

**enLace**  
AMBIENTAL



# ANÁLISIS DE LA MICROCUENCA DE CAJITITLÁN Y LAS REPERCUSIONES HIDROLÓGICAS POR LA CONSTRUCCIÓN DEL MACROLIBRAMIENTO

2021

# RESUMEN EJECUTIVO

MICROCUENCA DE CAJITILÁN

*ANÁLISIS DE LA MICROCUENCA DE CAJITILÁN Y LAS  
REPERCUSIONES HIDROLÓGICAS POR LA CONSTRUCCIÓN  
DEL MACROLIBRAMIENTO*



**01**    Introducción ..... 04

**02**    Análisis del sistema  
..... 06

Clima .....	14
Precipitación .....	14
Temperatura .....	14
Fisiografía .....	16
Geología .....	17
Topografía .....	22
Hidrografía .....	23
Uso de suelo y vegetación .....	24

**03**    Balance hídrico  
..... 08

Entradas .....	14
Precipitación .....	16
Escorrentía .....	17
Descargas directas .....	22
Salidas .....	23
Evaporación .....	24
Evapotranspiración.....	24

**04**    Macrolibramiento  
..... 11

**05**    Cambio climático  
..... 12

# Introducción

Se realizó un análisis hidrológico de la microcuenca de Cajititlán, el cual implica la evaluación cualitativa y cuantitativa de las relaciones entre pluviometría y fluviometría de una determinada cuenca, y de los registros que de ella se generarán, con el fin de determinar los recursos hídricos disponibles.

## INFORMACIÓN DE ENTRADA AL SISTEMA



Clima (datos históricos)



