: Rio_1D
Reach: Tramo1
13.49, 2180.06
River Sta.: 88 BR U Bridge_1D
Reload Data
Rio_1 Plan: Plan 12 08/12/2025
River = Rio_1D Reach = Tramo1 RS = 88 BR Bridge_1D
Legend
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
2181
2180
2179
2178
2177
2176
0
10
20
30
40


File Type Options Help
River: Rio_1D
Reach: Tramo1
10.75, 2180.84
River Sta.: 88 BR D Bridge_1D
Reload Dat
Rio_1 Plan: Plan 12 08/12/2025
River = Rio_1D Reach = Tramo1 RS = 88 BR Bridge_1D
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
2181
2180
2179
2178
2177
2176
2175
0
10
20
30
40


Cross Section
File Type Options Help
River: Rio_1D
Reach: Tramo1
River Sta.: 79
Reload Data
Rio_1 Plan: Plan 15 12/12/2025
River = Rio_1D Reach = Tramo1 RS = 79
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)


Profile Plot
File Options Help
Reaches ...
Profiles ...
Plot Initial Conditions
Reload Data
Rio_1 Plan: Plan 12 08/12/2025
Legend
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 1
Ground
LOB
Elevation (m)
Main Channel Distance (m)
43.18, 2180.21


X-Y-Z Perspective Plot
Options
Upstream RS: 99
Downstream RS: 59
Rotation Angle 45
Azimuth Angle 33
Reload Data
Rio_1 Plan: Plan 12 08/12/2025
Legend
WS PF 1
Ground
Bank Sta
99
79
59


X-Y-Z Perspective Plot
File Options
Upstream RS: 88 BR Brid
Downstream RS: 39
Rotation Angle 0
Azimuth Angle 54
Reload Data
Rio_1 Plan: Plan 12 08/12/2025
Legend
WS PF 1
Ground
Bank Sta
79
59
39

Resultados generales de HEC RAS

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: 1D_V4 River: Rio_1D Reach: Tramo1 Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Tramo1	139	PF 1	201.73	2177.00	2179.36	2179.81	2180.81	0.020036	5.51	40.79	35.14	1.42
Tramo1	119	PF 1	201.73	2177.00	2179.71	2179.71	2180.43	0.010987	3.80	54.00	37.06	0.99
Tramo1	99	PF 1	201.73	2176.00	2178.53	2179.16	2180.08	0.016974	5.52	36.56	19.84	1.30
Tramo1	88 Bridge_1D		Bridge									
Tramo1	79	PF 1	201.73	2175.50	2178.27	2178.65	2179.90	0.015806	5.64	35.77	19.20	1.32
Tramo1	59	PF 1	201.73	2175.50	2177.66	2178.20	2179.52	0.019767	6.04	33.41	19.46	1.47
Tramo1	39	PF 1	201.73	2175.40	2178.46	2178.46	2179.57	0.010169	4.67	43.22	19.70	1.01
Tramo1	19	PF 1	201.73	2175.40	2178.46	2178.46	2179.57	0.010166	4.67	43.22	19.71	1.01

Derivado de la modelación hidráulica realizada en HEC-RAS para un periodo de retorno de 100 años, se determina que el régimen de flujo predominante en el tramo analizado es subcrítico turbulento, condición consistente con la pendiente suave del cauce y las características geométricas observadas. Los resultados indican un tirante máximo estimado de 3.45 m aguas arriba del puente, valor que supera la altura libre disponible en la estructura, generando un riesgo significativo de sobrepasamiento y potencial inundación en las zonas adyacentes.

Considerando que la cota de fondo es de 2175.45 msnm, teniendo una lámina de agua para en Q_{50} = 174.054 m³/s y para un Q_{100} = 201.73 m³/s

La cota intrados corresponde a 2180.45 m

La superación de la capacidad hidráulica del puente evidencia que, bajo eventos extremos, el tránsito del gasto de diseño se ve limitado por las dimensiones de la obra, ocasionando incrementos en los niveles de agua y pérdidas de energía que favorecen el remanso. Esta condición representa un punto crítico de vulnerabilidad que debe ser considerado en la planeación de medidas de mitigación, tales como adecuaciones en la estructura, ampliación del claro hidráulico o intervenciones en el cauce que permitan mejorar su eficiencia hidráulica.

En consecuencia, los resultados obtenidos confirman la necesidad de evaluar alternativas de solución para garantizar la seguridad hidráulica del sitio ante eventos hidrometeorológicos de alta magnitud y reducir el riesgo de afectaciones a la infraestructura y a las áreas colindantes.

CONTRATO: [redacted]

“ESTUDIOS Y PROYECTO PARA PUENTE VEHICULAR "LA TORRECILLA" DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA”

ESTUDIO GEOTÉCNICO Y MECÁNICA DE SUELOS

5

ROCA SOULT, S.A. DE C.V.

[redacted]

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS

[redacted]

PUENTE VEHICULAR "LA TORRECILLA" DEL MUNICIPIO DE XICOHTZINCO, TLAXCALA.

Dirección: CAMINO A DOLORES ENTRE [redacted] DE SANCHEZ, Xicohtzinco, Tlaxcala.

Fecha: diciembre 2025

MATEST INNOVATIVE. GLOBAL. MANUFACTURER. | PAVETEST

Rapporto di calibrazione cella di carico

Load cell calibration report

2022.004366

Modello Model	ME 8-GE		**Materiale** Material	ACCIAIO INOX	
Portata Capacity	500	Kg	**Alimentazione** Range of excitation	5 - 18	V
Matricola Serial N°	22-22515 S337-35/BA/0006		**Compens. Termica** Temperature range	-10 ÷ +40	°C
Sensib. Nom. Nom. sensibility	2	mV/V	**Temp. di Lavoro** Max temperature range	-20 ÷ +70	°C
Res. Ingresso Input resistance	700 ÷ 710	ohm	**Isolamento** Zero signal	> 2000	Mohm
Res. Uscita Output resistance	700 ÷ 705	ohm	**Metodo di prova** Test mode	COMPRESSIONE	
Zero Zero signal	+/- 0,0200	mV/V	**Temperatura di prova** Test temperature	AMBIENTE	

CURVA DI RISPOSTA

Response Curve

%	Carico Load Kg	Uscita Output mV/V	Errore Error mV/V
0	0	0,0000	0,0000
10%	50	0,1999	-0,0001
20%	100	0,3998	-0,0002
30%	150	0,5998	-0,0002
40%	200	0,7996	-0,0004
50%	250	0,9996	-0,0003
60%	300	1,1991	-0,0008
70%	350	1,3991	-0,0008
80%	400	1,5992	-0,0007
90%	450	1,7992	-0,0007
100%	500	1,9999	0,0000

Note: SHUNT DI CALIBRAZIONE = 1.8743mV/V

Codice Colori

Color Code

Rosso	+ Segnale	Red	+ Signal
Nero	- Segnale	Black	- Signal
Bianco	+ Alimentazione	White	+ Supply
Verde	- Alimentazione	Green	- Supply
Blu	shunt	Blue	shunt
Giallo	shunt	Yellow	shunt

Schermo non collegato al corpo cella

Shield not connected to the load cell body

Realizzato con pressa PR 7 COMP C 21/S certificato SIT LAT 002 C220312 del 09/06/2022

Riferimento cella campione PR 7 C certificato SIT 00287OK5.13015387/13019238

Data date
25/07/2022

Operatore operator

[redacted]

MATEST S.p.A.

Direzione e Coordinamento
Maestron S.r.l.
[redacted]

Sede Legale
Registered office
[redacted]

Sede Operativa e Amministrativa
Trading address
[redacted]

[redacted]

Sede Legale
Registered office
[redacted]

Escaneado con CamScanner

Escaneado con CamScanner

Contenido

Relación de Anexos 1

1. ANTECEDENTES 3

1.1 Características del área en estudio 3

1.2 Características del proyecto 3

1.3 Objetivo 4

1.4 Propósitos y alcances de este informe 4

2. CONDICIONES GEOTÉCNICAS DEL SITIO 6

2.1 Marco geológico regional 6

2.2 Sismicidad 8

3. TRABAJOS DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA 12

4. ENSAYES DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS 16

5. CONDICIONES ESTRATIGRÁFICAS 17

5.1 Condiciones hidrostáticas 18

5.2 Correlación de número de golpes 18

6. DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN 21

6.1 Descripción de la solución a la cimentación 21

6.2 Capacidad de carga por fuste 21

6.3 Capacidad de carga por punta 22

6.4 Asentamientos esperados en pilas 23

6.5 Cálculo del módulo de reacción vertical y horizontal 24

6.6 Módulo de reacción del suelo horizontal. 25

7. PROCESOS CONSTRUCTIVOS 27

8. CONCLUSIONES 30

9. REFERENCIAS 32

Relación de Anexos

Anexo I. Reporte Fotográfico

Anexo II. Pruebas de laboratorio

Anexo III. Memoria de cálculo

Relación de figuras

Figura No. 1 Ubicación general de la zona en estudio, imagen tomada de Google Maps.
Figura No. 2 Ubicación particular de la zona en estudio, imagen tomada de Google Maps.
Figura No. 3 carta de zonificación geotécnica para el área urbana del valle de puebla, azomoza, et al, 1998.
Figura No. 4 Regionalización sísmica de la república mexicana, CFE 1993
Figura No. 5 Regionalización sísmica y parámetros dinámicos del sitio, PRODISIS, CFE 2015.
Figura No. 6 Espectro de respuesta sísmica para estructuras del grupo B, PRODISIS, CFE 2015.
Figura No. 7 Ubicación de los trabajos de exploración geotécnica
Figura No. 8 Perfil estratigráfico del SPT-1
Figura No. 9 Perfil estratigráfico del SPT-2

Relación de tablas

Tabla No. 1 Trabajos de exploración geotécnica
Tabla No. 2 Correlación del número de golpes con el ángulo fricción interna.
Tabla No. 3 Estratigrafía de diseño SM-1
Tabla No. 4 Estratigrafía de diseño SM-2
Tabla No. 5 zona SPT-1, Capacidad de carga admisible por punta, con L=13.00m.
Tabla No. 6 zona SPT-2, Capacidad de carga admisible por punta, con L=13.00m.
Tabla No. 7 zona SPT-1 Asentamientos esperados para Pilas desplantados a Df=13.00m
Tabla No. 8 zona SPT-2 Asentamientos esperados para Pilas desplantados a Df=13.00m
Tabla No. 9 zona SPT-1 Módulos de reacción vertical para pilas.
Tabla No. 10 zona SPT-2 Módulos de reacci[redacted]
Tabla No. 11 zona SPT-1 Módulo de reacción horizontal c[redacted] diámetro de la pila.
Tabla No. 11 zona SPT-2 Módulo de reacción horizontal conforme al diámetro de la pila.
Tabla No. 13 Calidad de material para terraplén

[redacted]

1. ANTECEDENTES

A solicitud de ROCA SOULT, empresa responsable del desarrollo del proyecto ejecutivo denominado “Puente vehicular "La Torrecilla" del municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala.”, ubicado en el municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala, sobre el camino a Dolores, entre el río Zahuapan y la barranca de Sánchez, se llevará a cabo la construcción de un puente de paso vehicular y peatonal.

En las Figuras No. 1 y No. 2 se presenta la ubicación general y particular del área en estudio. Como parte de la integración del proyecto ejecutivo, se contempla la realización de un estudio de mecánica de suelos, el cual será ejecutado por GEOMAS S.C.

1.1 Características del área en estudio

El Puente “La Torrecilla” se localiza sobre el camino a Dolores, en el municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala, aproximadamente en las coordenadas 19.170947 N, –98.250576 W. En el sitio se observa una estructura existente que permite el cruce vehicular sobre el río Zahuapan.

El camino presenta una superficie de terracería con tránsito local y un ancho reducido, limitado por parapetos laterales de concreto que conforman el paso actual. En los márgenes del cauce se aprecia vegetación densa y ribereña, predominando árboles de mediano porte, hierbas y matorrales que crecen de forma natural sobre las márgenes y taludes.

En el entorno inmediato, del lado norte del camino, se observan viviendas de tipo rural y construcciones de mampostería, mientras que hacia el sur y este predominan áreas abiertas y vegetación natural. La topografía presenta una ligera pendiente descendente hacia el cauce, con evidencias de erosión leve en los bordes del camino.

Estas condiciones sugieren que el sitio se encuentra en [redacted] de transición entre área urbana y rural, con suelos susceptibles a saturación en temporada de lluvias, lo cual deberá considerarse para el diseño de cimentaciones y la estabilidad de taludes en los accesos al nuevo puente.

1.2 Características del proyecto

El proyecto denominado “Puente Vehicular La Torrecilla” tiene como objetivo la construcción de una estructura destinada al cruce vehicular y peatonal so[redacted]no a Dolores, dentro del municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala.

Actualmente no se cuenta con anteproyecto ejecutivo; sin embargo, tomando como referencia proyectos similares desarrollados en la región, se estima que la estructura podrá resolverse mediante el empleo de trabes pretensadas de concreto, apoyadas en caballetes y estribos de concreto reforzado, conformando una solución estructural eficiente y de mantenimiento reducido.

De acuerdo con mediciones aproximadas realizadas mediante herramientas de Google Earth, la longitud total del puente se estima en 36 metros, incluyendo los accesos de aproximación. Dichas dimensiones se consideran representativas para un puente de un solo claro o con apoyos intermedios dependiendo de las condiciones topográficas y geotécnicas que se determinen en el estudio.

El nuevo puente permitirá mejorar la conectividad local y garantizar la continuidad del tránsito vehicular y peatonal en la zona, reemplazando la estructura existente que actualmente presenta condiciones limitadas de sección, capacidad y durabilidad.

1.3 Objetivo

A partir de la información geotécnica obtenida y con base en los resultados de los trabajos de campo, laboratorio y gabinete, se llevará a cabo el diseño geotécnico de las estructuras de cimentación del puente. Este análisis permitirá determinar el tipo de cimentación más adecuado y su profundidad de desplante óptima, de acuerdo con las condiciones del subsuelo y las cargas estructurales estimadas.

Asimismo, se evaluará la capacidad de carga admisible del sistema suelo–cimentación en condiciones estáticas, así como la magnitud de los asentamientos esperados en la masa de suelo, verificando que en todo momento se cumplan los criterios de seguridad y servicio establecidos en la normatividad vigente.

1.4 Propósitos y alcances de este informe

Este El presente informe tiene como propósito documentar los resultados del estudio geotécnico realizado en el sitio destinado a la construcción del Puente Vehicular “La Torrecilla”, en el municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala. Los resultados obtenidos se orientan a establecer las condiciones de cimentación más adecuadas para las estructuras que conformarán el puente, con base en las características del subsuelo determinadas a partir de los trabajos de campo, laboratorio y gabinete.

Como parte del alcance de este estudio, se incluyen los siguientes aspectos:

- Descripción de los trabajos de exploración geotécnica efectuados en campo, así como de los ensayes de laboratorio realizados para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que integran el subsuelo en el área del proyecto.
- Caracterización general del marco geológico y geotécnico del sitio, presentando las condiciones estratigráficas detectadas, acompañ[redacted]les, cortes estratigráficos y parámetros representativos de resistencia y deformabilidad. [redacted]
- Criterios y consideraciones adoptados en el análisis y diseño geotécnico, orientados a la selección del tipo de cimentación más conveniente, tomando como referencia experiencias previas en estructuras de características similares.

Adicionalmente, este informe se complementa con tres anexos, en los cuales se presenta información técnica detallada obtenida durante el desarrollo del estudio:[redacted]

- Anexo I. Memoria fotográfica de los trabajos de ca[redacted]
- Anexo II. Resultados de los ensayes de laboratorio realizados a las muestras de suelo recuperadas.
- Anexo III. Memoria de cálculo correspondiente a los análisis y determinaciones geotécnicas efectuadas.

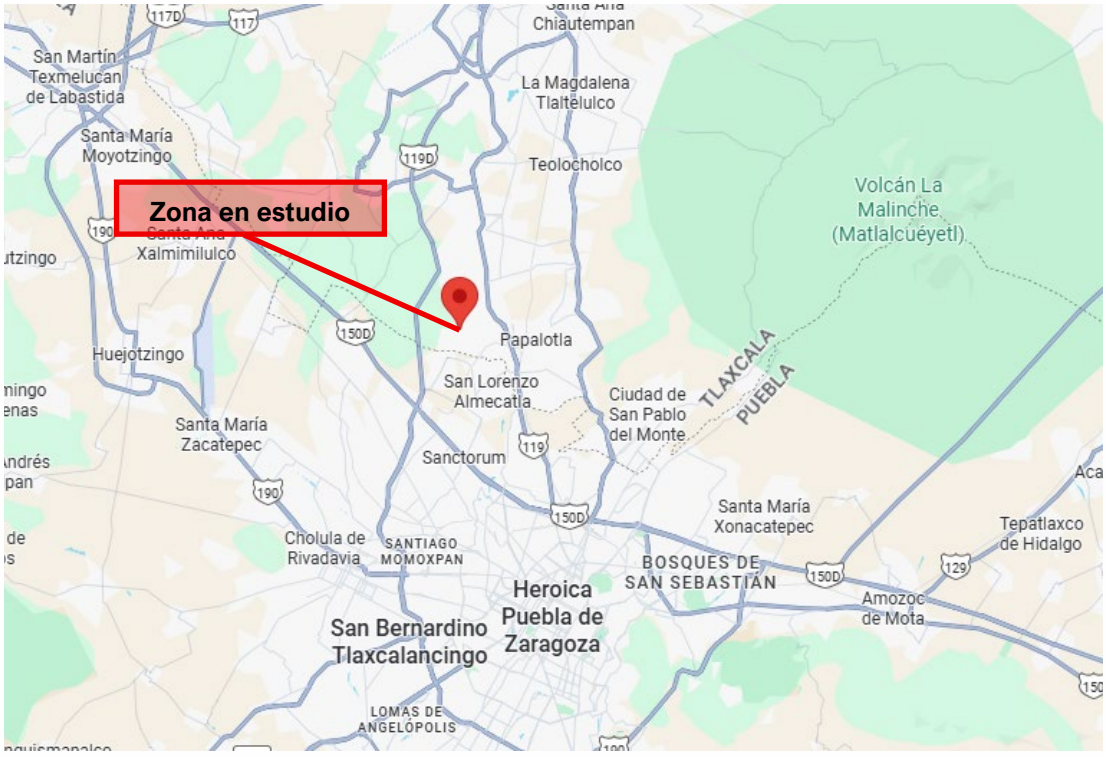


Figura No. 1 Ubicación general de la zona en estudio, imagen tomada de Google Maps.



Figura No. 2 Ubicación particular de la zona en estudio, imagen tomada de Google Maps.

2. CONDICIONES GEOTÉCNICAS DEL SITIO

2.1 Marco geológico regional

El Valle de Puebla se encuentra en la parte central de México, dentro del Eje Neovolcánico Transversal, una de las provincias fisiográficas más importantes del país. Su geología está influenciada por la actividad volcánica, sedimentación lacustre y procesos tectónicos que han modelado su relieve y composición del subsuelo a lo largo de millones de años.

El subsuelo del Valle de Puebla está compuesto principalmente por:

Depósitos volcánicos recientes: Cenizas, tobas y flujos piroclásticos derivados de erupciones volcánicas.

Materiales sedimentarios: Suelos derivados de la meteorización de rocas volcánicas y depósitos lacustres que se encuentran en algunas zonas.

Rocas ígneas extrusivas: Andesitas, basaltos y riolitas que forman el basamento del valle y que corresponden a eventos magmáticos del Cuaternario.

Depósitos aluviales y coluviales: Presentes en zonas bajas y cercanas a cuerpos de agua, constituidos por arenas, limos y gravas.

El **Período Cuaternario** en la región Mixteca, ubicada en los actuales estados de Oaxaca, Puebla y Guerrero, estuvo marcado por una intensa actividad geológica, climática y biológica que moldeó el paisaje y los ecosistemas actuales.

Características Geológicas y Climáticas

Durante el Cuaternario, que abarca desde [redacted] millones de años hasta el presente, la Mixteca experimentó cambios significativos debido a procesos de erosión, sedimentación y actividad volcánica asociada al Eje Neovolcánico Transversal y la Sierra Madre del Sur. El levantamiento de montañas, la erosión de suelos y la acumulación de depósitos aluviales y fluviales fueron determinantes en la configuración del relieve actual.

El clima fluctuó entre períodos glaciares e interglaciares, afectando la hidrología y los ecosistemas de la región. Los cambios climáticos promovieron la formación de suelos más fértiles en algunas áreas y la erosión intensa en otras, lo que dio origen a los paisajes abru[redacted]ticos de la Mixteca.

Impacto en la Geomorfología y el Suelo

Uno de los efectos más notables del Cuaternario en la Mixteca fue la erosión acelerada, resultado de la deforestación y cambios climáticos que expusieron suelos altamente susceptibles a la degradación.

Unidad 1. Depósitos eólicos de origen volcánico

La situación geográfica del Estado de Puebla evidencia la presencia de depósitos eólicos de origen volcánico, constituyendo incluso estos materiales la base sobre la que yacen las otras formaciones existentes en la región. Las tobas arenosas y gravosas y los suelos tobáceos son los últimos productos manifestados por la actividad volcánica regional. En las tobas existe generalmente un alto grado de cementación que les da la consistencia de una roca suave; en los suelos, esta consistencia es variable, dependiendo de su compacidad, cementación y grado de alteración.

En la ciudad predominan los suelos tobáceos como una capa basal, con afloramientos importantes en extensión y espesores; regionalmente, estos materiales son conocidos como “tepetates”. Se clasifican de acuerdo con el

SUCS, como limos o arcillas arenosas y arenas limosas o arcillosas, de colores café y café claro (amarillento), con contenido natural de agua de 15 a 40%. La fracción fina, limosa o arcillosa, es de baja plasticidad (LL<50%), con índice plástico (IP) variable entre 15 y 25% y porcentaje de partículas finas variable de 30 a 70%.

La consistencia de estos suelos varía de firme a dura con 15 a más de 50 golpes en la prueba de penetración estándar, su cohesión, medida como un medio de su resistencia a la compresión simple, es del orden de 6 a más de 15 t/m2.

La zonificación geotécnica elaborada por Azomoza et al. (1998) muestra depósitos eólicos de origen volcánico distribuidos prácticamente en toda la zona urbana, los cuales se identifican como Tobas y Lahares cuando se encuentran cementados. Al noreste de la ciudad estos depósitos eólicos se han encontrado en estado suelto conformados por espesores de hasta 20 m de materiales de baja resistencia al esfuerzo cortante y alta compresibilidad.

Uno de los rasgos sobresalientes de parte importante de la Ciudad, incluyendo el Centro Histórico, son los depósitos hidrotermales donde el Travertino aparece como cementante de un material granular con espesores variables e intercalado en algunos sitios con arcillas y arenas. Las arcillas expansivas que se ubican en la parte sur y poniente de la Ciudad son de un color gris oscuro y suele presentar agrietamientos; muestran una alta resistencia al esfuerzo cortante en estado seco.