Hidrografía



Fisiografía



Uso de suelo y vegetación



Geología



Flujos no naturales de extracción o importación



Topografía



Morfometría de la cuenca

## ENTRADAS A LA CUENCA



Flujo superficial



Precipitación



Escorrentías neta



Descargas al cuerpo de agua



Infiltración

## SALIDAS DE LA CUENCA



Flujo superficial



Extracción para su consumo



Evaporación neta

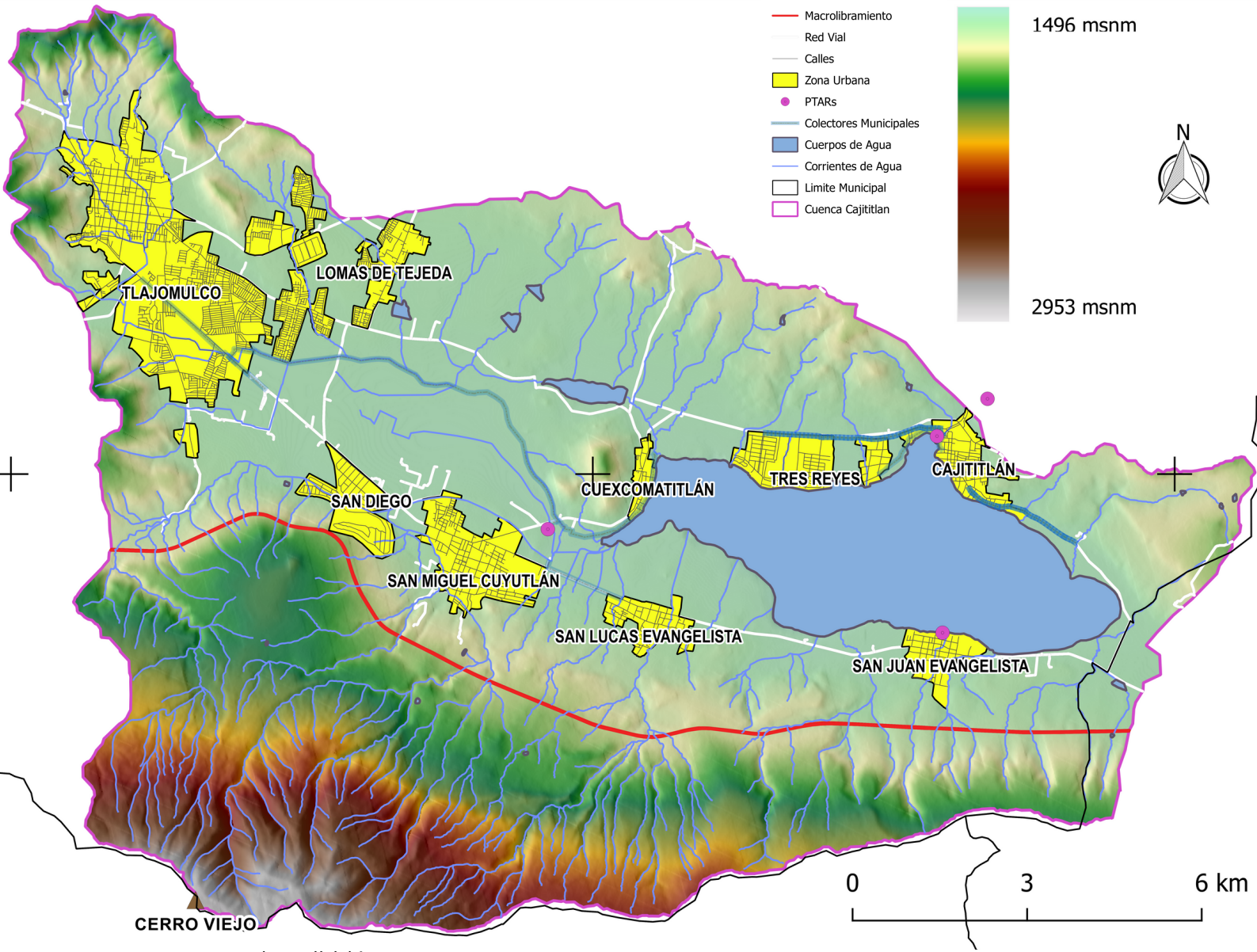


Evapotranspiración de las plantas



Exfiltración o percolación

ACUMULACIÓN O DÉFICIT



Mapa 1. Cuenca de Cajititlán

Fuente: Enlace Ambiental y Proyectos S.C.



Fotografía 1. Cuenca de Cajititlán en el 2019

Fuente: Google Earth.

# Análisis del sistema

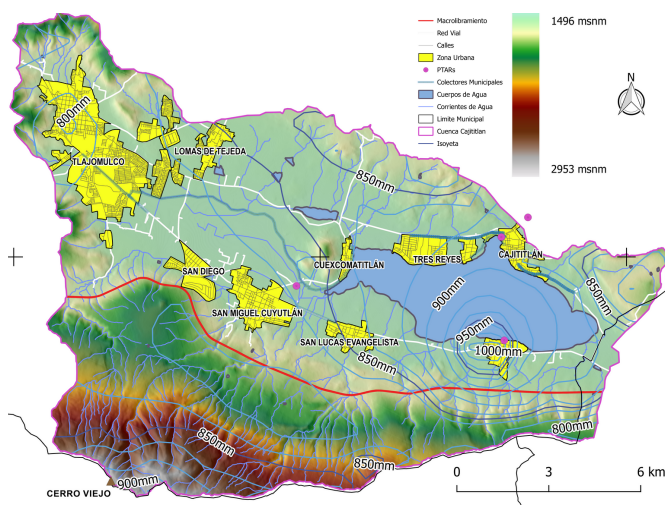
El análisis del sistema incluye desde el clima (por datos históricos), la fisiografía, la geología, la topografía, la hidrografía, y el uso de suelo y vegetación.

## Clima

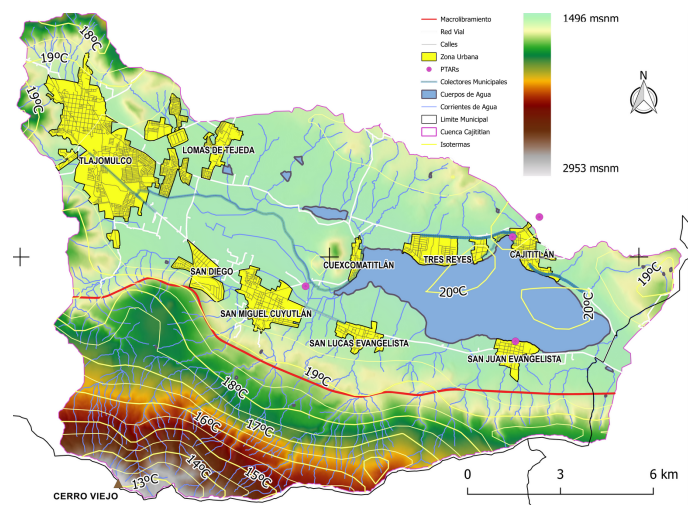
El clima predominante de la microcuenca de acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1980) es A(C)(w1) (w) a (e) g, lo cual indica un semi cálido (clima de transición entre el clima cálido y el templado) con temperatura media anual por encima de los 18 °C.