En la parte noroeste y a lo largo de los ríos que atraviesan la Ciudad se encuentran estratos de hasta más de 10 m de depósitos aluviales; se encuentran constituidos de arenas finas uniformes en presencia de niveles friáticos superficiales. Las calizas en el oriente de la ciudad generalmente se encuentran fracturadas y cubiertas por una capa vegetal de poco espesor y ocasional mente por las mismas arcillas expansivas.

Tenemos la presencia de Basaltos y Andesitas sanas o con grados medios de alteración principalmente en los cerros ubicados dentro de la Ciudad como [redacted] de Guadalupe, San Juan, Amalucán y cerro Tepozúchitl. Por último, también se reportaron [redacted]basálticas en la zona del Cerro de la Paz representadas por arenas y gravas en estado suelto, pero con una resistencia alta si se encuentran confinadas. El mapa de zonificación geotécnica que ilustra lo descrito por (Azomoza, et al., 1998) se encuentra en la figura 3.

[redacted]

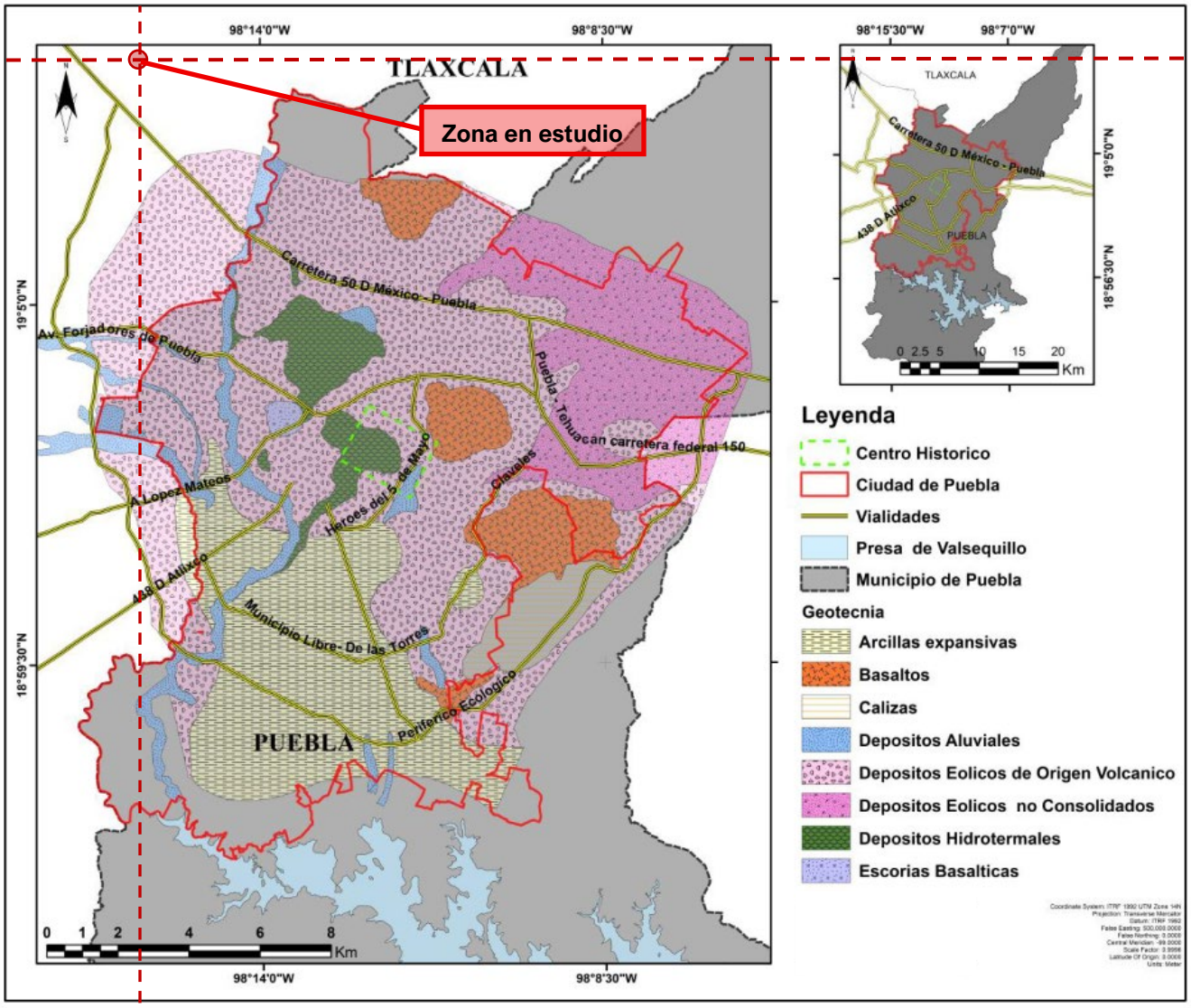


Figura No. 3 carta de zonificación geotécnica para e[redacted]bana del valle de puebla, azomoza, et al, 1998.

2.2 Sismicidad

La regionalización sísmica del territorio mexicano mostrado en el manual de obras Civiles de la comisión Federal de Electricidad 1993, se indican cuatro zonas y una clasificación en tres tipos de terreno, lo que representaba una forma funcional del espectro de cinco parámetros consignados en una tabla en que se atendía la zona sísmica y el tipo de terreno, sin embargo el espectro de diseño ofrecía una configuración robusta, por incluir para las diferentes zonas geosísmicas un amplio intervalo de sitios con respuestas dinámicas diversas.

En referencia al manual 1993, el sitio en estudio, es decir Heroica Puebla de Zaragoza, Puebla., se localiza en la zona B de acuerdo con la regionalización sísmica, catalogada como moderada sismicidad y con respecto a las columnas estratigráficas, el suelo pertenece al tipo II, que de acuerdo a la figura No.6 le pertenece un Cs=0.30, valor que deberá de multiplicarse por pertenecer a estructuras del grupo A.

TABLA DE ESPECTROS DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DEL GRUPO B

ZONA SISMICA	TIPO DE SUELO	a_o	c	T_a seg	T_b seg	r
B	I	0.04	0.14	0.2	0.6	1/2
	II	0.08	0.30	0.3	1.5	2/3
	III	0.10	0.36	0.6	2.9	1

ZONA SISMICA	INTENSIDAD
A	BAJA
B	MEDIA
C	ALTA
D	MUY ALTA



SIMBOLOGIA :

a_o Coeficiente de aceleración del terreno
c Coeficiente sísmico
Ta y Tb Periodos característicos que delimitan la meseta
r Exponente de la parte curva del espectro

NOTA :

Plano tomado del Manual de Diseño de Obras Civiles, (diseño por sismo), CFE 1993

Figura No. 4 Regionalización sísmica de la república mexicana, CFE 1993

Esto implica que se debe atender a esta localización estratigráfica, para efectos de la elección de los parámetros de diseño estructural, tales como el Coeficiente Sísmico, [redacted] para determinar las solicitaciones dinámicas a las que estará sujeta la estructura.

Debido a la zonificación estratigráfica comprobada con los trabajos de exploración realizados, se clasifica como suelo II (Ver Figura No.4) al cual le corresponde un Coeficiente Sísmico de Cs = 0.30.

Recientemente la Comisión Federal de Electricidad mediante el Manual de diseño sísmico, edición 2015, ha actualizado el programa PRODISIS (Programa para Diseño Sísmico), para la obtención del valor de la aceleración máxima del terreno en cualquier parte del país, generación de acelerogramas sintéticos y espectros de diseño con variaciones continuas dentro del territorio mexicano que se ajustan a la mayoría de las condiciones del terreno comunes en la práctica. Estos espectros son transparentes, es decir, carecen de reducciones ajenas al peligro sísmico.

Las siguientes ***figuras No. 5*** y ***No. 6*** presentan los parámetros sísmicos obtenidos a partir de la localización geográfica del sitio, le corresponde un Cs= (950.01/981) = 0.96 para estructuras del grupo B, no se toman en cuenta reducciones debidas a la sobreresistencia estructural, es importante mencionar que el espectro es de carácter transparente, sin embargo, dan una idea del valor del coeficiente sísmico, en caso de requerir el espectro

de respuesta de sitio, se deberán ejecutar pruebas geosísmicas para determinar las propiedades elastodinámicas del suelo para alimentar el espectro con dicho programa.

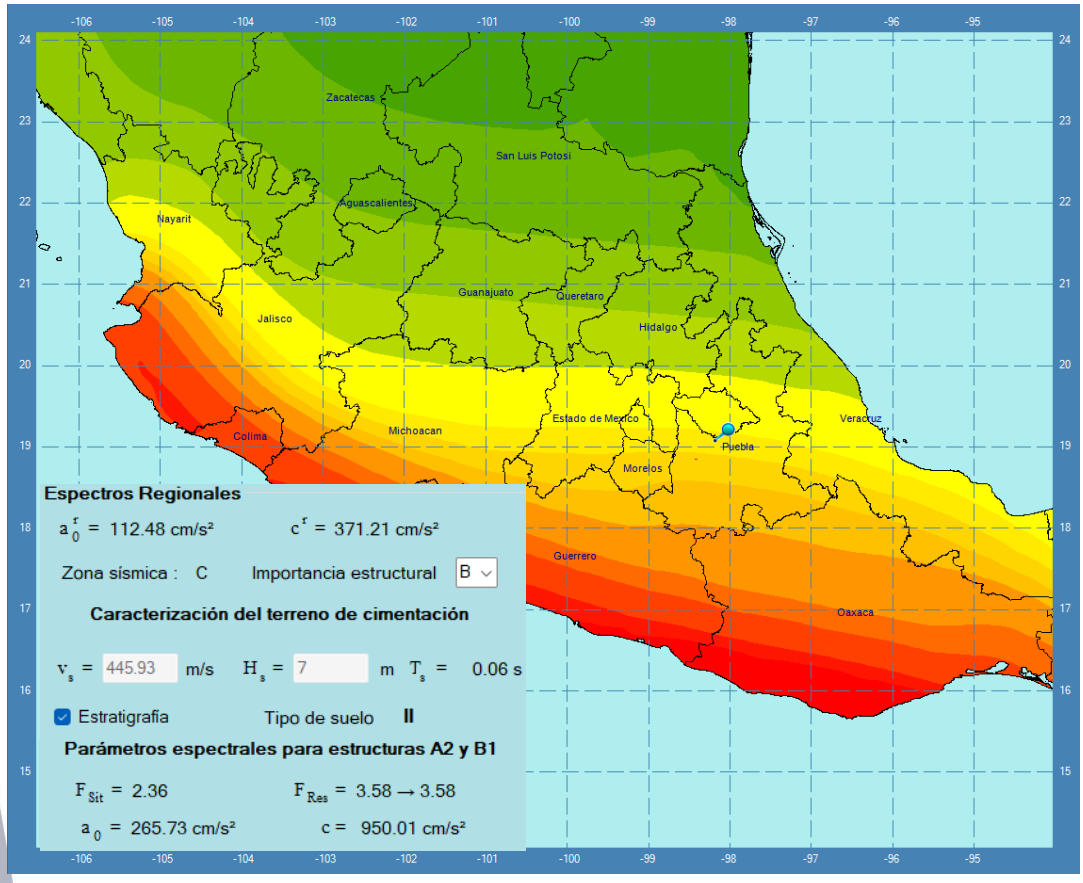


Figura No. 5 Regionalización sísmica y parámetros dinámicos del sitio, PRODISIS, CFE 2015.

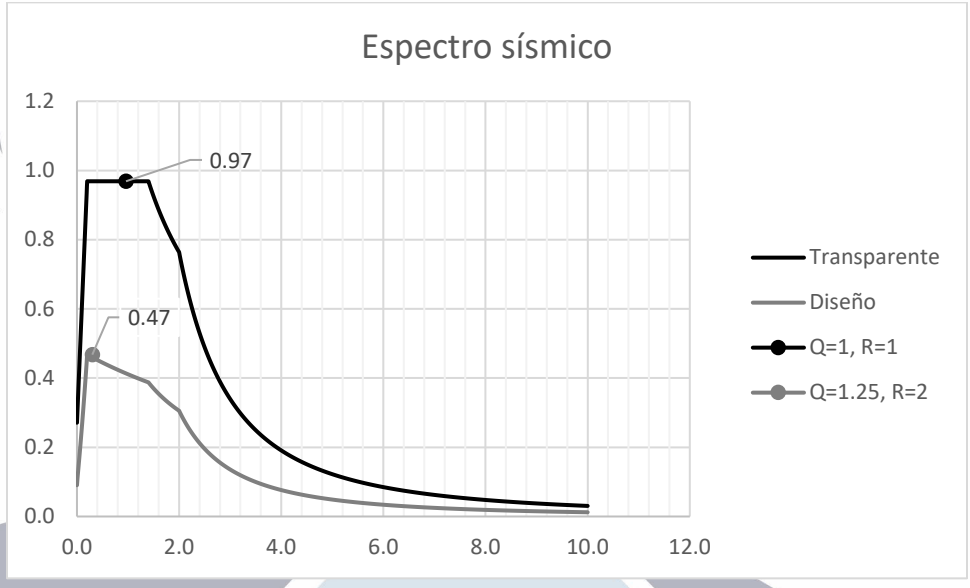


Figura No. 6 Espectro de respuesta sísmica para estructuras del grupo B, PRODISIS, CFE 2015.

De lo anterior se recomienda utilizar el coeficiente sísmico obtenido conforme al PRODISIS versión 2015, por ser una actualización técnica que incorpora los avances en el entendimiento del comportamiento sísmico, el replanteo de las zonificaciones sísmicas y los requerimientos de diseño más recientes. Una de las diferencias más relevantes entre ambas normativas es la reconfiguración de las zonas sísmicas, especialmente el crecimiento de la Zona C, lo cual tiene un impacto directo en los parámetros de diseño estructural. Aplicar valores correspondientes a la Zona C en una zona clasificada como Zona B según la normativa de 1993 generaría inconsistencias y subestimaciones del riesgo sísmico. Por lo tanto, utilizar el PRODISIS 2015 garantiza una mayor confiabilidad en la seguridad estructural, conforme a las condiciones actuales del terreno y la normatividad vigente. En este caso, el espectro de respuesta sísmica del manual PRODISIS 2015 presenta un coeficiente sísmico más alto que el establecido por el manual de obras civiles de la CFE en su versión de 1993, No obstante, la elección del coeficiente a emplear queda sujeta al criterio técnico del ingeniero estructurista responsable del proyecto.





3. TRABAJOS DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

Los trabajos de exploración geotécnica están comprendidos por medio de dos sondeos de penetración estándar (SPT) con una profundidad máxima de exploración de 15.40 m, medidos desde el nivel de terreno natural, en la **tabla No.1** se indican sus características como son nomenclatura, profundidad de exploración, ubicación por medio de coordenadas UTM y nivel de aguas freáticas, en la figura No. 7 se muestra de forma general la ubicación de los trabajos descritos anteriormente.

Sondeo	Profundidad	Ubicación en coordenadas		N.A.F.
(tipo)	M	X	Y	M
SPT-1	15.00	578,792.83	2,119,899.91	3.00
SPT-2	15.40	578,821.24	2,119,922.49	3.00

Tabla No. 1 Trabajos de exploración geotécnica

Sondeo de penetración estándar (SPT). La técnica de penetración estándar consiste en hincar a percusión un tubo muestreador de dimensiones estandarizadas (penetrómetro estándar o tubo partido), mediante el impacto provocado por una masa o martinete de 63.5 kg, que se deja caer libremente desde una altura de 76.2 cm., contabilizando el número de golpes necesarios para hincar 60 cm el tubo muestreador en el suelo. Los 60 cm. que se hinca el tubo muestreador, son marcados en 4 segmentos de 15 cm. cada uno, conociéndose como resistencia a la penetración estándar al número de golpes registrado en los 2 segmentos centrales (30 cm.); con esta técnica de exploración, se obtienen muestras alteradas representativas del suelo, de acuerdo a la norma ASTM-D1586. Se realizó de forma mecánica a profundidad promedio de 15.00 m. mediante un equipo Longyear 34, Chuck hidráulico, bomba de lodos Moyno 3L8 integrada, barras de perforación, muestreadores, martinete, así como herramienta diversa propia para las distintas operaciones de trabajo.

"barril NQ" se refiere a un tipo específico de [redacted] en la industria geotécnica y minera. El sistema de denominación NQ se utiliza para describir el diámetro del barril y el tamaño de la broca de diamante que se inserta en él. En este sistema, "NQ" generalmente se refiere a un barril con un diámetro exterior de 76.1 mm (3 pulgadas) y un diámetro interior lo suficientemente grande como para acomodar una broca de diamante con un diámetro de alrededor de 47.6 mm (1.88 pulgadas). Estos barriles son comunes en la perforación de exploración geotécnica y en la toma de muestras en proyectos de investigación y minería. En la figura No. 11 se muestra el perfil de la columna estratigráfica del sondeo mixto.

[redacted]

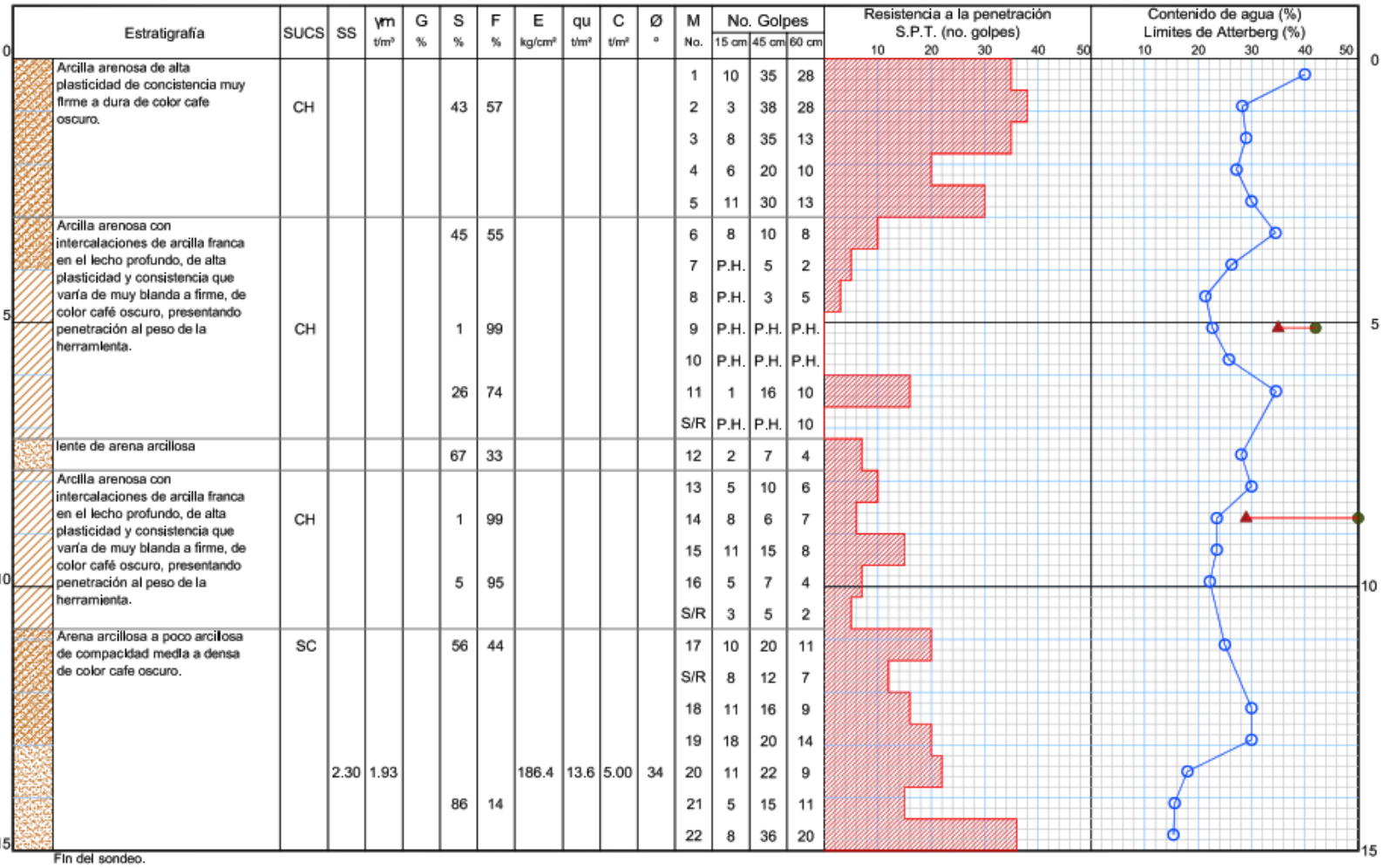


Figura No. 7 Ubicación de los trabajos de exploración geotécnica

En las figuras No. 8 y No. 9 se muestran los perfiles estratigráficos y en el Anexo I, se muestra un reporte fotográfico del proceso de los trabajos ejecutados.

SONDEO DE PENETRACION ESTANDAR SPT-1

Estratigrafía	SUCS	SS	γm t/m³	G %	S %	F %	E kg/cm²	qu t/m²	C t/m²	Ø °	M No.	No. Golpes 15 cm	45 cm	60 cm
Arcilla arenosa de alta plasticidad de concistencia muy firme a dura de color cafe oscuro.	CH				43	57					1	10	35	28
											2	3	38	28
											3	8	35	13
											4	6	20	10
											5	11	30	13
Arcilla arenosa con intercalaciones de arcilla franca en el lecho profundo, de alta plasticidad y consistencia que varía de muy blanda a firme, de color café oscuro, presentando penetración al peso de la herramienta.	CH				45	55					6	8	10	8
											7	P.H.	5	2
											8	P.H.	3	5
					1	99					9	P.H.	P.H.	P.H.
											10	P.H.	P.H.	P.H.
					26	74					11	1	16	10
											S/R	P.H.	P.H.	10
lente de arena arcillosa					67	33					12	2	7	4
Arcilla arenosa con intercalaciones de arcilla franca en el lecho profundo, de alta plasticidad y consistencia que varía de muy blanda a firme, de color café oscuro, presentando penetración al peso de la herramienta.	CH				1	99					13	5	10	6
											14	8	6	7
											15	11	15	8
					5	95					16	5	7	4
											S/R	3	5	2
Arena arcillosa a poco arcillosa de compacidad media a densa de color cafe oscuro.	SC				56	44					17	10	20	11
											S/R	8	12	7
											18	11	16	9
											19	18	20	14
		2.30	1.93				186.4	13.6	5.00	34	20	11	22	9
					86	14					21	5	15	11
											22	8	36	20



Fin del sondeo.

SIMBOLOGIA

Grava	PH = Peso de herramienta	γm = Peso volumétrico
Arena	NR = No se registro muestra	G = Gravas S = Arenas F = Finos
Limo	SH = Muestreo con tubo Shelby	E = Módulo Elástico
Arcilla	BD = Muestreo con Barril Denison	C = Cohesión
Materia orgánica	NQ = Muestreo con Barril giratorio	Ø = Angulo de fricción
Relleno	M = Muestra	▲ = Límite Plástico
Roca	ABT = Avance con broca tricónica	● = Límite Líquido
	N.A.F. = Nivel de aguas freáticas	○ = Contenido de agua
	Ss = Densidad de sólidos	

SPT - 1
Fig No. 8

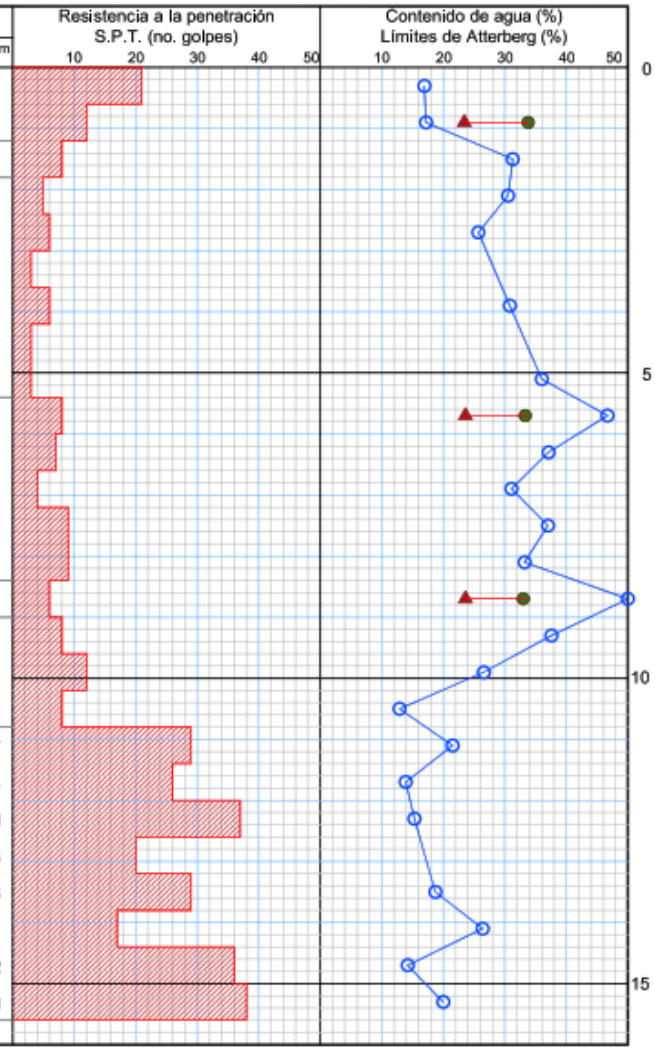
Coordenadas:
X= 578,792.83
Y= 2,119,899.91

Obra:
Puente vehicular "La Torrecilla" del municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala.

Ubicación:
CAMINO A DOLORES ENTRE RIO ZAHUAPAN Y BARRANCA DE SANCHEZ, XICOHTZINCO, TLAXCALA.

SONDEO DE PENETRACION ESTANDAR SPT-2

Estratigrafía	SUCS	SS	γm t/m³	G %	S %	F %	E kg/cm²	qu t/m²	C t/m²	Ø °	M No.	No. Golpes 15 cm	45 cm	60 cm
material de relleno, posible base de color grisaceo .	SC										1	5	21	8
											2	8	12	9
lente de arcilla de baja plasticidad .					24	76					3	3	8	5
Arena arcillosa de compacidad muy suelta a suelta de color cafe oscuro.											4	4	5	8
					55	45					5	9	6	3
											S/R	1	3	3
											6	4	6	3
											S/R	1	3	3
											7	3	3	5
Arena arcillosa de compacidad suelta de color cafe oscuro.	SC				70	30					8	4	8	3
											9	4	7	2
											10	5	4	3
											11	3	9	4
											12	5	9	4
lente de arcilla de baja plasticidad .	CL				25	75					13	3	6	4
Arena arcillosa de compacidad suelta de color cafe oscuro.											14	5	8	4
	SC				67	33					15	2	12	6
					94	6					16	4	8	6
Arena arcillosa de compacidad media a densa de color cafe oscuro.											17	14	29	17
											18	11	27	14
											19	20	38	21
											S/R	15	21	13
											20	20	30	16
	SC				59	41					21	9	18	11
		2.30	1.98				474.8	24.8	5.50	41	22	15	37	22
											23	19	39	21
Fin del sondeo.														



SIMBOLOGIA			
Grava	PH = Peso de herramienta	γm = Peso volumétrico	
Arena	NR = No se registro muestra	G = Gravas	S = Arenas F = Finos
Limo	SH = Muestreo con tubo Shelby	E = Módulo Elástico	
Arcilla	BD = Muestreo con Barril Denison	C = Cohesión	
Materia orgánica	NQ = Muestreo con Barril giratorio	Ø = Angulo de fricción	
Relleno	M = Muestra	▲ = Límite Plástico	
Roca	ABT = Avance con broca tricónica	● = Límite Líquido	
	N.A.F. = Nivel de aguas freáticas	○ = Contenido de agua	
	Ss = Densidad de sólidos		

SPT - 2	Coordenadas:
Fig No. 9	X= 578,821.24
	Y= 2,119,922.49

Obra:
Puente vehicular "La Torrecilla" del municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala.

Ubicación:
CAMINO A DOLORES ENTRE RIO ZAHUAPAN Y BARRANCA DE SANCHEZ, XICOHTZINCO, TLAXCALA.

4. ENSAYES DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Las muestras de suelo recuperadas fueron remitidas al laboratorio de mecánica de suelos, donde se sometieron a un programa de ensayes de laboratorio a efecto de determinar sus características. Este programa dio inicio con la determinación del contenido de agua natural, con la clasificación y descripción visual y al tacto, siguiendo las normas del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), tomando en cuenta tamaño y forma de las partículas; así como, la plasticidad de la fracción fina.

Estos ensayes fueron realizados sobre todas las muestras recibidas; para luego, con base en los resultados obtenidos y de acuerdo al criterio del ingeniero a cargo del estudio de mecánica de suelos, seleccionar muestras sobre las cuales proseguir con los ensayes siguientes:

- Pruebas tipo índice:
  - ✓ Clasificación visual y manual, en estado húmedo y seco, de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).
  - ✓ Contenido natural de agua.
  - ✓ Contenido de partículas finas.
  - ✓ Límite de Atterberg.

- Pruebas tipo mecánicas
  - ✓ Compresión simple.
  - ✓ Compresión triaxial no consolidada no drenada (Tipo UU).
  - ✓ Peso volumétrico.

Los procedimientos empleados en la ejecución del programa de ensayes arriba descritos se apegaron en todo momento a lo que especifica la American Society for Testing and Materials (ASTM) en su volumen concerniente a materiales térreos (ASTM, 2020)

Los valores índices aquí definidos han sido graficados dentro de los perfiles estratigráficos indicados anteriormente, permitiendo con ellos identificas y delimitar cada una de las unidades geotécnicas presentes en el subsuelo del sitio. Toda esta última información se encuentra resumida dentro de las pruebas de laboratorio en el Anexo II.

5. CONDICIONES ESTRATIGRÁFICAS

De acuerdo con la exploración realizada en el sitio, con base en los registros de los sondeos SPT-1 y SPT-2, así como en los resultados de las pruebas de laboratorio, se observaron diferencias significativas en la granulometría entre ambos puntos. En el Sondeo 1 predominan materiales arcillosos, mientras que en el Sondeo 2 se identifican materiales arenosos en mayor proporción. A continuación, se describe la estratigrafía encontrada en cada punto de exploración:

En el Sondeo 1, el Estrato I (0.00–3.00 m) se clasifica como CH, correspondiente a una arcilla arenosa de alta plasticidad. Sus propiedades índices muestran un contenido natural de agua entre 27 % y 40 %, con una granulometría compuesta por 43 % de arenas y 57 % de finos. La consistencia muy firme a dura, junto con sus altos límites de consistencia, confirma la presencia de un material cohesivo altamente compresible, susceptible a deformaciones significativas bajo carga.

El Estrato II (3.00–10.80 m) del mismo sondeo también se clasifica como CH, arcilla arenosa de alta plasticidad, pues la fracción fina continúa siendo dominante, aun con intercalaciones de material limoso. El contenido natural de agua varía entre 21 % y 36 %, mientras que la granulometría registra porcentajes de arena entre 1 % y 45 % y finos entre 55 % y 99 %. Se observó la presencia de un lente arenoso que indica heterogeneidad local, aunque no modifica la clasificación predominante de arcilla de alta plasticidad.

El Estrato III (10.80 m – profundidad máxima explorada) presenta un cambio hacia un material granular clasificado como SC, correspondiente a una arena arcillosa de compacidad media a densa. Registra contenidos naturales de agua entre 11 % y 30 %, con una granulometría dominada por 56 % a 86 % de arenas y 14 % a 44 % de finos, lo que indica un suelo con baja proporción de arcillas y un comportamiento predominantemente friccional. En este estrato se realizaron ensayes triaxiales y de [redacted] cuyos resultados se muestran en la Tabla No. 3.

En el Sondeo 2, sobre el material natural se identificó un relleno superficial posiblemente base hidráulica con espesor aproximado de 0.00–1.20 m. A partir de 1.20 m inicia el Estrato I (1.20–10.80 m), clasificado como SC, es decir, una arena arcillosa. Presenta contenidos naturales de agua entre 13 % y 50 %, con una granulometría compuesta por 55 % a 94 % de arenas y 6 % a 45 % de finos. La variabilidad granulométrica concuerda con depósitos aluviales recientes característicos de zonas de transición.

El Estrato II (10.80 m – profundidad [redacted] clasifica como SC, arena arcillosa manteniendo la predominancia arenosa del perfil. Registra [redacted] naturales de agua entre 14 % y 26 %, con una granulometría conformada por 59 % de arenas y 41 % de finos. Su compacidad media a densa sugiere un material más competente y con mayor resistencia al corte; en este estrato también se efectuaron ensayes cuyos resultados se presentan en la Tabla No. 4.

Los perfiles obtenidos muestran una transición típica de la zona. En el Sondeo 1, los estratos superficiales y medios (0.00–10.80 m) están dominados por arcillas de alta plasticidad (CH) con contenidos de humedad moderados a elevados, lo que indica potencial de compresibilidad y asentamientos apreciables en los primeros 3.00 m y hasta 10.80 m de profundidad si las cargas se transmiten a estas unidades. Por debajo de 10.80 m se localizan arenas relativamente competentes (SC) de compacidad media a densa que constituyen niveles más favorables para el apoyo de cimentaciones.

En el Sondeo 2, a partir de 1.20 m y hasta 10.80 m predominan materiales clasificados como SC, con comportamiento friccionante; por debajo de 10.80 m emergen arenas SC de buena compacidad. Esto sugiere que el desplante de cimentaciones debe considerar alcanzar los estratos arenosos competentes por debajo de 10.80

m o diseñar soluciones que mitiguen asentamientos cuando la cimentación repose en las unidades cohesivas superiores.

La heterogeneidad lateral entre ambos sondeos y la presencia de rellenos superficiales implican la necesidad de controlar asentamientos diferenciales en el diseño del puente, verificar la profundidad de desplante frente a las exigencias estructurales y, de ser necesario, proponer soluciones alternativas (cimentación profunda, mejora de suelos o apoyos distribuidos) para garantizar el desempeño y la seguridad de la estructura.

5.1 Condiciones hidrostáticas

El nivel de aguas freáticas se detectó en el sondeo 1 y 2 a una profundidad promedio de 3.00 por lo cual se consideró esta condición en los resultados del diseño geotécnico (noviembre, 2025).

5.2 Correlación de número de golpes

Debido a la dificultad de la recuperación de muestras inalteradas a profundidades considerables, se recurrió a determinar los valores mecánicos como la cohesión y ángulo de fricción interna, por medio de su resistencia a la penetración estándar (SPT), el número de golpes N, dichas propiedades se determinaron bajo las siguientes correlaciones empíricas, tal y como se describen en las siguientes ecuaciones:

$$qu = \frac{N_{60}}{8} \text{ (kg/m²)}$$

$$Cu = \frac{qu}{2} \text{ (kg/cm²)}$$

[redacted]

$N1_{60}$	ϕ_f
<4	25–30
4	27–32
10	30–35
30	35–40
50	38–43

Tabla No. 2 Correlación [redacted]gulo fricción interna.

Ajuste del ángulo de fricción para diseño.

$$\varphi * = \tan^{-1}(0.67 tan\varphi)$$

Ajuste de la cohesión para diseño.

$$C^* = 0.65\ C$$

Para suelos friccionantes.

$$E = 11.4 N_{60} \text{ (kg/cm²)}$$

Donde:

Cu	Cohesión aparente del material, kg/cm².
N60	Número de golpes corregido, en prueba de penetración estándar.
Ø	Ángulo de fricción interna.

Para determinar el número de golpes corregido (N60) conforme a la resistencia obtenidos en campo, se debe tener en consideración que corresponde expresar un valor del número de golpes resistentes (N) proporcional a una relación de energía promedio del 60%, debido a las condiciones observadas en campo, de esta manera se tiende a estandarizar el número de penetración estándar como una función de la energía de entrada de hincado y su disipación alrededor del muestreador hacia el suelo circundante, expresado por medio de la siguiente ecuación:

$$N_{60} = \frac{N\eta_H\eta_B\eta_S\eta_R}{60}$$

Donde:

N60	Número de penetración estándar, corregido por las condiciones en campo.
N	Número de golpes de penetración medido.
ηH	Eficiencia del martinete (%).
ηB	Corrección por diámetro de la perforación.
ηs	Corrección del muestreador.
ηR	Corrección por longitud de la barra.

Las variantes anteriores, son recomendaciones de Seed y Colaboradores (1985) y Skempton (1986), Adicional al ajuste de los números de golpes obtenidos por la energía promedio y condiciones de campo, las pruebas de penetración estándar fueron corregidas, en las profundidades del estrato donde no fue posible recuperar muestra inalterada.

En base a las fórmulas anteriores, en la Tabla [redacted] siguiente estratigrafía de diseño, donde se muestra el estrato, la resistencia de golpes corregidos y [redacted] iedades mecánicas.

Estrato	Material	De (m)	Hasta (m)	Cu' (ton/m²)	ϕ* °	γ (ton/m³)	E (kg/cm²)
I	**CH**	0.00	3.00	9.8	24	1.60	273.60
II	**CH**	3.00	7.20	1.2	14	1.30	34.20
II	**CH**	7.20	10.80	2.4	16	1.40	68.40
III	**SC**	10.80	15.00	6.1	28	1.80	186

* Valores obtenidos por medio de correlación a través del número de golpes S [redacted] el tipo de material y su consistencia y/o compacidad.
Dónde: Cu =cohesión del suelo, Ø =ángulo de fricción interna, E=módulo de elasticidad secante al 50% de la deformación en curva esfuerzo- deformación, N =número de golpes promedio del estrato de la prueba SPT y v es la relación de Poisson, estos valores se respaldas con pruebas reproducidas del escaso material recuperado del sondeo obteniendo valores similares

Tabla No. 3 Estratigrafía de diseño SM-1

Estrato	Material	De (m)	Hasta (m)	Cu' (ton/m²)	ϕ* °	γ (ton/m³)	E (kg/cm²)
Relleno	-	0.00	1.20	0.8	20	1.80	145.35
I	SC	1.20	5.40	0.2	14	1.80	42.75
I	SC	5.40	10.80	0.4	16	1.80	68.40
II	SC	10.80	15.60	1.4	30	1.90	256.50

* Valores obtenidos por medio de correlación a través del número de golpes SPT corregido, el tipo de material y su consistencia y/o compacidad.
Dónde: Cu =cohesión del suelo, Ø =ángulo de fricción interna, E=módulo de elasticidad secante al 50% de la deformación en curva esfuerzo- deformación, N =número de golpes promedio del estrato de la prueba SPT y v es la relación de Poisson, estos valores se respaldas con pruebas reproducidas del escaso material recuperado del sondeo obteniendo valores similares

Tabla No. 4 Estratigrafía de diseño SM-2

6. DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN

6.1 Descripción de la solución a la cimentación

De acuerdo con el objetivo de proyecto y las posibles condiciones estructurales, se adoptará un análisis de base de pilotes de fricción desplantadas en la arena arcillosa con una profundidad de 13 m, se contempla el análisis para ambos apoyos, uno para el sondeo 1 y otro para el sondeo 2.

La capacidad de carga admisible en compresión de estos elementos, Qadm (Resistencia ultima de la cimentación para el caso del diseño estructural), se obtiene como la suma del trabajo desarrollado por punta y fricción positiva; en tanto que la capacidad efectiva sobre la cabeza de los elementos de cimentación se obtiene restando a esta capacidad admisible el peso propio del elemento, el cual está basado conforme a las norma técnicas complementarias de diseño y construcción para la ciudad de México, versión 2023, similares a las aplicables en los manuales de la SCT y AASHTO.

La resistencia de la cimentación se determinará de acuerdo con las capacidades que tienen en conjunto conforme la resistencia por punta y fuste, considerado por grupo de pilas o de forma individual, ya sea el caso, cumpliendo en todo momento con la siguiente desigualdad ante las distintas acciones verticales.

$$\sum QF_c < R$$

$$R = C_f + C_p$$

Donde:

ΣQFC Resultado de la suma de las acciones verticales a tomar en cuenta en la combinación considerada, afectad[redacted]ctor de carga. Las acciones incluirán el peso propio de la subestructura y [redacted]otes o pilas;

R Capacidad de carga reducida (es decir afectada por el factor de resistencia correspondiente), cuyo valor será: para la revisión de cada pilote o pila individual, igual a la capacidad de carga de punta más la capacidad de adherencia del elemento considerado.

6.2 Capacidad de carga por fuste

La capacidad de carga por fricción lateral, Cf, para suelos [redacted] se calculará como:

$$C_f = P_p F_R \sum_{i=1}^{m} \bar{p}_{vi} \beta_i L_i$$

Donde:

FR Factor resistencia el cual se tomará igual a 0.65
m Número de estratos friccionantes a lo largo del fuste del pilote o pila
βi Coeficiente de fricción elemento-suelo en el estrato i, que se estimará como:

$$\beta_i = 1.5 - 0.24\sqrt{z_i}; \quad 0.25 \leq \beta \leq 1.2$$

Donde:

zi Profundidad media del estrato i.

Deberá considerarse que el valor límite de la resistencia unitaria en el fuste (p β,) no podrá ser superior a 200 kPa.

La capacidad de carga por adherencia lateral, Cf, para suelos cohesivos se calculará como:

$$C_f = P_p F_R \sum_{i=1}^{m} \alpha_i c_{ui} L_i$$

Donde:

Pp	Perímetro del pilote o pila o de la envolvente del grupo o subgrupo de pilotes o pilas
FR	Factor resistencia el cual se tomará igual a 0.6 si las pilas se cuelan en la F.A.I., de 0.55 si se cuelan en la F.A.S.
M	Número de estratos cohesivos a lo largo del fuste del pilote o pila
α_i	Coeficiente de adherencia lateral elemento–suelo del estrato i
Cui	Cohesión media aparente determinada en ensaye triaxial no–consolidado no–drenado (UU) del estrato i.
Li	Longitud del pilote o pila correspondiente al estrato i

El coeficiente αi se calcula como:

$$\alpha_i = 0.5 \sqrt{\frac{\sigma_{vi}}{C_{ui}}}$$

Donde:

σ_{vi}	Presión vertical efectiva debida al peso del suelo a la profundidad media del estrato
Cui	Cohesión media aparente determinada en ensaye triaxial no–consolidado no–drenado (UU) del estrato i. [redacted]

En el anexo III se muestran las capacidades de carga por fuste para los distintos diámetros de pila

6.3 Capacidad de carga por punta

La capacidad de carga de un pilote o pila, Cp, apoyado en un estrato friccionante, se calculará de preferencia a partir de los resultados de pruebas de campo calibradas mediante pruebas de carga realizadas sobre las propias pilas (Método D). En las situaciones en l[redacted]esultados de pruebas de laboratorio realizadas sobre muestras de buena calidad y que exista [redacted] de que la capa de apoyo sea homogénea, la capacidad de carga podrá estimarse como sigue:

$$C_p = \left(\bar{p}_{vi} N_q F_R + p_v\right) A_P$$

Donde:

Pv	Presión vertical efectiva debida al peso del suelo a la profundidad media del estrato i.
Nq	Es el coeficiente de capacidad de carga definido por:

$$N_Q = N_{min} + L_e \left(\frac{N_{max} - N_{min}}{4B \tan\left(45 + \frac{\emptyset}{2}\right)} \right)$$

Le	Es la longitud del pilote o pila empotrada en el estrato friccionante;
B	Es el ancho o diámetro equivalente de los pilotes;
φ	Es el ángulo de fricción interna,

FR Se tomará igual a 0.35.

En la **Tablas No. 5 y 6** se muestran la resistencia "R" por pila (Qadm), que es la sumatoria de la capacidad de carga por punta más la friccionante (Cp + Cf), así mismo se muestra la resistencia a la tensión (RT), por zona analizada.

Pila	*Diametro*	*Nq**	*Nc**	*Pv*	*Ap*	*Cp*	*Cp*	*Cf*	*Cf*	*R*	*R*	*RT*	*RT*
Tipo	*m*	*-*	*m*	*ton/m²*	*m²*	*ton/pila*	*kN/pila*	*ton/pila*	*kN/pila*	*ton/pila*	*kN/pila*	*ton/pila*	*kN/pila*
P-1	0.80	32.09	13	11.46	0.50	74.39	730	35.1	345	110	1074	66	652
P-2	1.00	29.34	13	11.46	0.79	107.54	1055	39.0	383	147	1438	88	863
P-3	1.20	27.50	13	11.46	1.13	146.52	1437	40.9	401	187	1839	111	1094
P-4	1.50	25.66	13	11.46	1.77	215.89	2118	40.1	394	256	2512	150	1475

Tabla No. 5 zona SPT-1, Capacidad de carga admisible por punta, con L=13.00m.

Pila	*Diametro*	*Nq**	*Nc**	*Pv*	*Ap*	*Cp*	*Cp*	*Cf*	*Cf*	*R*	*R*	*RT*	*RT*
Tipo	*m*	*-*	*m*	*ton/m²*	*m²*	*ton/pila*	*kN/pila*	*ton/pila*	*kN/pila*	*ton/pila*	*kN/pila*	*ton/pila*	*kN/pila*
P-1	0.80	33.91	13	13.26	0.50	90.41	887	70.8	694	161	1581	102	1002
P-2	1.00	31.13	13	13.26	0.79	131.13	1286	83.6	820	215	2106	133	1301
P-3	1.20	29.27	13	13.26	1.13	179.09	1757	94.4	926	273	2683	165	1618
P-4	1.50	27.42	13	13.26	1.77	264.63	2596	107.0	1049	372	3645	217	2131

Tabla No. 6 zona SPT-2, Capacidad de carga admisible por punta, con L=13.00m.