La precipitación media anual para la microcuenca es de 778 mm/año a 1010 mm/año, la zona con mayor precipitación es al sur de la laguna de Cajititlán y en Cerro Viejo. El mes con menor precipitación es marzo, con un rango de 1 mm/mes a 6 mm/mes, mientras que el mes con mayor precipitación es julio, con un rango de 191 mm/mes a 227mm/mes.

La temperatura media anual para la microcuenca es de 12.5°C a 20°C. Los meses más fríos son enero y diciembre, con rangos de 9°C a 17°C, como promedio mensual. Los meses más cálidos son mayo y junio, con un rango de 15°C a 23°C, como promedio mensual, según el Atlas Climático Digital de México que recopila la información media mensual desde el año 1902 al 2015, publicado en el 2018.



Mapa 2. Precipitación media de la Cuenca de Cajititlán



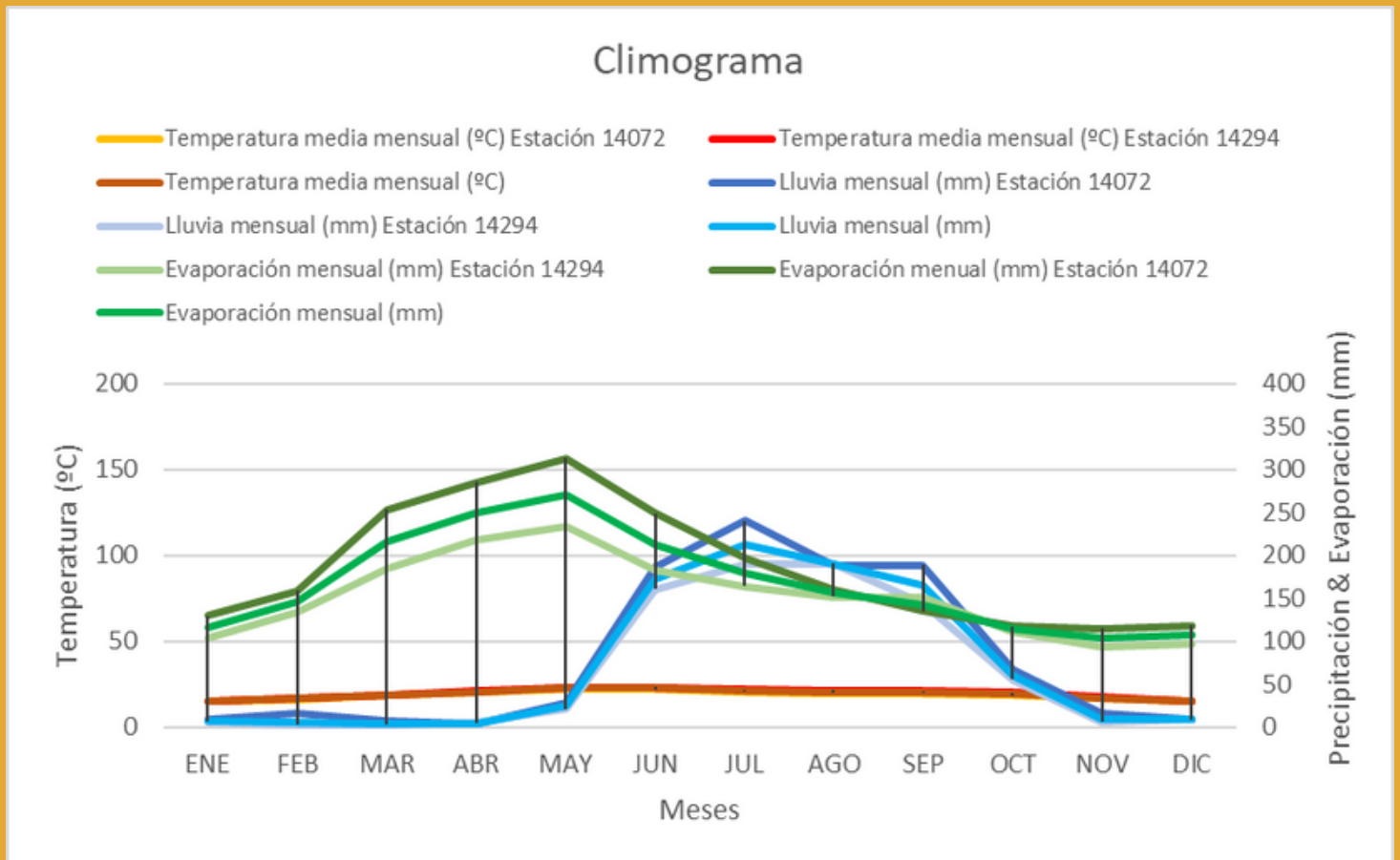
Mapa 3. Temperatura media de la Cuenca de Cajititlán