6.4 Asentamientos esperados en pilas [redacted]

Los asentamientos que se producirán bajo las condiciones de carga dinámica (considerada como la carga crítica de diseño) en los elementos de cimentación profunda trabajando por punta-fricción, se evaluaron como la suma del acortamiento elástico del elemento constituido por concreto reforzado y el asentamiento originado en el suelo de apoyo. A continuación, se presentan las expresiones empleadas para tales estimaciones:

$$\delta = \delta_c + \delta_s$$

[redacted]

$$\delta_s = \frac{(3-4\mu)(1+\mu)Q_p}{2\pi E_s B}$$

Donde:

δ	Asentamiento total, variable en función del diámetro y longitud del cimiento.
δc	Acortamiento del elemento de cimentación por deformación axial del material (concreto) sometido a la carga de compresión aplicada en su cabeza, cm.
δs	Asentamiento en el suelo de apoyo, cm.
$qRED$	Capacidad de carga neta, ton. $qRED = Qp + Qf - W$
Lf	Longitud del cimiento (pila), cm.
Ap	Área transversal del cimiento, cm.
Ec	Módulo de elasticidad del concreto 14000 $\sqrt{f'c}$, kg/cm².
μ	Módulo de Poisson, adimensional.

Es Módulo de elasticidad del suelo de apoyo, kg/cm².
B Diámetro del cimiento.

Conforme a la expresión anterior en **Tabla No. 7 y 8** se muestra los desplazamientos verticales esperados, estos asentamientos son de tipo elástico y se desarrollarán durante el proceso constructivo, los cuales son del orden de 1.92 centímetros como máximo, mismos que se encuentran dentro de lo permisible conforme a los reglamentos aplicados.

Pila	*Diametro*	*Long.*	*Ap*	*qred*	*Lf*	*Ec*	*δc*	*μ*	*Qp*	*Es*	*δs*	*δtotal*	*δtotal*
Tipo	*m*	*m*	*cm²*	*ton*	*cm*	*kg/cm²*	*cm*	*-*	*ton*	*kg/cm²*	*cm*	*cm*	*mm*
P-1	0.80	13.00	5026.548	73.01	1300	242487.1	0.0001	0.3	49.59	186	1.24	1.24	12.41
P-2	1.00	13.00	7853.982	97.70	1300	242487.1	0.0001	0.3	71.69	186	1.44	1.44	14.36
P-3	1.20	13.00	11309.734	124.96	1300	242488.1	0.0001	0.3	97.68	186	1.63	1.63	16.30
P-4	1.50	13.00	17671.459	170.68	1300	242489.1	0.0001	0.3	143.93	186	1.92	1.92	19.21

Tabla No. 7 zona SPT-1 Asentamientos esperados para Pilas desplantados a Df=13.00m

Pila	*Diametro*	*Long.*	*Ap*	*qred*	*Lf*	*Ec*	*δc*	*μ*	*Qp*	*Es*	*δs*	*δtotal*	*δtotal*
Tipo	*m*	*m*	*cm²*	*ton*	*cm*	*kg/cm²*	*cm*	*-*	*ton*	*kg/cm²*	*cm*	*cm*	*mm*
P-1	0.80	13.00	5026.548	107.46	1300	242487.1	0.0001	0.3	60.28	256.5	1.09	1.09	10.94
P-2	1.00	13.00	7853.982	143.13	1300	242487.1	0.0001	0.3	87.42	256.5	1.27	1.27	12.69
P-3	1.20	13.00	11309.734	182.33	1300	242488.1	0.0001	0.3	119.40	256.5	1.44	1.44	14.45
P-4	1.50	13.00	17671.459	247.73	1300	242489.1	0.0001	0.3	176.42	256.5	1.71	1.71	17.08

Tabla No. 8 zona SPT-2 Asentamientos esperados para Pilas desplantados a Df=13.00m

6.5 Cálculo del módulo de reacción vertical y horizontal

Adicionalmente se calculó el módulo de reacción vertical, que puede utilizarse para el diseño estructural de pilas, atendiendo a las características del material en el desplante propuesto para la cimentación. En el Anexo III se encuentran las memorias correspondientes de cada solución de cimentación.

El módulo de reacción vertical (ks) es en concepto la relac[redacted]a presión del suelo y la deflexión. Este módulo se utilizará para el cálculo de los resortes verticales en la cimentación. Su ecuación básica es la siguiente:

$$k_s = \frac{Es}{B(1-\mu^2)}$$

Donde:

B Diámetro de la pila, en cm.
Es Módulo de deformación del suelo, kg/cm².
M Módulo de Poisson, adimensional.
Ks Módulo de reacción vertical, en kg/cm³.

En la **Tabla No. 9 y 10** se muestra el módulo de reacción vertical representativo de la pila como elemento unitario.

Pila Tipo	Diametro m	1-μ² -	Es kg/cm²	k kg/cm³
P-1	0.8	0.91	186	2.55
P-2	1	0.91	186	2.04
P-3	1.2	0.91	186	1.70
P-4	1.5	0.91	186	1.36

Tabla No. 9 zona SPT-1 Módulos de reacción vertical para pilas.

Pila Tipo	Diametro m	1-μ² -	Es kg/cm²	k kg/cm³
P-1	0.8	0.91	256.5	3.52
P-2	1	0.91	256.5	2.82
P-3	1.2	0.91	256.5	2.35
P-4	1.5	0.91	256.5	1.88

Tabla No. 10 zona SPT-2 Módulos de reacción vertical para pilas.

6.6 Módulo de reacción del suelo horizontal.

Para la estructuración de la cimentación propuesta, interesa conocer el valor del módulo de reacción del suelo horizontal “kh”, siendo este dato de los más conocidos para el diseño de pilas de cimentación.

Por lo tanto, para una pila de ancho “B” o para cilindros de diámetro D = B podemos tomar la fórmula sugerida por Bowles, para suelos estratificados.

Esto debido a que las pilas de cimentación se encontrarán confinadas en toda su longitud por los diferentes estratos detectados, donde el módulo elástico “E” del suelo aumenta con la presión efectiva de confinamiento, por lo tanto, el valor de “kh” se obtuvo para cada espesor del estrato correspondiente al confinamiento de la pila, con la utilización de la siguiente ecuación:

$$k_h = \frac{(n_h)z}{D}$$

Donde:

Kh Módulo de reacción vertical a la profundidad z, en t/m³.
Nh Constante relacionada con la compacidad del suelo, en t/m³
Z Profundidad analizada, en m.
D Diámetro de la pila, en m.

En la **Tabla No. 11 y 12** se muestran los valores del módulo de reacción horizontal por estrato y tipo de pila recomendada.

Módulo de reacción horizontal, t/cm³							
φ	Cu	Profundidad	Diámetro, en m				Unidad
°	t/m²	m	0.6	0.8	1	1.2	-
24.2	9.8	1.0	0.1231	0.0985	0.0821	0.0657	t/m³
24.2	9.8	2.0	0.1231	0.0985	0.0821	0.0657	t/m³
24.2	9.8	3.0	0.1231	0.0985	0.0821	0.0657	t/m³
24.2	1.2	4.0	0.0151	0.0121	0.0101	0.0080	t/m³
24.2	1.2	5.0	0.0151	0.0121	0.0101	0.0080	t/m³
24.2	1.2	6.0	0.0151	0.0121	0.0101	0.0080	t/m³
13.5	1.2	7.0	0.0151	0.0121	0.0101	0.0080	t/m³
13.5	2.4	8.0	0.0302	0.0241	0.0201	0.0161	t/m³
13.5	2.4	9.0	0.0302	0.0241	0.0201	0.0161	t/m³
13.5	2.4	10.0	0.0302	0.0241	0.0201	0.0161	t/m³
15.8	2.4	11.0	0.0302	0.0241	0.0201	0.0161	t/m³
15.8	6.1	12.0	6750.0	21600.0	18000.0	14400.0	t/m³
15.8	6.1	13.0	7312.5	23400.0	19500.0	15600.0	t/m³
15.8	6.1	14.0	7875.0	25200.0	21000.0	16800.0	t/m³
15.8	6.1	15.0	8437.5	27000.0	22500.0	18000.0	t/m³
15.8	6.1	16.0	9000.0	28800.0	24000.0	19200.0	t/m³

Tabla No. 11 zona SPT-1 Módulo de reacción horizontal conforme al diámetro de la pila.

Módulo de reacción horizontal, t/cm³							
φ	Cu	Profundidad	Diámetro, en m				Unidad
°	t/m²	m	0.6	0.8	1	1.2	-
19.6	9.8	1.0	562.5	1800.0	1500.0	1200.0	t/m³
19.6	9.8	2.0	1125.0	3600.0	3000.0	2400.0	t/m³
19.6	9.8	3.0	1687.5	5400.0	4500.0	3600.0	t/m³
19.6	1.2	4.0	2250.0	7200.0	6000.0	4800.0	t/m³
19.6	1.2	5.0	2812.5	9000.0	7500.0	6000.0	t/m³
19.6	1.2	6.0	3375.0	10800.0	9000.0	7200.0	t/m³
14.2	1.2	7.0	3937.5	12600.0	10500.0	8400.0	t/m³
14.2	2.4	8.0	4500.0	14400.0	12000.0	9600.0	t/m³
14.2	2.4	9.0	5062.5	16200.0	13500.0	10800.0	t/m³
14.2	2.4	10.0	5625.0	18000.0	15000.0	12000.0	t/m³
15.8	2.4	11.0	6187.5	19800.0	16500.0	13200.0	t/m³
15.8	6.1	12.0	9750.0	7800.0	6500.0	5200.0	t/m³
15.8	6.1	13.0	10562.5	8450.0	7041.7	5200.0	t/m³
15.8	6.1	14.0	11375.0	9100.0	7583.3	5200.0	t/m³
15.8	6.1	15.0	12187.5	9750.0	8125.0	5200.0	t/m³
15.8	6.1	16.0	13000.0	10400.0	8666.7	5200.0	t/m³

Tabla No. 12 zona SPT-2 Módulo de reacción horizontal conforme al diámetro de la pila.

7. PROCESOS CONSTRUCTIVOS

Previo Proceso constructivo recomendado para pilas (profundidad de desplante = 13 m)

Con base en las condiciones estratigráficas obtenidas en ambos sondeos, se concluye que las pilas deberán desplantarse a una profundidad aproximada de 13 m, dentro del estrato SC (arena arcillosa de compacidad media a densa), el cual presenta la mejor competencia mecánica para recibir las cargas del puente.

Antes de alcanzar dicho estrato, en ambos sondeos se atraviesan materiales de compacidad muy suelta a suelta, particularmente entre la superficie y la profundidad de 10.80 m, lo cual hace indispensable el uso de ademe metálico recuperable para mantener la estabilidad de las paredes durante la perforación y asegurar la geometría del elemento.

A continuación, se presenta el proceso constructivo corregido y mejorado:

1. Registro y control de cada pila

Para cada pila se llevará un registro completo que incluya:

a) Control topográfico. Deberá establecerse referencia de ejes y niveles antes y después de la construcción para comparar niveles proyectados y ejecutados.
b) Equipo de perforación. Se empleará equipo apropiado para garantizar la verticalidad, evitar la alteración del suelo circundante y mantener las dimensiones de proyecto.
c) Herramientas adecuadas. Se deberán considerar cucharones o botes de corte eficientes para suelos con gravas y materiales compactos, así como herramientas de limpieza.
d) Ademe metálico recuperable.
Debido a la presencia de materiales sueltos entre 0 y 10.80 m, se colocará ademe metálico recuperable en toda esta zona para evitar colapsos durante la exc[redacted]dad de la perforación y permitir el colado adecuado del elemento.
e) Características de perforación. La perforación deberá ejecutarse de forma uniforme en toda su profundidad, garantizando el empotramiento final en el estrato SC competente a 13 m.

2. Limpieza del fondo

El material suelto acumulado en el fondo del barreno deberá retirarse completamente mediante herramientas adecuadas para asegurar un apoyo firme [redacted]

3. Colocación del acero de refuerzo

Una vez terminada la perforación, se colocará de inmediato la canasta de refuerzo previamente habilitada, equipada con separadores para cumplir con el recubrimiento mínimo indicado en planos.

4. Colado continuo del concreto

El colado deberá realizarse en un lapso no mayor a 18 horas después de la perforación y de forma totalmente continua, para evitar juntas frías o segregación del concreto dentro de la pila.

5. Rigidización del armado

El armado deberá rigidizarse para evitar deformaciones durante su descenso. Para garantizar la liga estructural, el refuerzo deberá sobresalir al menos 0.50 m por encima del nivel de desplante de la pila.

6. Colado con tubo Tremie

Las pilas se colarán mediante el procedimiento Tremie bajo las siguientes condiciones:

- El tubo se iniciará 20 cm por arriba del nivel de desplante.
- Se utilizará un tapón deslizante (“diablo”) para evitar contaminación del concreto.
- Durante el colado, el tubo deberá permanecer embebido al menos 1.0 m en el concreto fresco.
- El revenimiento mínimo será de 18 cm.
- El colado deberá rebasar al menos 0.50 m el nivel inferior de la losa de desplante.

7. Verificación de calidad

Durante el colado de las primeras pilas se realizarán pruebas indirectas (ensayos sónicos o integridad de pilas) para verificar la homogeneidad y geometría del elemento. Esto permitirá ajustar el procedimiento constructivo en caso necesario.

8. Preparación del cabezal y retiro de concreto contaminado

Una vez concluido el colado:

- Se retirará, mediante martillo eléctrico o neumático, el concreto contaminado de la parte superior de la pila.
- Los últimos 20 cm serán retirados manualmente con maceta y cincel para evitar fracturas en el concreto sano.

9. Registro de colado

El contratista deberá registrar para cada pila:

- Identificación
- Fecha de perforación
- Equipo utilizado
- Profundidad final
- Fecha de colado
- Volumen teórico vs. volumen colado
- Resultados de control del lodo bentonítico (si se utiliza)
- Perfil estratigráfico aproximado con base en el material extraído

10. Supervisión especializada

Se recomienda contar con la supervisión de un especialista en geotecnia durante todas las etapas constructivas para verificar la correcta ejecución del procedimiento.

Pruebas de carga en pilas

La capacidad de carga última de las pilas se establece a partir de la resistencia estructural del propio elemento y de la capacidad de carga del suelo. La resistencia estructural se determina mediante criterios normativos, mientras que la interacción pila–suelo se evalúa mediante métodos geotécnicos de análisis estático.

Dada la incertidumbre inherente tanto en los parámetros geotécnicos obtenidos como en los modelos de análisis, la realización de pruebas de carga permite validar el comportamiento real de las pilas y ajustar, cuando proceda, los criterios de diseño.

Las pruebas de carga tienen como objetivos principales:

a) Determinar la capacidad de carga vertical.
b) Verificar la integridad estructural.
c) Evaluar la capacidad lateral.
d) Validar el procedimiento constructivo propuesto.

El empleo de pruebas de carga —estáticas o dinámicas— permite optimizar el diseño, reducir incertidumbres y generar ahorros significativos en proyectos con múltiples elementos de cimentación. No obstante, debe señalarse que ninguna de estas pruebas permite establecer con precisión la magnitud final ni la velocidad de los asentamientos en la estructura.

En caso de requerir relleno en las zonas perforación se recomienda utilizar material de banco con control y calidad, deberán construirse en capas de 20 cm de espesor y compactando al 95% de su P.V.S.M. Proctor estándar y cumpliendo con la calidad que se muestra en la tabla No. 13

Característica	**Valor**
Límite líquido (%) máximo	50
Valor de soporte de California (CBR)[1] (%) mínimo	5
Expansión (%) máxima	5
Grado de compactación [2] (%)	95 ± 2

[1] En especímenes compactados dinámicamente al porcentaje de compactación indicado en esta tabla, con un contenido de agua igual al del material en el banco a 1.5 de profundidad

[2] Respecto a la masa volumétrica seca máxima obtenida mediante la prueba AASHTO Estándar, del material compactado con el contenido de agua óptimo de la prueba. Cuando el material sea no compactable, se colocarán en capas del espesor mínimo que permita el tamaño máximo del material y se bandeara, previa aplicación de un riego de agua a razón de 150 l/m³, dan[redacted] superficie en cada capa.

Tabla No. 13 Calidad de material para terraplén

Se recomienda que durante la fase de construcción de cimentaciones se cuente con la supervisión de un ingeniero especialista en geotecnia, quien pueda resolver de manera adecuada cualquier imprevisto surgido durante la fase de construcción; asimismo deberá observar que se cumplan las recomendaciones contenidas en este informe.

8. CONCLUSIONES

A solicitud de ROCA SOULT, empresa responsable del desarrollo del proyecto ejecutivo denominado “Puente vehicular "La Torrecilla" del municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala.”, ubicado en el municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala, sobre el camino a Dolores, entre el río Zahuapan y la barranca de Sánchez, se llevará a cabo la construcción de un puente de paso vehicular y peatonal, El Puente “La Torrecilla” se localiza sobre el camino a Dolores, en el municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala, aproximadamente en las coordenadas 19.170947 N, –98.250576 W. En el sitio se observa una estructura existente que permite el cruce vehicular sobre el río Zahuapan.

Actualmente no se cuenta con anteproyecto ejecutivo; sin embargo, tomando como referencia proyectos similares desarrollados en la región, se estima que la estructura podrá resolverse mediante el empleo de trabes pretensadas de concreto, apoyadas en caballetes y estribos de concreto reforzado, conformando una solución estructural eficiente y de mantenimiento reducido.

En referencia al manual 1993, el sitio en estudio, es decir Heroica Puebla de Zaragoza, Puebla., se localiza en la zona B de acuerdo con la regionalización sísmica, catalogada como moderada sismicidad y con respecto a las columnas estratigráficas, el suelo pertenece al tipo II, que de acuerdo a la figura No.6 le pertenece un Cs=0.30. valor que deberá de multiplicarse por pertenecer a estructuras del grupo A.

Los trabajos de exploración geotécnica están comprendidos por medio de dos sondeos de penetración estándar (SPT) con una profundidad máxima de exploración de 15.40 m, medidos desde el nivel de terreno natural.

Los perfiles obtenidos muestran una transición típica de la zona. En el Sondeo 1, los estratos superficiales y medios (0.00–10.80 m) están dominados por arcillas de alta plasticidad (CH) con contenidos de humedad moderados a elevados, lo que indica potencial de compresibilidad y asentamientos apreciables en los primeros 3.00 m y hasta 10.80 m de profundidad si las cargas se transmiten a estas unidades. Por debajo de 10.80 m se localizan arenas relativamente competentes (SC) de compac[redacted]stituyen niveles más favorables para el apoyo de cimentaciones.

En el Sondeo 2, a partir de 1.20 m y hasta 10.80 m predominan materiales clasificados como SC, con comportamiento friccionante; por debajo de 10.80 m emergen arenas SC de buena compacidad. Esto sugiere que el desplante de cimentaciones debe considerar alcanzar los estratos arenosos competentes por debajo de 10.80 m o diseñar soluciones que mitiguen asentamientos cuando la cimentación repose en las unidades cohesivas superiores.

[redacted]

La heterogeneidad lateral entre ambos sondeos y la presencia de rellenos superficiales implican la necesidad de controlar asentamientos diferenciales en el diseño del puente, verificar la profundidad de desplante frente a las exigencias estructurales y, de ser necesario, proponer soluciones alternativas (cimentación profunda, mejora de suelos o apoyos distribuidos) para garantizar el desempeño y la seguridad de la estructura.

De acuerdo con el objetivo de proyecto y las posibles condiciones estructurales, se adoptará un análisis de base de pilotes de fricción desplantadas en la arena arcillosa con una profundidad de 13 m, se contempla el análisis para ambos apoyos, uno para el sondeo 1 y otro para el sondeo 2.

El nivel de aguas freáticas no se hizo presente durante los trabajos de exploración (mayo, 2025).

Por las magnitudes que implica un puente de uso vehicular y en base a la experiencia en proyectos similares, se sugiere el uso de pilotes de fricción cimentados a 13 m de profundidad como base para el diseño estructural.

Se analizaron 4 tipos de pilotes para las dos zonas con diámetros que van desde los 0.80 m a los 1.50 m, obteniendo cargas por punta para la zona del SPT-1 de 110 t/pila a 256 t/pila y para la zona del SPT-2 de 161

t/pila a 372 t/pila , la resistencia a la tensión va desde las 66 Ton a 150 Ton siendo este para la zona del SPT-1 y para zona del SPT-2 la resistencia a la tensión va desde las 102 Ton a 217 Ton , con estas resistencias factorizadas se estimaron los asentamientos elásticos siendo para la mayor descarga un asentamiento de 1.92 cm, el cual se encuentra dentro de los asentamientos máximos permisibles.

Los resultados aquí presentados son aplicables exclusivamente al sitio estudiado, considerándose las condiciones locales de los materiales y las condiciones particulares proporcionadas del proyecto. Cualquier cambio en las consideraciones modifica las recomendaciones emitidas en este informe, se deberán de notificar a la oficina para realizar el análisis correspondiente, Se recomienda contar con un ingeniero especialista en geotecnia para la supervisión de los trabajos constructivos de la cimentación y poder solventar los problemas que se presenten y dirigir la construcción lo más apegado a lo indicado en el presente informe.

Sin más por el momento quedamos a la orden.

Puebla, noviembre de 2025.

A T E N T A M E N T E.

_____

ING. [redacted]
CED. PROF. [redacted]
DISEÑO.

_____

ING. [redacted].
CED. PROF. [redacted]
REVISO Y APROBÓ

9. REFERENCIAS

ASTM Materiales Terreos [Informe]. - [s.l.] : ASTM, 2020.

Bowles Joseph E. Foundation Analysis and Desing Figth Editon [Libro]. - [s.l.] : Hill International Editions, 1997.

C.F.E. Manual de Diseño de Obras Civiles [Informe]. - México : CFE, 2017.

C.F.E. Manual de Diseño de Obras Civiles (Diseño por Sismo) [Libro]. - México : [s.n.], 1993.

C.F.E. Manual de Diseño de Obras Civiles (Diseño por Sismo) [Libro]. - México : [s.n.], 2015.

Das Braja M. Fundamentos de Ingeniería de cimentaciones, séptima edición [Libro]. - Mexico, D.F. : [s.n.], 2012.

DGCOH Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica [Informe]. - D.F. : DGCOH, 1992-2002.

NTCDCC Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones [Informe]. - Ciudad de México : Reglamento de Construcciones, 2017.

NTCDCC Normas Ténicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones [Informe]. - Ciudad de México : [s.n.], 2023.

NTCDS Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo [Informe]. - Ciudad de México : Reglamento de Construcciones, 2014.

NTCDS Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo [Informe]. - Ciudad de México : Reglamento de Construcciones, 2017.

PEMEX Exploración y muestreo de suelos para proyecto de cimentaciones [Libro]. - [s.l.] : Especificación Técnica para proyectos de Obra, 2000.

Reglamento de Construccion para la Ciudad de México Reglamento de Construcciones para la Ciudad de México [Informe]. - Ciudad de México : Gob, 2017.

Rodríguez Jorge Abraham Díaz Los suelos lacustres de la Ciudad de México [Informe]. - México : Facultad de Ingenería, Universidad Nacional Autónoma de México, 2005.

SGIRPC Atlas de Riesgos [En línea]. - 2022. - https://www.atlas.cdmx.gob.mx/analisisn2/.

Vallejo Luis I. González de Ingeniería Geológica [Libro]. - Pearson Educación, S.A., 2004.

Villalaz Carlos Crespo Mecánica de Suelos y Cimentaciones [Libro]. - Monterrey : Limusa, 1976.

Zeevaert Leonardo Foundation Engineering fot Difficult Subsoil [Libro]. - Canada : Van Nostroand Reinhold, 1973.

ANEXO I. REPORTE FOTOGRÁFICO

[redacted]

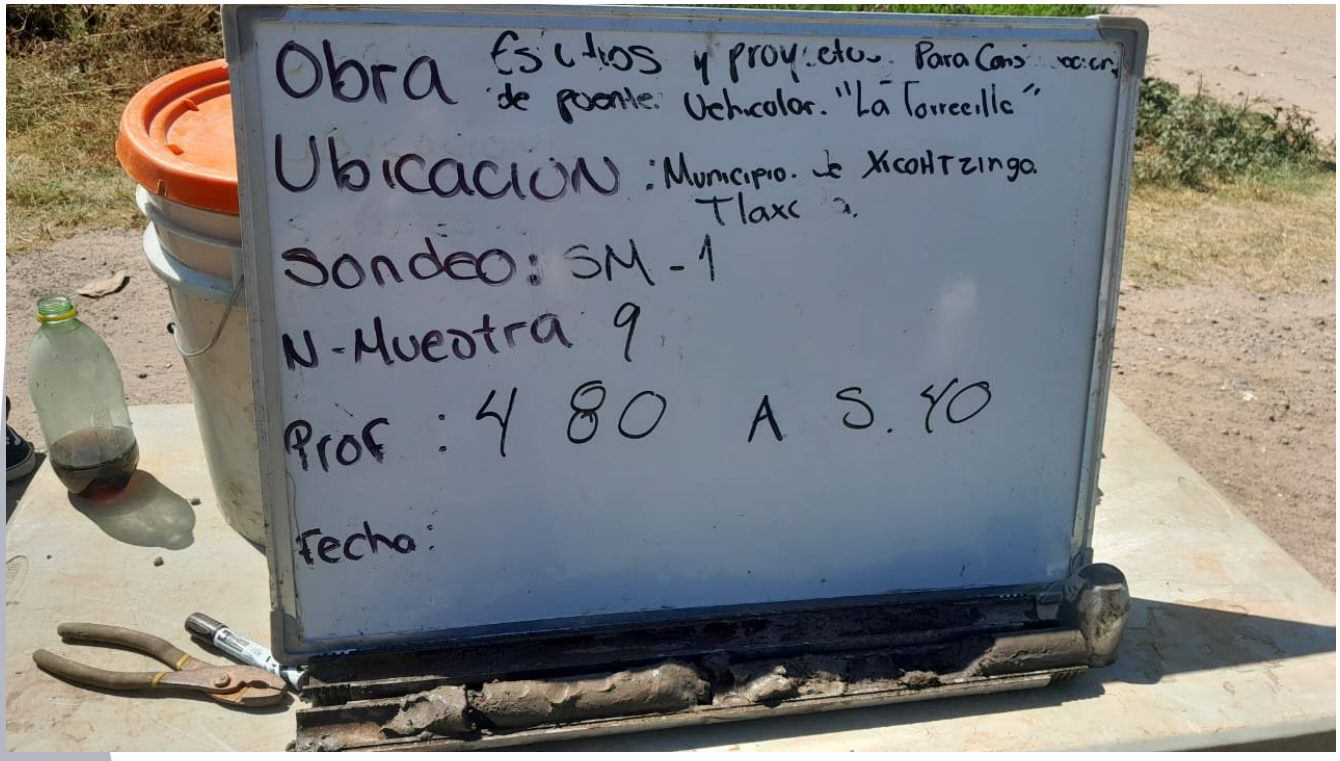
[redacted]



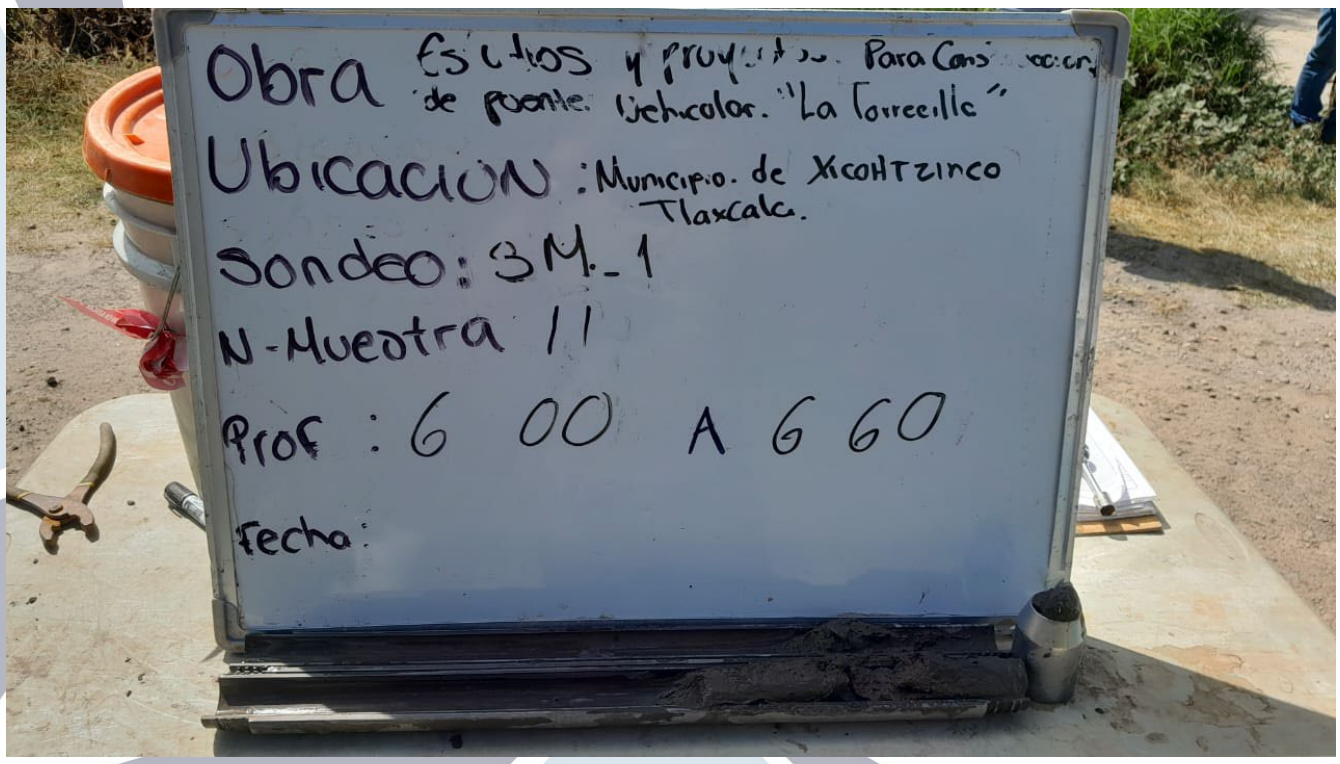
Fotografía No. 1 ubicació[redacted] del sondeo 1



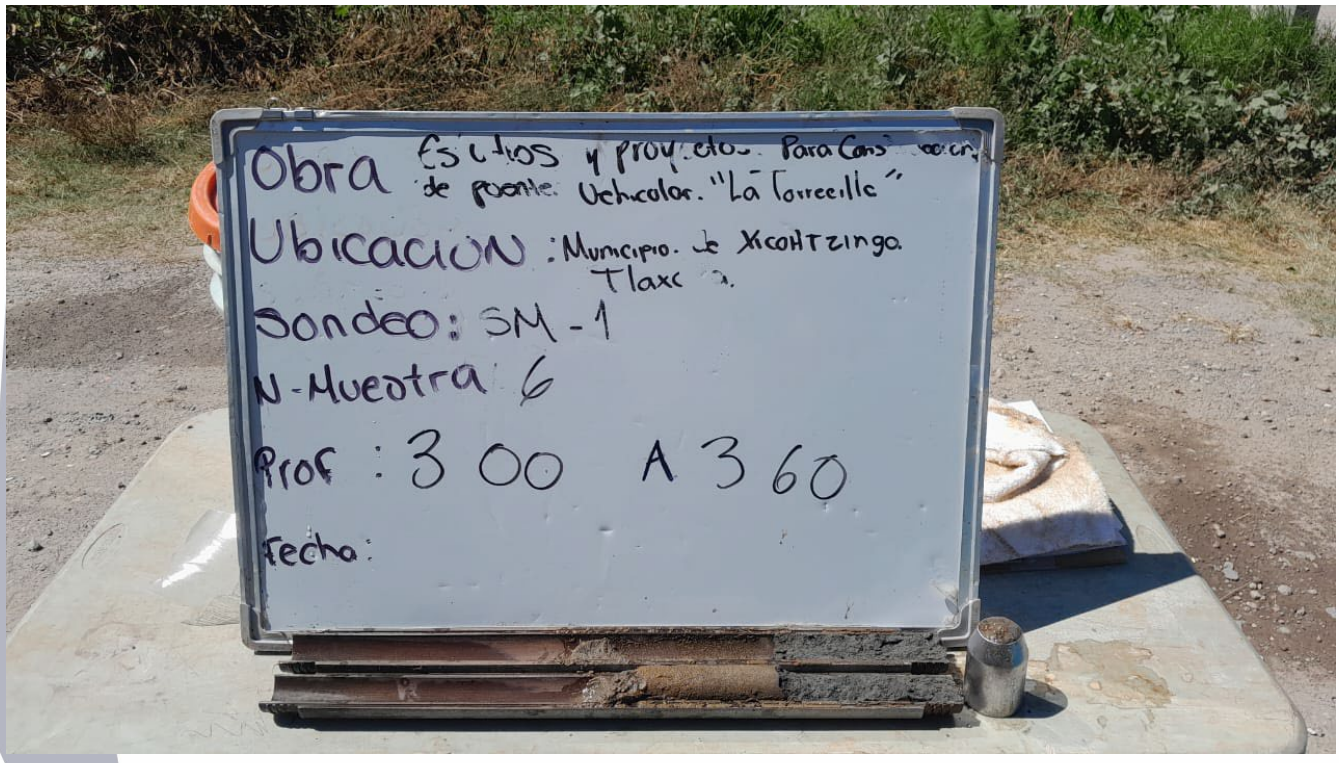
Fotografía No. 2 inicio de los trabajos de exploración del sondeo 1



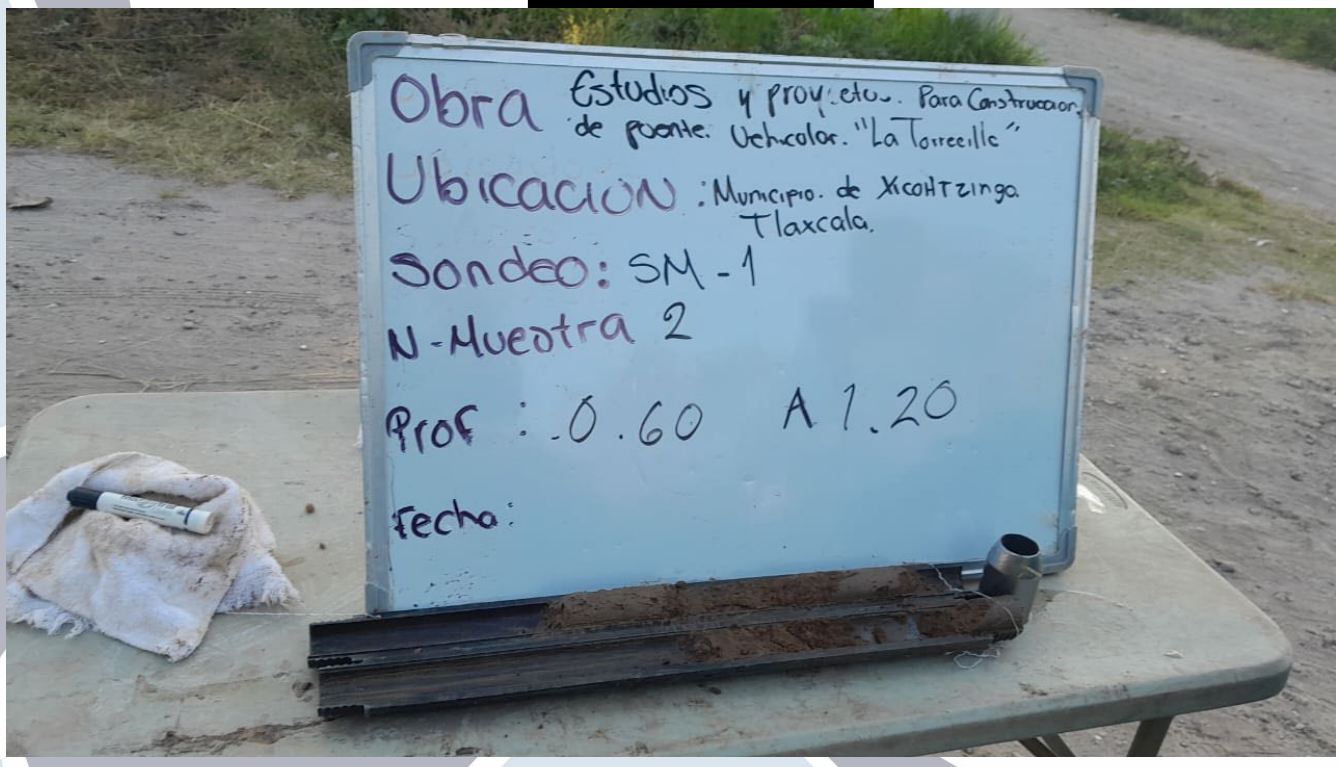
Fotografía No. 3 recuperación de muestra del sondeo 1 mediante el uso del tubo partido



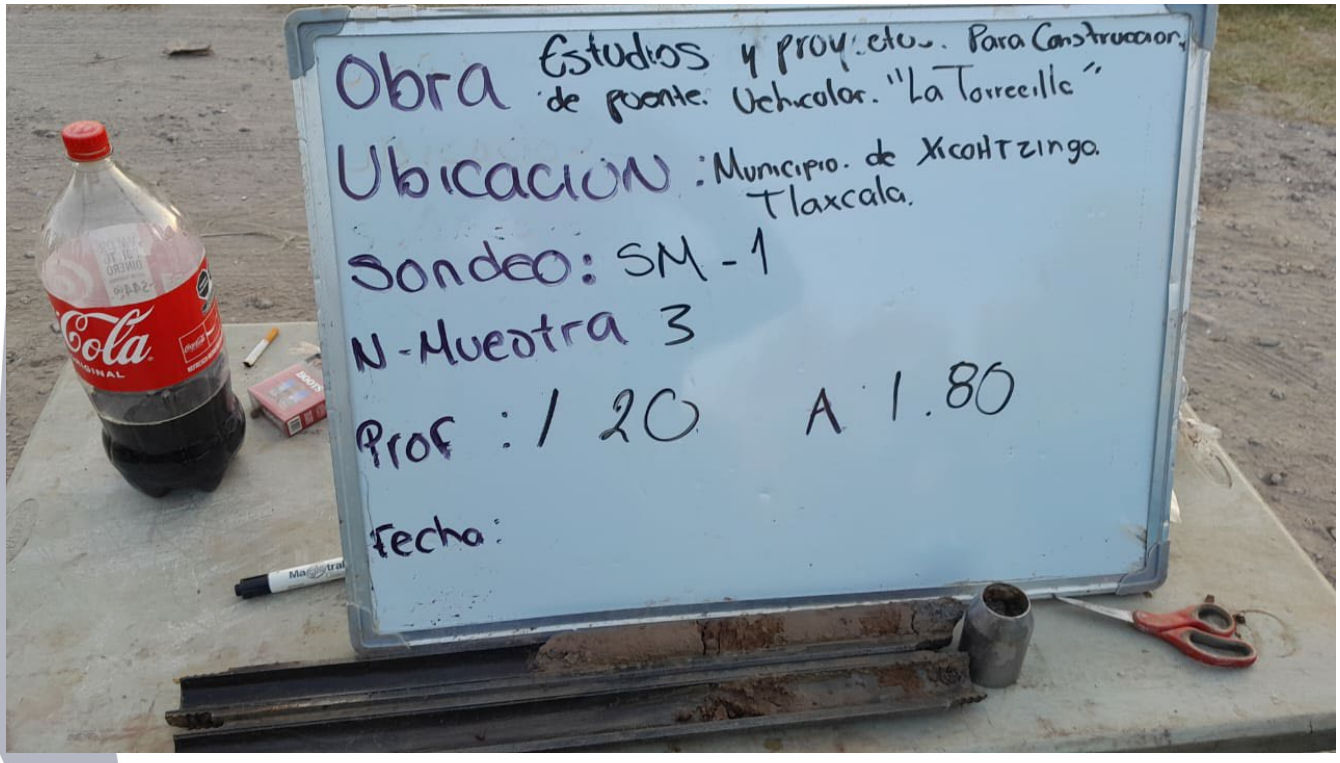
Fotografía No. 4 recuperación de muestra del sondeo 1 mediante el uso del tubo partido



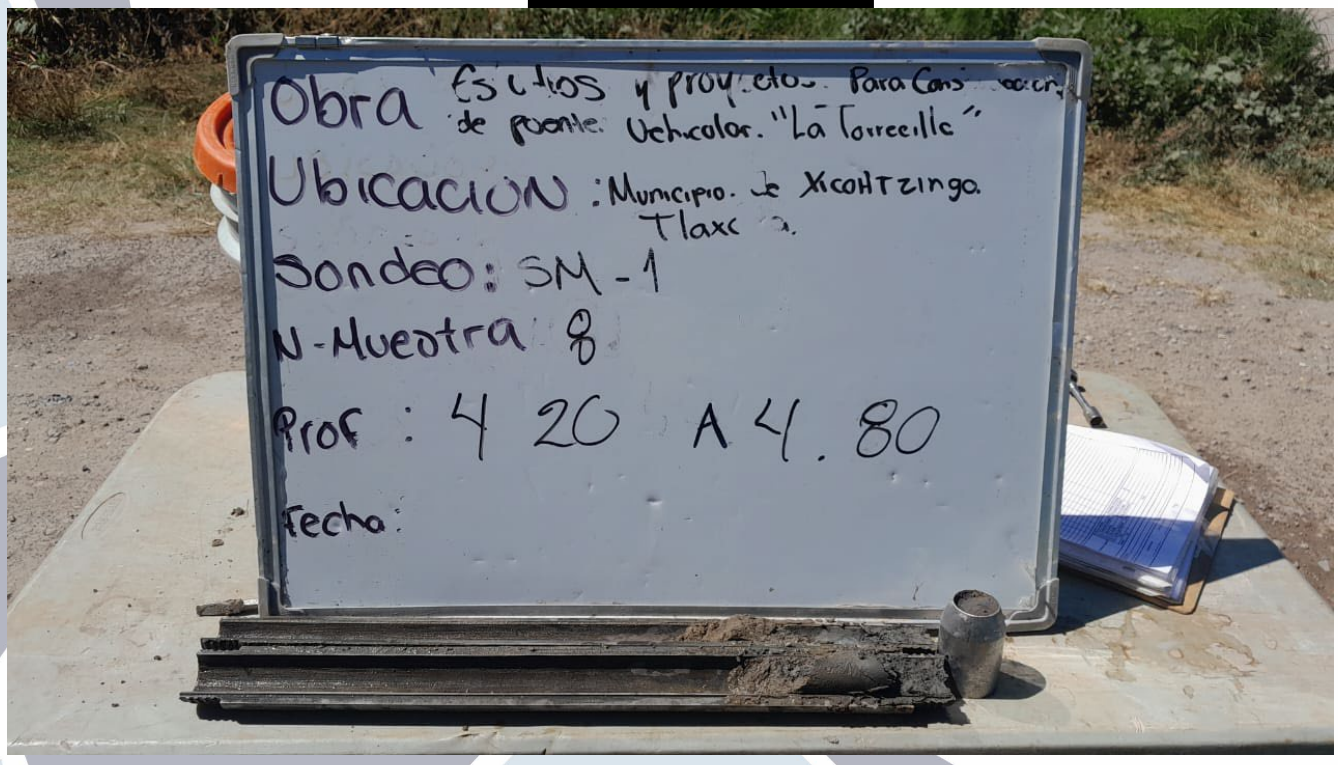
fotografía No. 5 recuperación de muestra del sondeo 1 mediante el uso del tubo partido



fotografía No. 6 recuperación de muestra del sondeo 1 mediante el uso del tubo partido



fotografía No. 7 recuperación de muestra del sondeo 1 mediante el uso del tubo partido



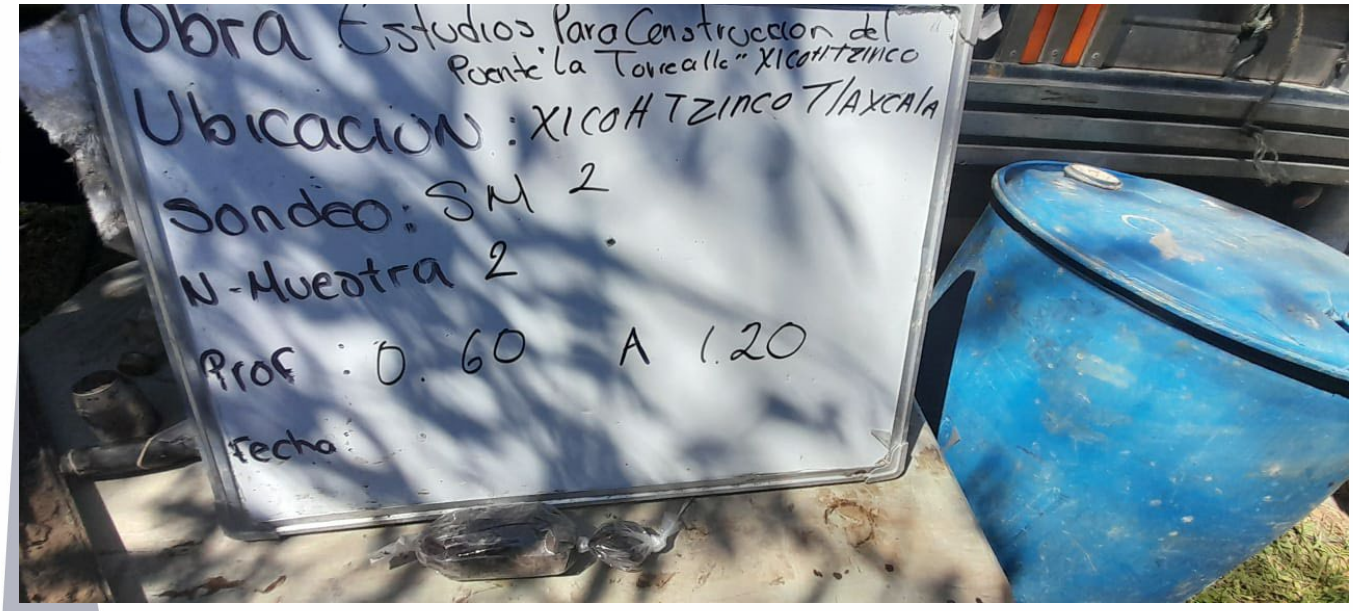
fotografía No. 8 recuperación de muestra del sondeo 1 mediante el uso del tubo partido