Fuente: Enlace Ambiental y Proyectos S.C.

## Climograma

Por la distribución de la temperatura y la precipitación, se puede asegurar que el periodo de secas es de noviembre a mayo (ya que la precipitación es menor a la temperatura media), mientras que el periodo húmedo es de junio a octubre (ya que la precipitación es mayor a la temperatura media).

Por la distribución de la evaporación, se puede observar que el valor de la evaporación disminuye en época de lluvias, sin embargo, el resto del año es mayor a la precipitación, lo que indica que la evaporación es un elemento fundamental para el balance hídrico de salida, y que tendrá un valor muy representativo en los elementos de salida del agua, según la información tratada de las dos estaciones climatológicas operadas por CONAGUA más cercanas a la cuenca.



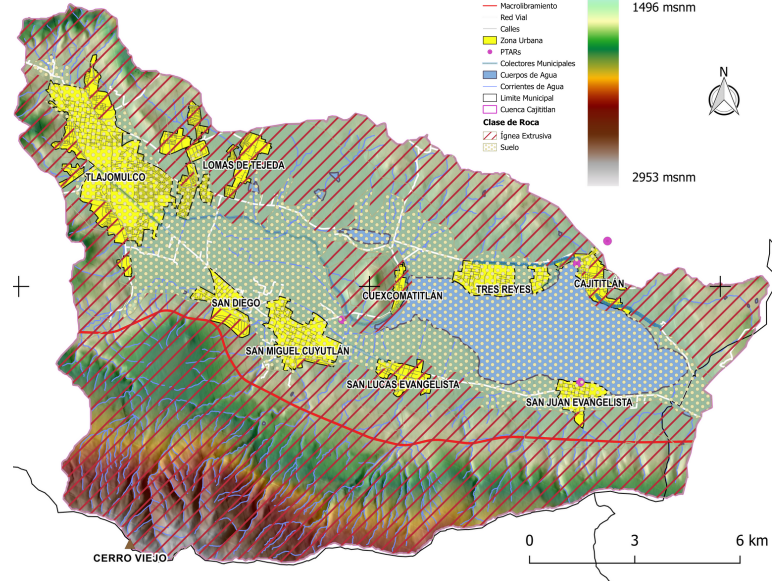
Gráfica 1. Climograma de la cuenca de Cajititlán  
Fuente: Enlace Ambiental y Proyectos S.C.