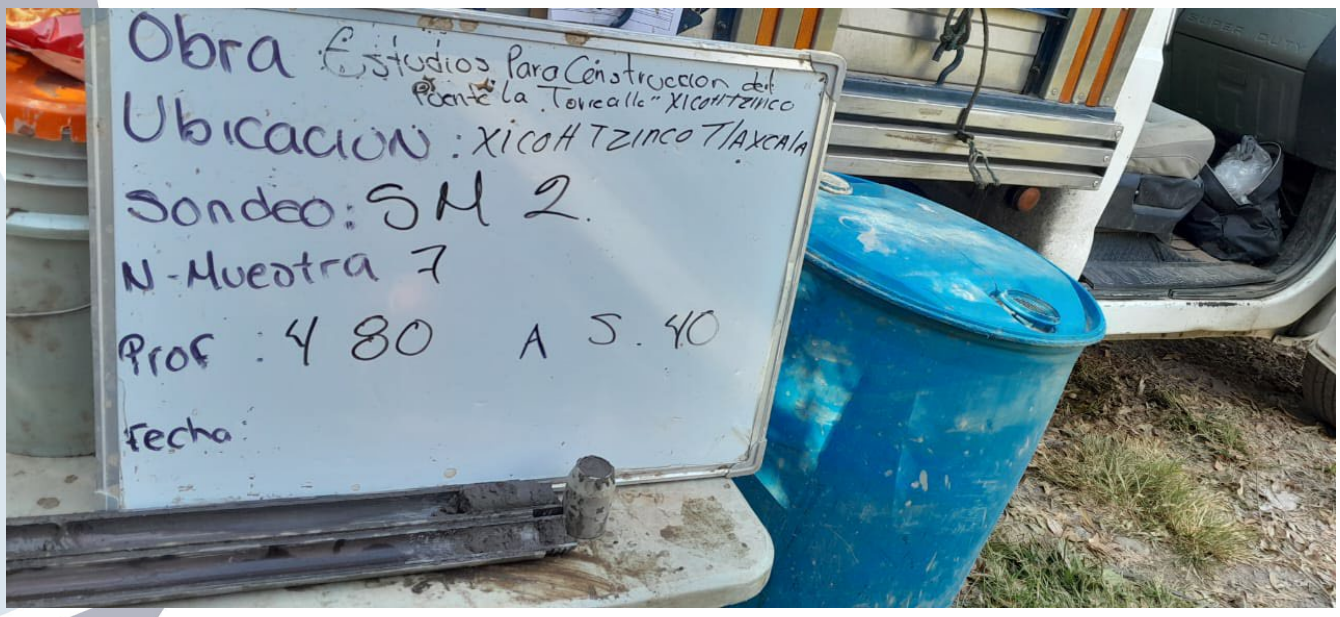
fotografía No. 9 ubicación general del sondeo 2



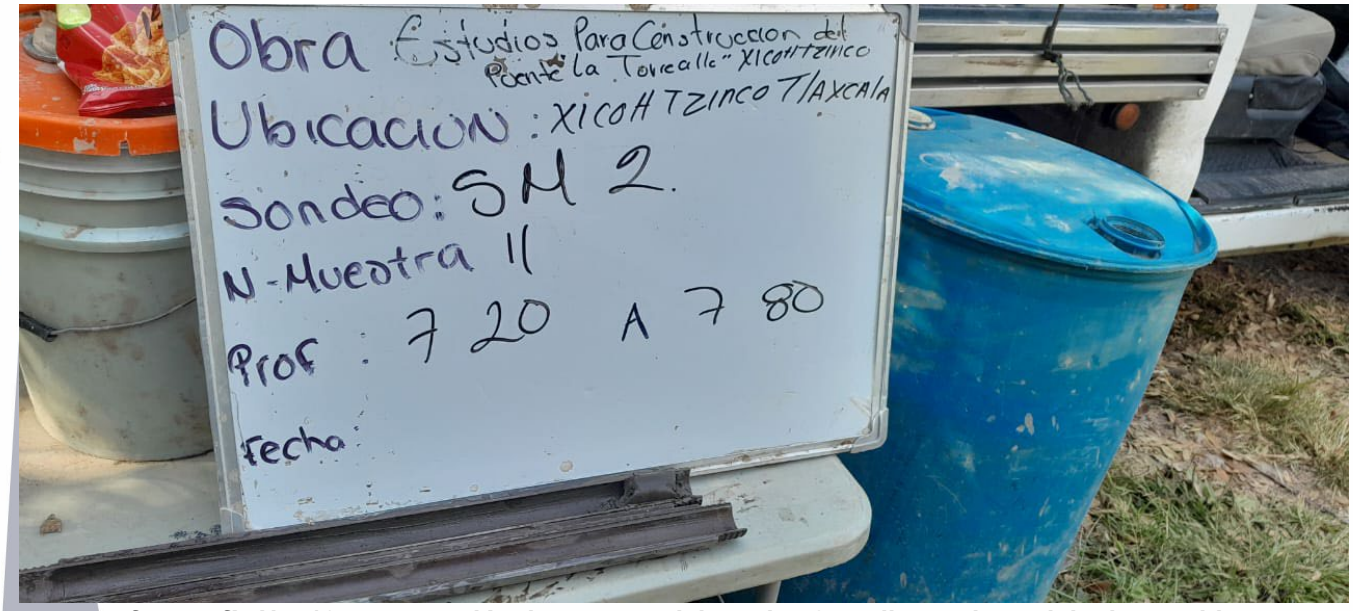
fotografía No. 10 inicio de los trabajos de exploración del sondeo 2



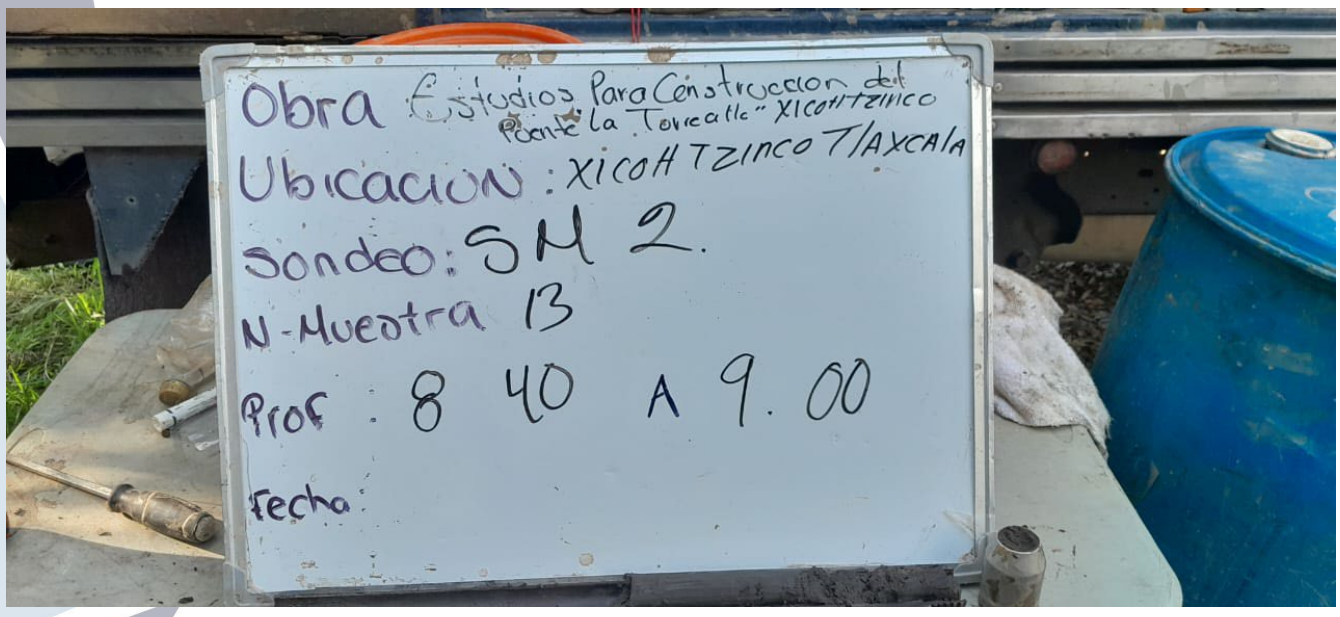
fotografía No. 11 recuperación de muestra del sondeo 2 mediante el uso del tubo partido



fotografía No. 12 recuperación de muestra del sondeo 2 mediante el uso del tubo partido



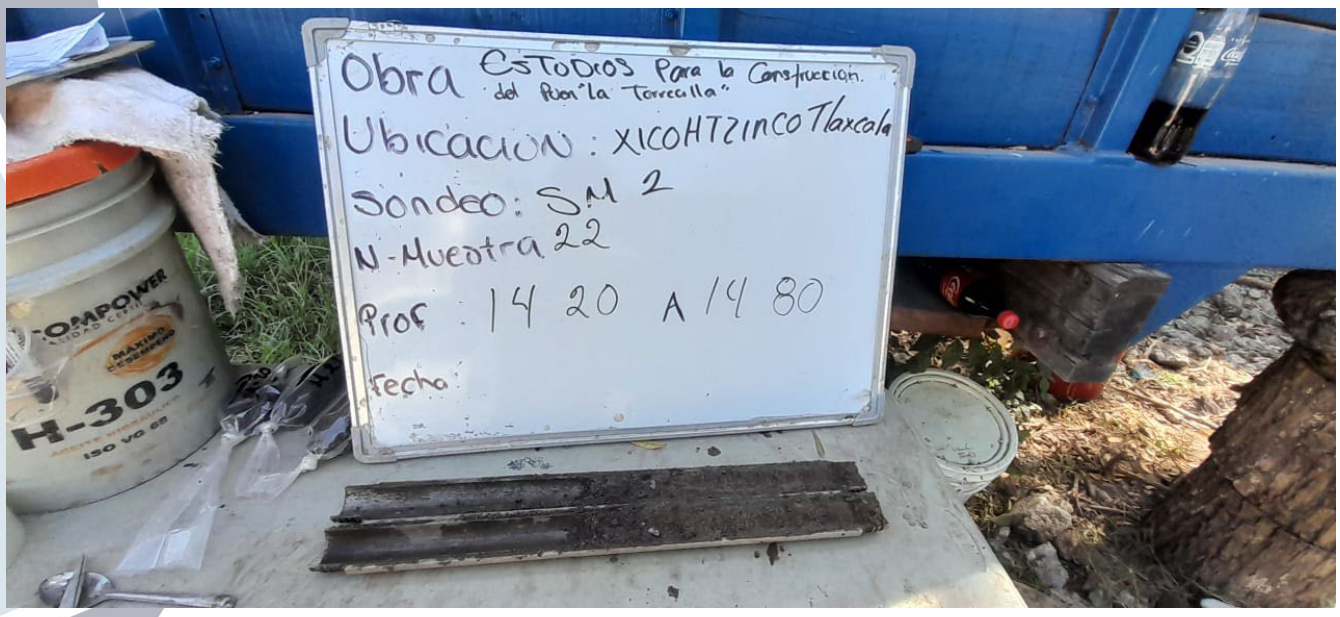
fotografía No. 13 recuperación de muestra del sondeo 2 mediante el uso del tubo partido



fotografía No. 14 recuperación de muestra del sondeo 2 mediante el uso del tubo partido



fotografía No. 15 recuperación de muestra del sondeo 2 mediante el uso del tubo partido



fotografía No. 16 recuperación de muestra del sondeo 2 mediante el uso del tubo partido

ANEXO II. PRUEBAS DE LABORATORIO





CONTENIDO NATURAL DE AGUA

Obra: **Puente vehicular "La Torrecilla" del municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala.**

Ubicación: **CAMINO A DOLORES ENTRE RIO ZAHUAPAN Y BARRANCA DE SANCHEZ**

Sondeo: SM-1

Fecha de elaboración: 11/2025

MUESTRA No.	PROFUNDIDAD [m]		TARA No.	Wsh+Tara [gr]	Wss+Tara [gr]	Wtara [gr]	Ww [gr]	Ws [gr]	W [%]	CLASIFICACIÓN Y OBSERVACIONES
									SPT-1	
1	0.00	0.60	77	118.65	111.15	14.60	24.91	61.52	**40.49**	ARE FINA CON PRESENCIA DE GRAVILLA Y RAIZ
2	0.60	1.20	382	537.59	445.79	40.38	80.88	285.69	**28.31**	ARCILLA ARENOSA DE COLOR CAFÉ
3	1.20	1.80	242	164.01	141.70	29.34	30.82	105.97	**29.08**	ARCILLA ARENOSA DE COLOR CAFÉ
4	1.80	2.40	303	151.34	133.64	29.37	22.49	82.43	**27.28**	ARCILLA ARENOSA DE COLOR CAFÉ OSCURO
5	2.40	3.00	213	166.34	152.69	29.93	25.71	83.38	**30.83**	ARCILLA ARENOSA DE COLOR CAFÉ CON PRESENCIA DE GRAVAS
6	3.00	3.60	F	165.49	129.30	29.51	26.1	75.59	**34.53**	ARCILLA ARENOSA DE COLOR CAFÉ
7	3.60	4.20	280	137.42	111.42	29.50	20.23	76.83	**26.33**	ARCILLA ARENOSA DE COLOR CAFÉ
8	4.20	4.80	42	152.90	113.26	28.82	23.9	111.22	**21.49**	ARCILLA ARENOSA DE COLOR CAFÉ
9	4.80	5.40	97	495.78	299.71	38.88	17.31	76.25	**22.70**	ARCILLA DE COLOR CAFÉ OSCURO
10	5.40	6.00	284	157.44	99.10	29.69	21.02	81.27	**25.86**	ARCILLA DE COLOR CAFÉ OSCURO
11	6.00	6.60	110	171.13	114.96	29.14	74.49	215.16	**34.62**	ARCILLA DE COLOR CAFÉ OSCURO
12	7.20	7.80	300	245.46	195.80	29.50	22.26	78.98	**28.18**	ARENA ARCILLOSA DE COLOR CAFÉ
13	7.80	8.40	107	153.92	126.03	29.15	25.58	85.08	**30.07**	ARENA ARCILLOSA DE COLOR CAFÉ
14	8.40	9.00	75	456.78	333.80	40.14	21.29	90.24	**23.59**	ARCILLA DE COLOR NEGRO
15	9.00	9.60	233	150.42	108.95	29.66	28.31	120.49	**23.50**	ARCILLA DE COLOR NEGRO
16	9.60	10.20	313	137.55	93.23	29.38	23.85	107.01	**22.29**	ARCILLA DE COLOR NEGRO
17	10.80	11.40	127	168.66	128.49	29.10	25.36	101.31	**25.03**	ARENA FINA DE COLOR CAFÉ CLARO
18	12.00	12.60	274	155.34	123.31	29.55	27.77	89.62	**30.99**	ARENA FINA DE COLOR CAFÉ CLARO
19	12.60	13.20	237	163.90	128.79	29.54	84.15	279.79	**30.08**	ARENA FINA DE COLOR CAFÉ CLARO

Ensaye basado en la(s) Norma(s): NMX-C-475-ONNCCE-2013

Nota: Los resultados avalan solo la(s) muestra(s) ensayada(s)

No hacer la reproducción parcial de este informe sin la aprobación escrita del laboratorio

CONTENIDO NATURAL DE AGUA

Obra: **Puente vehicular "La Torrecilla" del municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala.**

Ubicación: **CAMINO A DOLORES ENTRE RIO ZAHUAPAN Y BARRANCA DE SANCHEZ**

Sondeo: SM-1

Fecha de elaboración: 11/2025

MUESTRA No.	PROFUNDIDAD [m]		TARA No.	Wsh+Tara [gr]	Wss+Tara [gr]	Wtara [gr]	Ww [gr]	Ws [gr]	W [%]	CLASIFICACIÓN Y OBSERVACIONES
									SPT-1	
20	13.20	13.80	129	156.40	135.94	22.81	20.46	113.13	**18.09**	ARENA FINA DE COLOR CAFÉ CLARO
21	13.80	14.40	235	169.44	150.50	29.64	18.94	120.86	**15.67**	ARENA FINA DE COLOR CAFÉ CLARO
22	14.40	15.00	311	188.88	167.61	29.47	21.27	138.14	**15.40**	ARENA FINA DE COLOR CAFÉ CLARO

Ensaye basado en la(s) Norma(s): NMX-C-475-ONNCCE-2013

Nota: Los resultados avalan solo la(s) muestra(s) ensayada(s)

No hacer la reproducción parcial de este informe sin la aprobación escrita del laboratorio

CONTENIDO NATURAL DE AGUA

Obra: CONSTRUCCION DEL PUENTE LA TORRECILA

Ubicación: CAM. A DOLORES, XICOHTZINGO, TLAXCALA

Sondeo: *SM-2*

Fecha de elaboración: *11/2025*

MUESTRA No.	PROFUNDIDAD [m]		TARA No.	Wsh+Tara [gr]	Wss+Tara [gr]	Wtara [gr]	Ww [gr]	Ws [gr]	W [%]	CLASIFICACIÓN Y OBSERVACIONES
									SPT-1	
1	0.00	0.60	114	136.46	119.94	22.27	16.52	97.67	**16.91**	MATERIAL DE CONSTRUCCION (RELLENO)
2	0.60	1.20	230	127.39	112.99	29.31	14.40	83.68	**17.21**	ARENA FINA CON MATERIAL DE CONSTRUCCION
3	1.20	1.80	383	543.21	423.85	42.94	119.36	380.91	**31.34**	ARCILLA DE COLOR CAFÉ
4	1.80	2.40	291	142.66	116.16	29.27	26.50	86.89	**30.50**	ARCILLA DE COLOR CAFÉ
5	2.40	3.00	47	161.89	134.60	28.80	27.29	105.80	**25.79**	ARENA ARCILLOSA DE COLOR CAFÉ
6	3.60	4.00	36	220.15	175.13	29.10	45.02	146.03	**30.83**	ARENA ARCILLOSA DE COLOR CAFÉ
7	4.80	5.40	278	131.62	104.51	29.36	27.11	75.15	**36.07**	ARENA ARCILLOSA DE COLOR CAFÉ
8	5.40	6.00	297	311.22	224.58	39.12	86.64	185.46	**46.72**	ARENA ARCILLOSA DE COLOR CAFÉ
9	6.00	6.60	327	67.33	57.07	29.46	10.26	27.61	**37.16**	ARENA ARCILLOSA DE COLOR CAFÉ
10	6.60	7.20	117	72.94	62.61	29.43	10.33	33.18	**31.13**	ARENA ARCILLOSA DE COLOR CAFÉ
11	7.20	7.80	B	95.00	77.30	29.49	17.70	47.81	**37.02**	ARENA ARCILLOSA DE COLOR CAFÉ
12	7.80	8.40	299	54.17	48.03	29.55	6.14	18.48	**33.23**	ARENA ARCILLOSA DE COLOR CAFÉ
13	8.40	9.00	91	321.24	217.26	39.30	103.98	177.96	**58.43**	ARCILLA DE COLOR CAFÉ
14	9.00	9.60	244	162.05	125.76	29.25	36.29	96.51	**37.60**	ARCILLA DE COLOR CAFÉ
15	9.60	10.20	289	161.50	133.71	29.57	27.79	104.14	**26.69**	ARENA FINA DE COLOR CAFÉ
16	10.20	10.80	109	254.12	227.65	23.59	26.47	204.06	**12.97**	ARENA FINA DE COLOR CAFÉ
17	10.80	11.40	210	159.10	136.28	30.16	22.82	106.12	**21.50**	ARENA FINA DE COLOR CAFÉ
18	11.40	12.00	105	191.24	171.39	29.30	19.85	142.09	**13.97**	ARENA FINA DE COLOR CAFÉ
19	12.00	12.60	120	185.02	164.29	29.08	20.73	135.21	**15.33**	ARENA FINA DE COLOR CAFÉ

Ensaye basado en la(s) Norma(s): NMX-C-475-ONNCCE-2013

Nota: Los resultados avalan solo la(s) muestra(s) ensayada(s)

No hacer la reproducción parcial de este informe sin la aprobación escrita del laboratorio

CONTENIDO NATURAL DE AGUA

Obra: CONSTRUCCION DEL PUENTE LA TORRECILA

Ubicación: CAM. A DOLORES, XICOHTZINGO, TLAXCALA

Sondeo: *SM-1*

Fecha de elaboración: *11/2025*

MUESTRA No.	PROFUNDIDAD [m]		TARA No.	Wsh+Tara [gr]	Wss+Tara [gr]	Wtara [gr]	Ww [gr]	Ws [gr]	W [%]	CLASIFICACIÓN Y OBSERVACIONES
									SPT-1	
20	13.00	13.60	277	207.09	179.16	29.96	27.93	149.2	**18.72**	ARENA FINA DE COLOR CAFÉ CLARO
21	13.60	14.20	I	158.86	131.73	29.33	27.13	102.4	**26.49**	ARENA FINA DE COLOR CAFÉ CLARO
22	14.20	14.80	322	200.52	179.21	29.47	21.31	149.74	**14.23**	ARENA FINA DE COLOR CAFÉ CLARO
23	14.80	15.40	226	203.14	173.05	29.53	30.09	143.52	**20.97**	ARENA FINA DE COLOR CAFÉ CLARO

Ensaye basado en la(s) Norma(s): NMX-C-475-ONNCCE-2013

Nota: Los resultados avalan solo la(s) muestra(s) ensayada(s)

No hacer la reproducción parcial de este informe sin la aprobación escrita del laboratorio

PORCENTAJE DE FINOS

Proyecto: **Puente vehicular "La Torrecilla" del municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala.**

Fecha de elaboracion: nov-25

Ubicación: **CAMINO A DOLORES ENTRE RIO ZAHUAPAN Y BARRANCA DE SANCHEZ**

Sondeo: SM-1

MUESTRA	PROFUNDIDAD		TARA	Wtara	Wss inicial+Wtara	Wss final + WTara	Wss inicial	Wss Final	Wfinos	Arena y Grava	Finos
No.	[m]		No.	[gr]	[gr]	[gr]	[gr]	[gr]	[gr]	(%)	[%]
2	0.60	1.20	282	39.79	89.79	61.06	50.00	21.27	28.73	**42.54**	**57.46**
6	3.00	3.60	296	44.44	94.44	67.05	50.00	22.61	27.39	**45.22**	**54.78**
9	4.80	5.40	357	39.77	89.77	39.93	50.00	0.16	49.84	**0.32**	**99.68**
11	6.00	6.60	92	37.40	87.40	50.30	50.00	12.90	37.10	**25.80**	**74.20**
12	7.20	7.80	365	38.50	88.50	71.87	50.00	33.37	16.63	**66.74**	**33.26**
14	8.40	9.00	52	40.59	90.59	41.13	50.00	0.54	49.46	**1.08**	**98.92**
16	9.60	10.20	294	39.6	89.60	42.35	50.00	2.75	47.25	**5.50**	**94.50**
17	10.80	11.40	386	39.07	89.07	66.84	50.00	27.77	22.23	**55.54**	**44.46**
21	13.80	14.40	354	38.03	88.03	81.26	50.00	43.23	6.77	**86.46**	**13.54**

Ensaye basado en la(s) Norma(s): ASTM-D 1140, NMX-C-496-ONNCE-2014

Los resultados avalan solo la(s) muestra(s) ensayada(s)

No hacer la reproducción parcial de este informe sin la aprobación escrita del laboratorio

PORCENTAJE DE FINOS

Proyecto: CONSTRUCCION DEL PUENTE LA TORRECILA

Ubicación: CAM. A DOLORES, XICOHTZINGO, TLAXCALA

Fecha de elaboracion: *nov-25*

Sondeo: *SM-2*

MUESTRA	PROFUNDIDAD		TARA	Wtara	Wss inicial+Wtara	Wss final + WTara	Wss inicial	Wss Final	Wfinos	Arena y Grava	Finos
No.	[m]		No.	[gr]	[gr]	[gr]	[gr]	[gr]	[gr]	(%)	[%]
3	1.20	1.80	71	38.98	88.98	50.96	50.00	11.98	38.02	**23.96**	**76.04**
5	2.40	3.00	95	39.31	89.31	66.84	50.00	27.53	22.47	**55.06**	**44.94**
8	5.40	6.00	368	38.47	88.47	73.66	50.00	35.19	14.81	**70.38**	**29.62**
13	8.40	9.00	93	37.79	87.79	50.52	50.00	12.73	37.27	**25.46**	**74.54**
15	9.60	10.20	58	40.18	90.18	73.63	50.00	33.45	16.55	**66.90**	**33.10**
16	10.20	10.80	96	37.42	87.42	84.33	50.00	46.91	3.09	**93.82**	**6.18**
21	13.60	14.20	392	38.94	88.94	68.32	50.00	29.38	20.62	**58.76**	**41.24**

Ensaye basado en la(s) Norma(s): ASTM-D 1140, NMX-C-496-ONNCE-2014

Los resultados avalan solo la(s) muestra(s) ensayada(s)

No hacer la reproducción parcial de este informe sin la aprobación escrita del laboratorio

LIMITES DE CONSISTENCIA

Proyecto: **Puente vehicular "La Torrecilla" del municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala.** ***Fecha:*** NOV/2025

Ubicación: **CAMINO A DOLORES ENTRE RIO ZAHUAPAN Y BARRANCA DE SANCHEZ**

Sondeo SPT-1 ***Muestra:*** M-9 ***Profundidad:*** 4.80-5.40

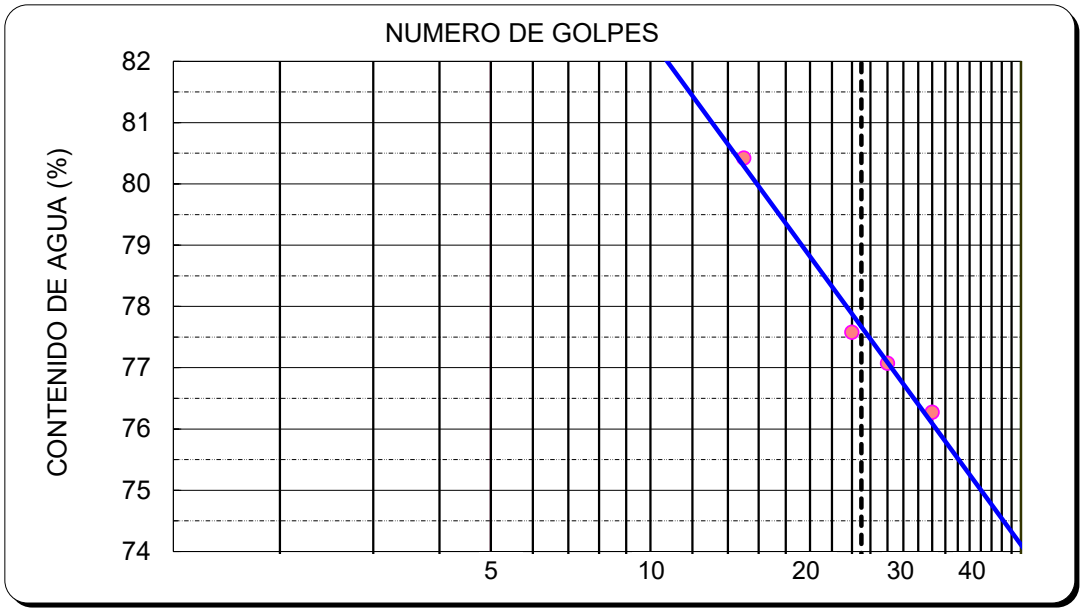
LIMITE LIQUIDO

No PRUEBA	NUMERO GOLPES	No. TARA	WTara	Whumedo + WTara	Wseco + Wtara	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	34	239	29.60	39.63	35.29	76.3
2	28	228	29.63	39.67	35.30	77.1
3	24	224	30.13	40.11	35.75	77.6
4	15	D	29.61	39.84	35.28	80.4

LIMITE PLASTICO

No PRUEBA	No. TARA	WTara (gr)	Whumedo + WTara (gr)	Wseco + Wtara (gr)	CONTENIDO DE AGUA (%)	VALOR PROMEDIO (%)
1	123	29.35	31.23	30.74	35.25	35.2
2	29	28.83	30.60	30.14	35.11	

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO	**SUCS**
77.7 %	35.2 %	42.5 %	**CH**



Ensaye basado en la(s) Norma(s): NMX-493-2014

Nota: Los resultados avalan solo la(s) muestra(s) ensayada(s)

No hacer la reproducción parcial de este informe sin la aprobación escrita del laboratorio

LIMITES DE CONSISTENCIA

Proyecto: Puente vehicular "La Torrecilla" del municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala. ***Fecha:*** NOV/2025

Ubicación: CAMINO A DOLORES ENTRE RIO ZAHUAPAN Y BARRANCA DE SANCHEZ

Sondeo SPT-1 ***Muestra:*** M-14 ***Profundidad:*** 8.40-9.00 *m*

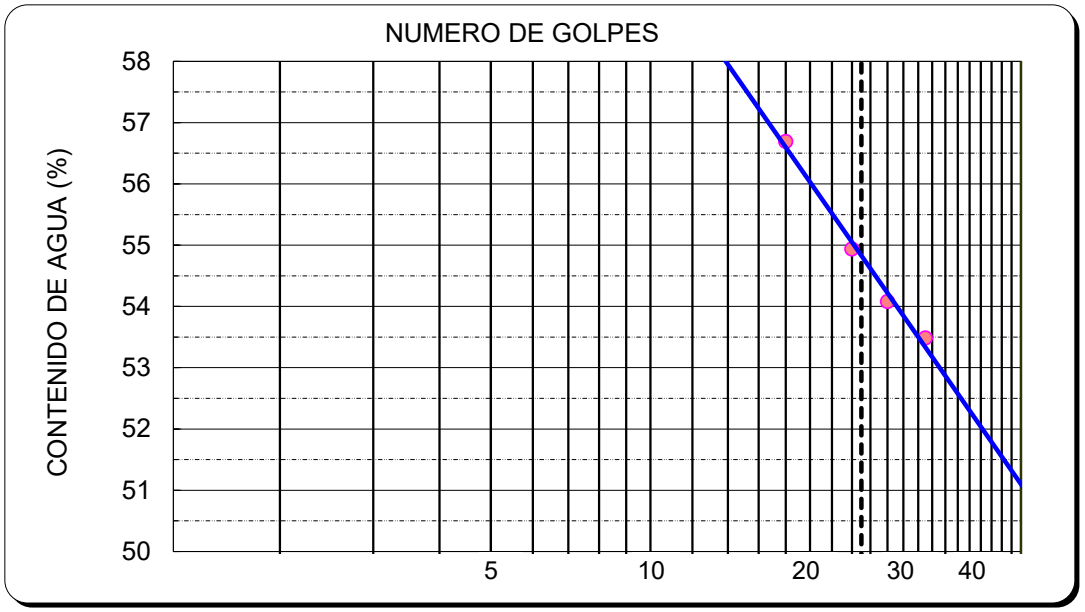
LIMITE LIQUIDO

No PRUEBA	NUMERO GOLPES	No. TARA	WTara	Whumedo + WTara	Wseco + Wtara	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	33	128	22.66	32.56	29.11	53.5
2	28	315	29.26	39.26	35.75	54.1
3	24	108	29.23	39.27	35.71	54.9
4	18	G	29.30	39.25	35.65	56.7

LIMITE PLASTICO

No PRUEBA	No. TARA	WTara (gr)	Whumedo + WTara (gr)	Wseco + Wtara (gr)	CONTENIDO DE AGUA (%)	VALOR PROMEDIO (%)
1	293	29.53	31.38	30.96	29.37	29.0
2	124	28.86	30.16	29.87	28.71	

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO	**SUCS**
54.8 %	29.0 %	25.8 %	**CH**



Ensaye basado en la(s) Norma(s): NMX-493-2014

Nota: Los resultados avalan solo la(s) muestra(s) ensayada(s)

No hacer la reproducción parcial de este informe sin la aprobación escrita del laboratorio

LIMITES DE CONSISTENCIA

Proyecto: **Puente vehicular "La Torrecilla" del municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala.** ***Fecha:*** NOV/2025

Ubicación: **CAMINO A DOLORES ENTRE RIO ZAHUAPAN Y BARRANCA DE SANCHEZ**

Sondeo SPT-2 ***Muestra:*** M-2 ***Profundidad:*** 1.20-1.80

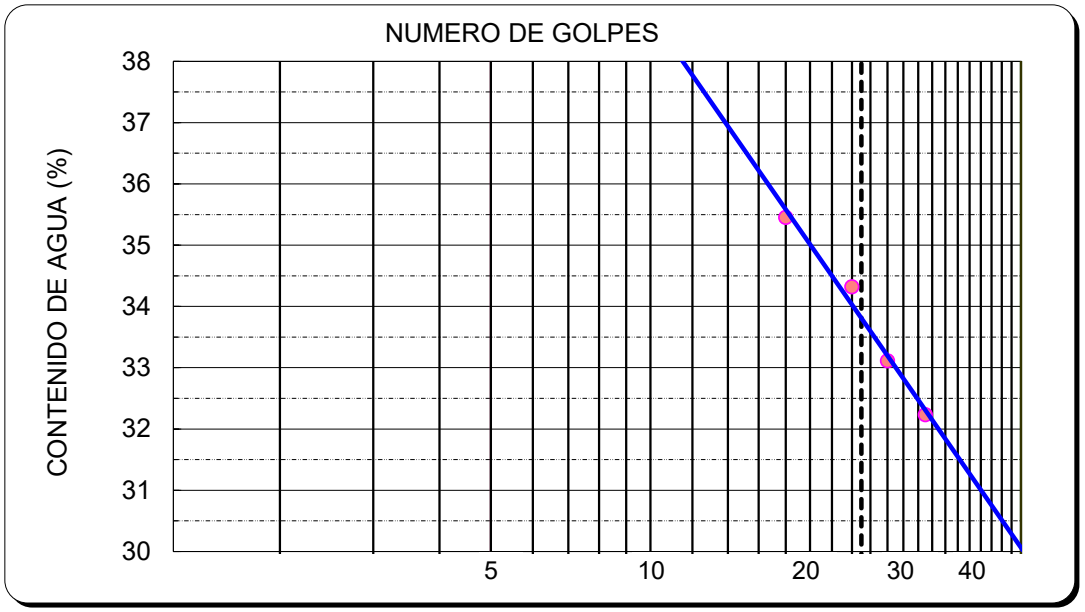
LIMITE LIQUIDO

No PRUEBA	NUMERO GOLPES	No. TARA	WTara	Whumedo + WTara	Wseco + Wtara	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	33	61	14.69	24.70	22.26	32.2
2	28	73	15.06	25.07	22.58	33.1
3	24	59	15.18	25.16	22.61	34.3
4	18	62	14.23	24.24	21.62	35.5

LIMITE PLASTICO

No PRUEBA	No. TARA	WTara (gr)	Whumedo + WTara (gr)	Wseco + Wtara (gr)	CONTENIDO DE AGUA (%)	VALOR PROMEDIO (%)
1	74	14.63	16.57	16.20	23.57	23.4
2	65	14.10	15.96	15.61	23.18	

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO	**SUCS**
33.8 %	23.4 %	10.4 %	**CL**



Ensaye basado en la(s) Norma(s): NMX-493-2014

Nota: Los resultados avalan solo la(s) muestra(s) ensayada(s)

No hacer la reproducción parcial de este informe sin la aprobación escrita del laboratorio

LIMITES DE CONSISTENCIA

Proyecto: **Puente vehicular "La Torrecilla" del municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala.** ***Fecha:*** NOV/2025

Ubicación: **CAMINO A DOLORES ENTRE RIO ZAHUAPAN Y BARRANCA DE SANCHEZ**

Sondeo SPT-2 ***Muestra:*** M-8 ***Profundidad:*** 5.40-6.00 *m*

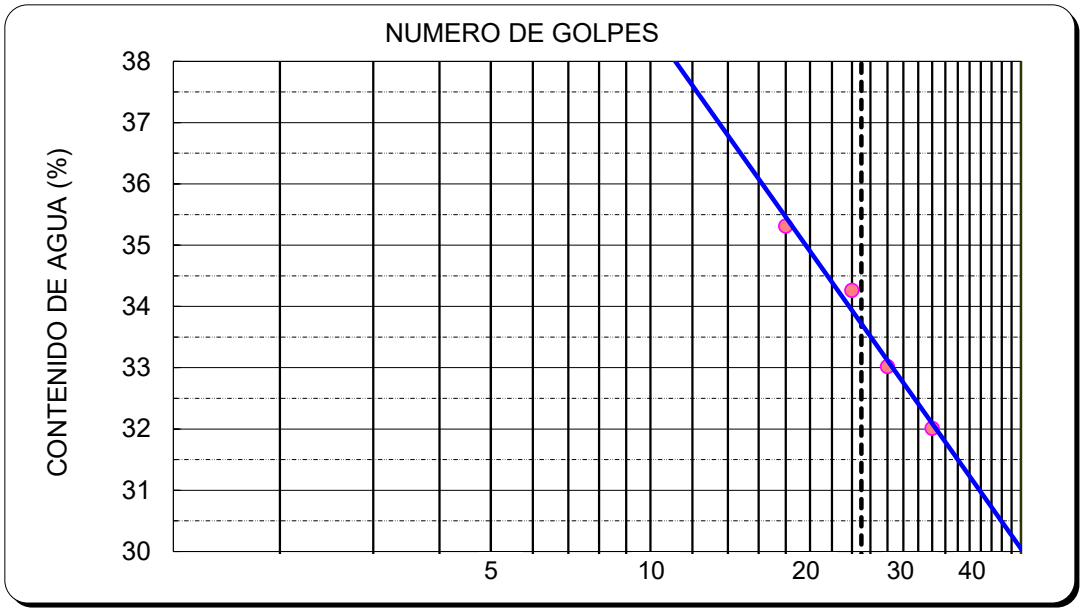
LIMITE LIQUIDO

No PRUEBA	NUMERO GOLPES	No. TARA	WTara	Whumedo + WTara	Wseco + Wtara	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	34	225	29.46	39.44	37.02	32.0
2	28	43	28.89	38.80	36.34	33.0
3	24	290	29.47	39.58	37.00	34.3
4	18	72	15.40	25.44	22.82	35.3

LIMITE PLASTICO

No PRUEBA	No. TARA	WTara (gr)	Whumedo + WTara (gr)	Wseco + Wtara (gr)	CONTENIDO DE AGUA (%)	VALOR PROMEDIO (%)
1	307	29.54	31.53	31.16	22.84	23.6
2	A	29.55	31.54	31.15	24.38	

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO	**SUCS**
33.7 %	23.6 %	10.1 %	**CL**



Ensaye basado en la(s) Norma(s): NMX-493-2014

Nota: Los resultados avalan solo la(s) muestra(s) ensayada(s)

No hacer la reproducción parcial de este informe sin la aprobación escrita del laboratorio

LIMITES DE CONSISTENCIA

Proyecto: Puente vehicular "La Torrecilla" del municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala. **Fecha:** NOV/2025

Ubicación: CAMINO A DOLORES ENTRE RIO ZAHUAPAN Y BARRANCA DE SANCHEZ

Sondeo SPT-2 ***Muestra:*** M-13 ***Profundidad:*** 8.40-9.00 *m*

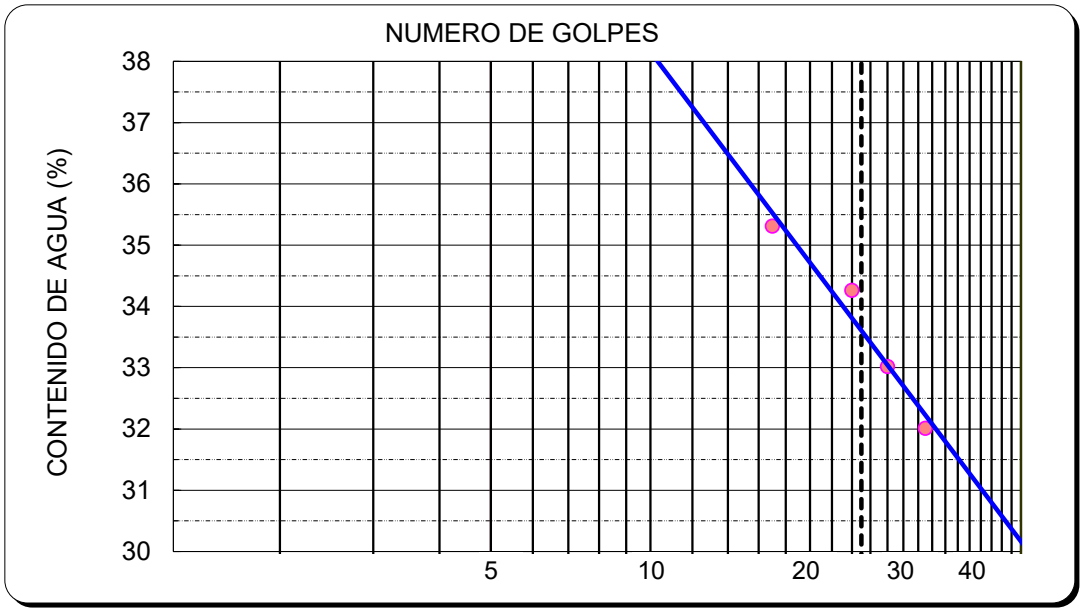
LIMITE LIQUIDO

No PRUEBA	NUMERO GOLPES	No. TARA	WTara	Whumedo + WTara	Wseco + Wtara	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	33	298	29.46	39.44	37.02	32.0
2	28	302	28.89	38.80	36.34	33.0
3	24	125	29.47	39.58	37.00	34.3
4	17	111	15.40	25.44	22.82	35.3

LIMITE PLASTICO

No PRUEBA	No. TARA	WTara (gr)	Whumedo + WTara (gr)	Wseco + Wtara (gr)	CONTENIDO DE AGUA (%)	VALOR PROMEDIO (%)
1	307	29.54	31.53	31.16	22.84	23.6
2	A	29.55	31.54	31.15	24.38	

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO	**SUCS**
33.6 %	23.6 %	10.0 %	**CL**



Ensaye basado en la(s) Norma(s): NMX-493-2014

Nota: Los resultados avalan solo la(s) muestra(s) ensayada(s)

No hacer la reproducción parcial de este informe sin la aprobación escrita del laboratorio

qU Axial Compresión simple

METODOS DE PRUEBAS: NMX-C-467-ONNCCE-2019, NMX-C-468-ONNCCE-2018, NMX-C-475-ONNCCE-2013 Y ASTM 2166-06

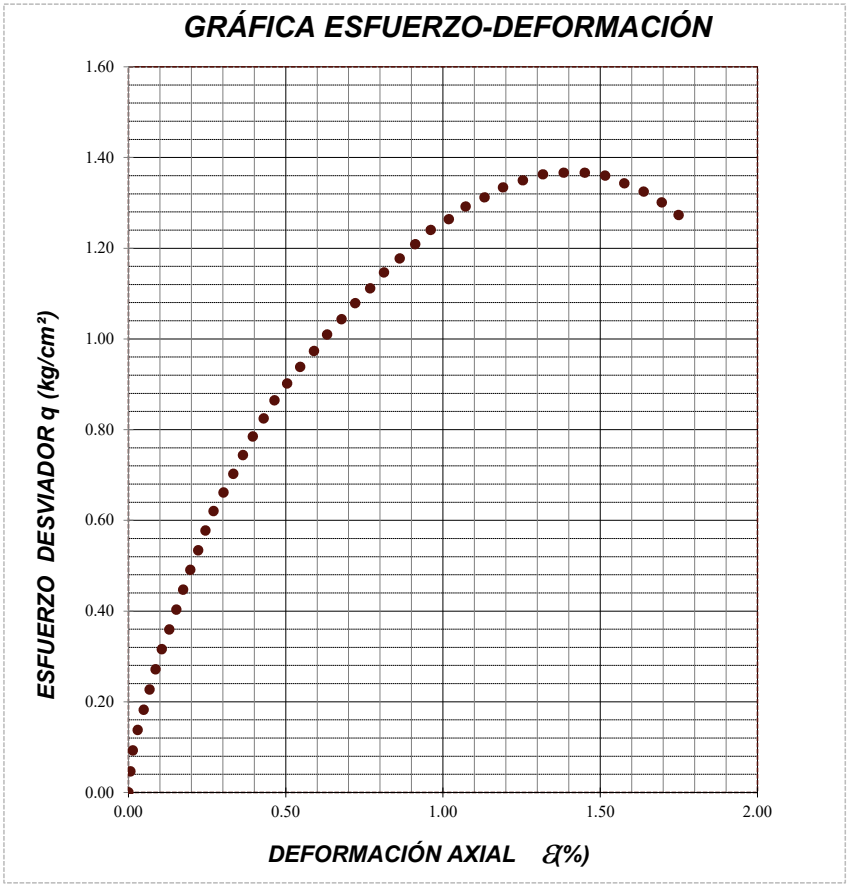
CLIENTE:			
OBRA:	Puente vehicular "La Torrecilla" del municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala.	FECHA DE MUESTREO:	
UBICACION:	CAMINO A DOLORES ENTRE RIO ZAHUAPAN Y BARRANCA DE SANCHEZ	FECHA DE PRUEBA:	
		FECHA DE EMISION:	ene-25

Sondeo SM-1 **Muestra:** M-20 **Profundidad:** 13.20-13.80

RESULTADOS

Prueba	*Ss*	*w (%)*	*Gw %*	*e*	γ_m *Kg/m³*	q_u *kg/cm²*
1	*2.300*	*21.19*	*110.06*	*0.443*	*1932*	*1.367*

ε	σ_{des}
[%]	[Kg/cm²]
0.0000	0.0000
0.0153	0.0987
0.0460	0.1765
0.0766	0.2491
0.1061	0.3165
0.1346	0.3682
0.1630	0.4252
0.1915	0.4821
0.2188	0.5286
0.2462	0.5802
0.2746	0.6267
0.3074	0.6679
0.3381	0.7091
0.3687	0.7503
0.4004	0.7914
0.4322	0.8273
0.4628	0.8633
0.4956	0.8940
0.5306	0.9247
0.5656	0.9553
0.5996	0.9808
0.6335	1.0114



Módulo Elastico: 186.4 kg/cm²

Cohesión: 6.84 ton/m²

DESCRIPCION DEL MATERIAL .- ARENA FINA DE COLOR CAFÉ CLARO

qU Axial Compresión simple

METODOS DE PRUEBAS: NMX-C-467-ONNCCE-2019, NMX-C-468-ONNCCE-2018, NMX-C-475-ONNCCE-2013 Y ASTM 2166-06

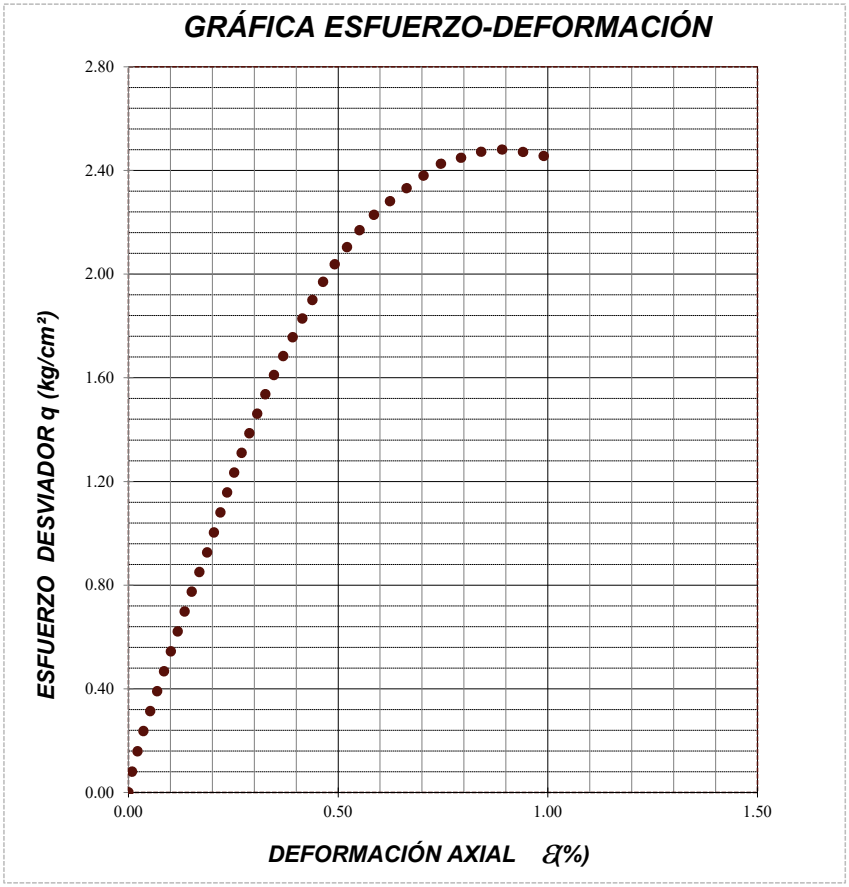
CLIENTE:			
OBRA:	Puente vehicular "La Torrecilla" del municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala.	FECHA DE MUESTREO:	
UBICACION:	CAMINO A DOLORES ENTRE RIO ZAHUAPAN Y BARRANCA DE SANCHEZ	FECHA DE PRUEBA:	
		FECHA DE EMISION:	nov-25

Sondeo SM-2 **Muestra:** M-22 **Profundidad:** 14.20-14.80

RESULTADOS

Prueba	*Ss*	*w (%)*	*Gw %*	*e*	*γ_m Kg/m³*	*q_u kg/cm²*
1	*2.300*	*13.80*	*99.44*	*0.319*	*1984*	*2.481*

ε	σ_{des}
[%]	[Kg/cm²]
0.0000	0.0000
0.0042	0.0519
0.0329	0.2232
0.0637	0.3685
0.0934	0.5085
0.1231	0.6484
0.1550	0.7933
0.1879	0.9279
0.2197	1.0830
0.2505	1.2277
0.2824	1.3620
0.3132	1.4858
0.3450	1.6044
0.3779	1.7125
0.4119	1.8205
0.4448	1.9181
0.4777	2.0054
0.5117	2.0822
0.5456	2.1590
0.5796	2.2202
0.6157	2.2710
0.6507	2.3166



Módulo Elastico: 474.8 kg/cm²

Cohesión: 12.40 ton/m²

DESCRIPCION DEL MATERIAL .- ARENA FINA DE COLOR CAFÉ CLARO

INFORME DE RESULTADOS DETERMINACIÓN DE COMPRESIÓN TRIAXIAL UU

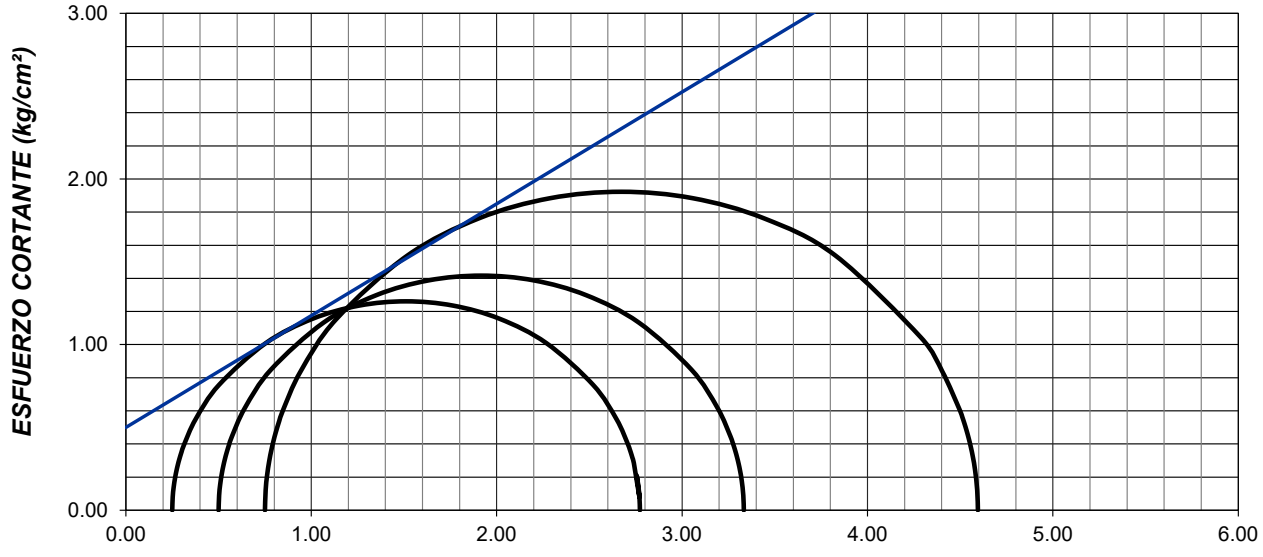
METODOS DE PRUEBAS: NMX-C-467-ONNCCE-2019, NMX-C-468-ONNCCE-2018, NMX-C-475-ONNCCE-2013 Y NMX-C-432-ONNCCE-2022

CLIENTE:		*FECHA DE MUESTRE:*	
OBRA:	Puente vehicular "La Torrecilla" del municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala.	*FECHA DE PRUEBA:*	
UBICACIÓN:	CAMINO A DOLORES ENTRE RIO ZAHUAPAN Y BARRANCA DE SANCHEZ	*FECHA DE EMISION:*	nov-25

SM-1 **Muestra No:** M-20 **Profundidad:** 13.20-13.80 m

Prueba	w_i (%)	*ei*	*Gw* %	γ_{mi} ton/m³	σ_{conf} kg/cm²	σ_{desv} kg/cm²
1	*20.20*	*0.428*	*108.66*	*1.937*	*0.250*	*2.522*
2	*20.64*	*0.435*	*109.20*	*1.934*	*0.500*	*2.833*
3	*20.05*	*0.442*	*104.40*	*1.915*	*0.750*	*3.845*
PROMEDIO	***20.30***	***0.435***	***107.42***	***1.929***	***Ss = 2.300***	

CÍRCULOS DE MOHR



Cohesión:	5.00	ton/m²	**Ángulo de fricción:**	34	grados

DESCRIPCION DEL MATERIAL.- ARENA FINA DE COLOR CAFÉ CLARO

INFORME DE RESULTADOS DETERMINACIÓN DE COMPRESIÓN TRIAXIAL UU

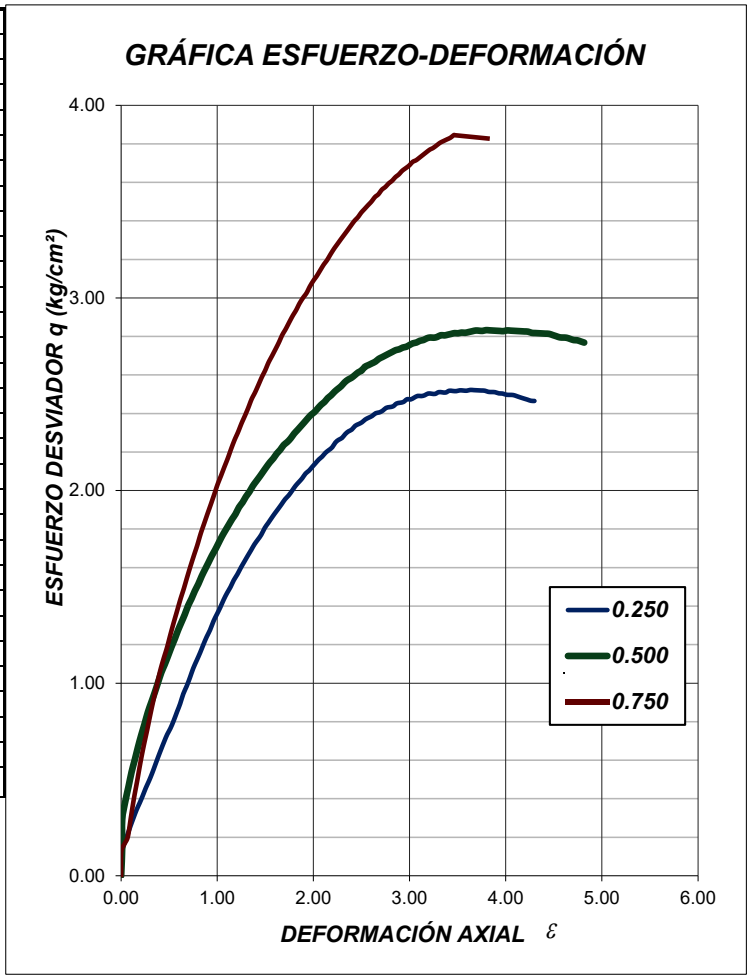
METODOS DE PRUEBAS: NMX-C-467-ONNCCE-2019, NMX-C-468-ONNCCE-2018, NMX-C-475-ONNCCE-2013 Y NMX-C-432-ONNCCE-2022

CLIENTE:		*FECHA DE MUESTRE:*	
OBRA:	**Puente vehicular "La Torrecilla" del municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala.**	*FECHA DE PRUEBA:*	
UBICACIÓN:	**CAMINO A DOLORES ENTRE RIO ZAHUAPAN Y BARRANCA DE SANCHEZ**	*FECHA DE EMISION:*	nov-25

Sondeo: *SM-1* ***Muestra No:*** *M-20* ***Profundidad:*** *13.20-13.80 m*

Prueba	w_i *(%)*	*ei*	*Gw %*	γ_{mi} *ton/m³*	σ_{conf} *kg/cm²*	σ_{desv} *kg/cm²*
1	*20.20*	*0.428*	*108.66*	*1.937*	*0.250*	*2.522*
2	*20.64*	*0.435*	*109.20*	*1.934*	*0.500*	*2.833*
3	*20.05*	*0.442*	*104.40*	*1.915*	*0.750*	*3.845*
PROMEDIO	***20.30***	***0.435***	***107.42***	***1.93***	***Ss = 2.30***	

ε	σ_{des}	σ_{des}	σ_{des}
[%]	[Kg/cm²]	[Kg/cm²]	[Kg/cm²]
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0033	0.1091	0.1454	0.1246
0.0317	0.1661	0.2908	0.1661
0.0655	0.2128	0.3841	0.2024
0.0983	0.2594	0.4618	0.3061
0.1288	0.3008	0.5395	0.4045
0.1605	0.3422	0.6016	0.4925
0.1932	0.3784	0.6688	0.5908
0.2238	0.4145	0.7307	0.6787
0.2566	0.4558	0.7875	0.7562
0.2893	0.4919	0.8493	0.8439
0.3231	0.5332	0.9008	0.9213
0.3537	0.5744	0.9522	0.9934
0.3843	0.6156	1.0036	1.0655
0.4159	0.6568	1.0550	1.1271
0.4487	0.6979	1.0960	1.1836
0.4793	0.7339	1.1421	1.2503
0.5120	0.7647	1.1882	1.3119
0.5469	0.8057	1.2291	1.3683
0.5819	0.8519	1.2751	1.4348
0.6135	0.8929	1.3160	1.4911
0.6463	0.9442	1.3568	1.5473
0.6823	0.9852	1.4027	1.6086
0.7172	1.0312	1.4383	1.6647
0.7500	1.0773	1.4790	1.7157
0.7860	1.1181	1.5146	1.7769
0.8221	1.1589	1.5552	1.8277
0.8548	1.1997	1.5907	1.8785
0.8897	1.2404	1.6262	1.9293



DESCRIPCION DEL MATERIAL.- ARENA FINA DE COLOR CAFÉ CLARO

INFORME DE RESULTADOS DETERMINACIÓN DE COMPRESIÓN TRIAXIAL UU

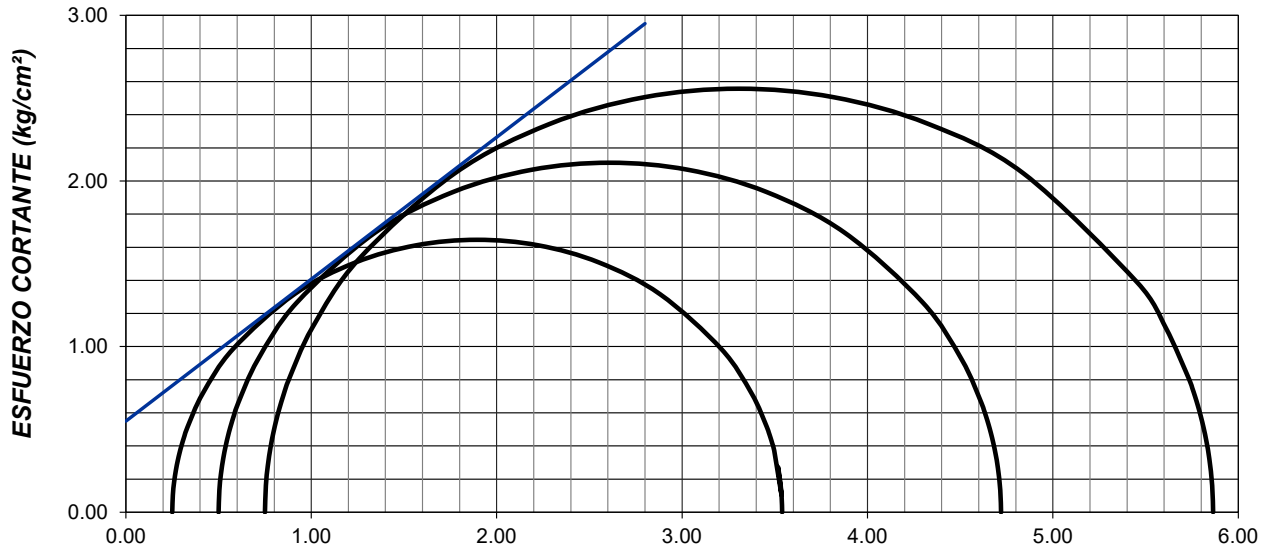
METODOS DE PRUEBAS: NMX-C-467-ONNCCE-2019, NMX-C-468-ONNCCE-2018, NMX-C-475-ONNCCE-2013 Y NMX-C-432-ONNCCE-2022

CLIENTE:		*FECHA DE MUESTRE:*	
OBRA:	Puente vehicular "La Torrecilla" del municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala.	*FECHA DE PRUEBA:*	
UBICACIÓN:	CAMINO A DOLORES ENTRE RIO ZAHUAPAN Y BARRANCA DE SANCHEZ	*FECHA DE EMISION:*	nov-25

Sondeo: SM-2 ***Muestra No:*** M-22 ***Profundidad:*** 14.20-14.80 m

Prueba	w_i (%)	*ei*	*Gw* %	γ_{mi} ton/m³	σ_{conf} kg/cm²	σ_{desv} kg/cm²
1	*13.78*	*0.340*	*93.06*	*1.952*	*0.250*	*3.290*
2	*13.47*	*0.332*	*93.41*	*1.960*	*0.500*	*4.220*
3	*13.40*	*0.340*	*90.59*	*1.946*	*0.750*	*5.114*
PROMEDIO	***13.55***	***0.337***	***92.35***	***1.953***	***Ss = 2.300***	

CÍRCULOS DE MOHR



Cohesión:	5.50	ton/m²	**Ángulo de fricción:**	41	grados

DESCRIPCION DEL MATERIAL.- ARENA FINA DE COLOR CAFÉ CLARO

INFORME DE RESULTADOS DETERMINACIÓN DE COMPRESIÓN TRIAXIAL UU

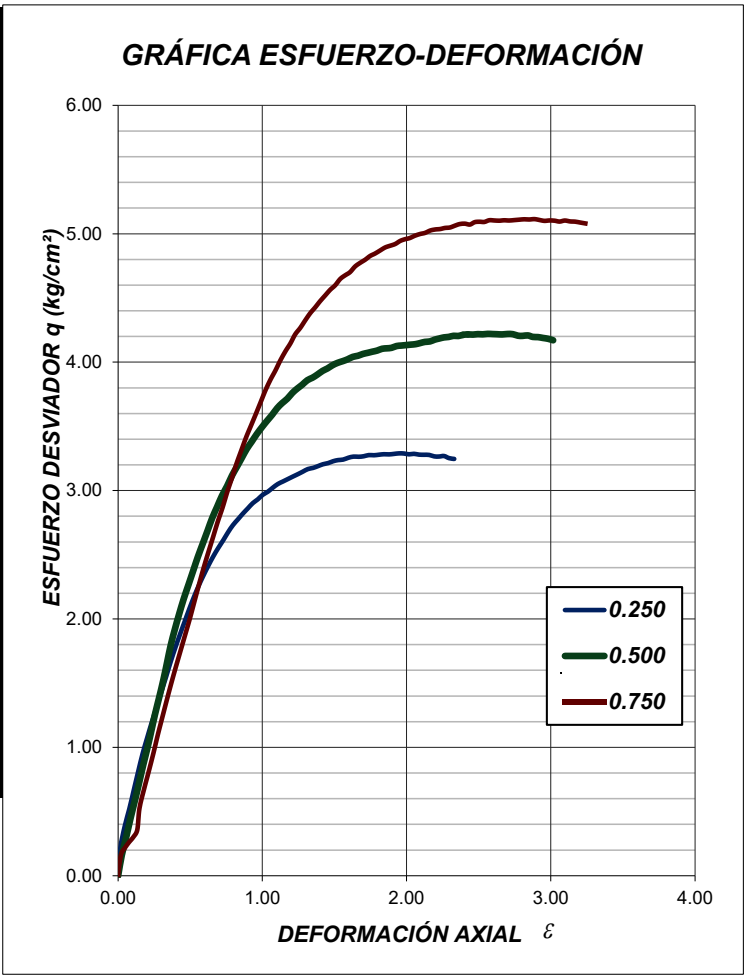
METODOS DE PRUEBAS: NMX-C-467-ONNCCE-2019, NMX-C-468-ONNCCE-2018, NMX-C-475-ONNCCE-2013 Y NMX-C-432-ONNCCE-2022

CLIENTE:	Puente vehicular "La Torrecilla" del municipio de Xicohtzinco, Tlaxcala.	*FECHA DE MUESTRE:*	
OBRA:		*FECHA DE PRUEBA:*	
UBICACIÓN:	CAMINO A DOLORES ENTRE RIO ZAHUAPAN Y BARRANCA DE SANCHEZ	*FECHA DE EMISION:*	nov-25

Sondeo: SM-2 ***Muestra No:*** M-22 ***Profundidad:*** 14.20-14.80 *m*

Prueba	w_i *(%)*	*ei*	*Gw %*	γ_{mi} *ton/m³*	σ_{conf} *kg/cm²*	σ_{desv} *kg/cm²*
1	*13.78*	*0.340*	*93.06*	*1.952*	*0.250*	*3.290*
2	*13.47*	*0.332*	*93.41*	*1.960*	*0.500*	*4.220*
3	*13.40*	*0.340*	*90.59*	*1.946*	*0.750*	*5.114*
PROMEDIO	***13.55***	***0.337***	***92.35***	***1.95***	***Ss = 2.30***	

ε	σ_{des}	σ_{des}	σ_{des}
[%]	[Kg/cm²]	[Kg/cm²]	[Kg/cm²]
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0148	0.2129	0.1610	0.0208
0.0455	0.3841	0.3114	0.1662
0.0772	0.5189	0.4566	0.2180
0.1079	0.6640	0.5913	0.2595
0.1386	0.8090	0.7260	0.3009
0.1693	0.9488	0.8606	0.3579
0.2011	1.0728	0.9899	0.5237
0.2339	1.1968	1.1140	0.6739
0.2677	1.3156	1.2536	0.8136
0.3016	1.4394	1.3878	0.9584
0.3333	1.5528	1.5272	1.1031
0.3640	1.6662	1.6665	1.2374
0.3958	1.7742	1.7955	1.3664
0.4296	1.8822	1.9191	1.5005
0.4614	1.9799	2.0375	1.6242
0.4931	2.0774	2.1558	1.7478
0.5270	2.1749	2.2687	1.8713
0.5598	2.2619	2.3816	1.9947
0.5915	2.3386	2.4842	2.1284
0.6254	2.4153	2.5866	2.2619
0.6593	2.4867	2.6889	2.3903
0.6942	2.5528	2.7861	2.5134
0.7291	2.6138	2.8728	2.6363
0.7619	2.6748	2.9595	2.7541
0.7958	2.7305	3.0357	2.8666
0.8307	2.7759	3.1171	2.9893
0.8656	2.8213	3.1831	3.0966
0.8995	2.8615	3.2540	3.2089



DESCRIPCION DEL MATERIAL.- ARENA FINA DE COLOR CAFÉ CLARO