## Fisiografía

La microcuenca de Cajititlán se encuentra en la provincia fisiográfica del eje Neovolcánico, dentro de la subprovincia de Chapala. El sistema de toposformas se divide dentro del territorio como: 46.8% de la sierra con ladera de escarpa de falla, 32.2% de llanura aluvial y 12.8% de sierra volcánica de laderas tendidas



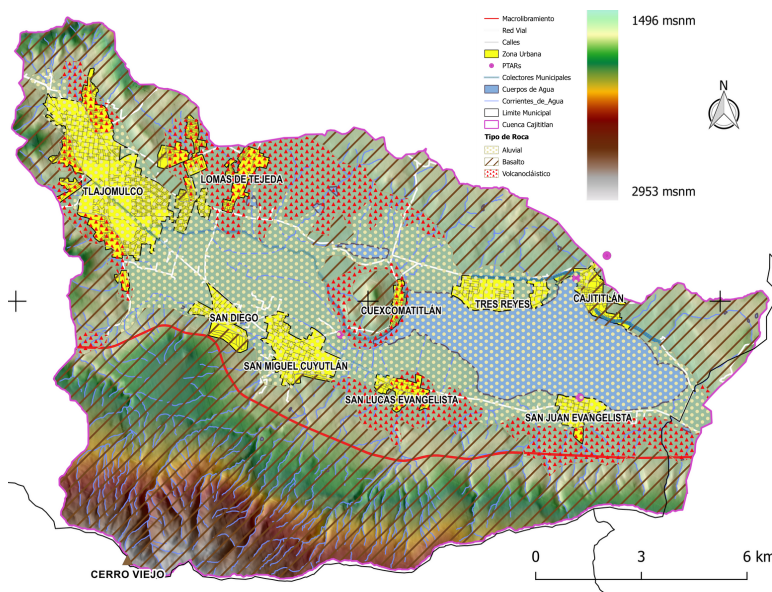
Mapa 5. Clase de roca de la microcuenca de Cajititlán

## Geología

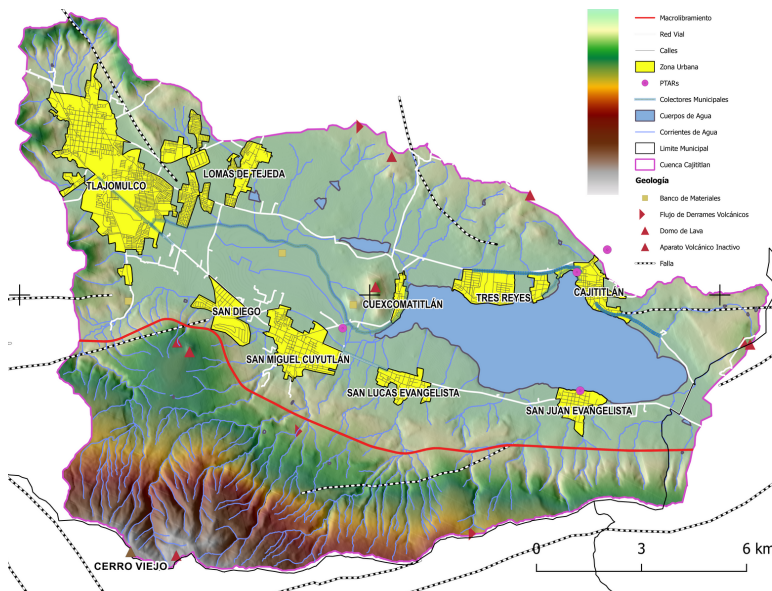
Se revisaron los registros sísmicos, el más cercano se encuentra aproximadamente 24 km al oeste de la laguna, fue detectado el 13 de octubre del 2001 en la localidad de Buenavista, con una magnitud de 3.8, y otro a 28 km al oeste, fue detectado el 16 de junio del 2004 en la localidad de Acatlán de Juárez, con una magnitud de 3.9. Esto sugiere que, aunque es una zona montañosa, volcánica y cerca de fallas, no se ha tenido la presencia de muchos sismos, ni una alta magnitud en los mismos.

La microcuenca de Cajititlán se compone principalmente de roca ígnea extrusiva con un 69.5% el resto es clasificado como suelo.

Se identifican 3 tipos de rocas, basáltica con 55.2% del área de la microcuenca, volcanoclástica con el 14.2% y aluvial con 30.5%. El tipo de roca volcanoclástica y Aluvial son de la era Cenozoica, sistema Cuaternario, mientras que el basalto es Plioceno-Cuaternario.



Mapa 6. Tipo de roca y edad de la microcuenca de Cajititlán



Mapa 7. Fallas, volcanes y otros elementos geológicos de la microcuenca de Cajititlán

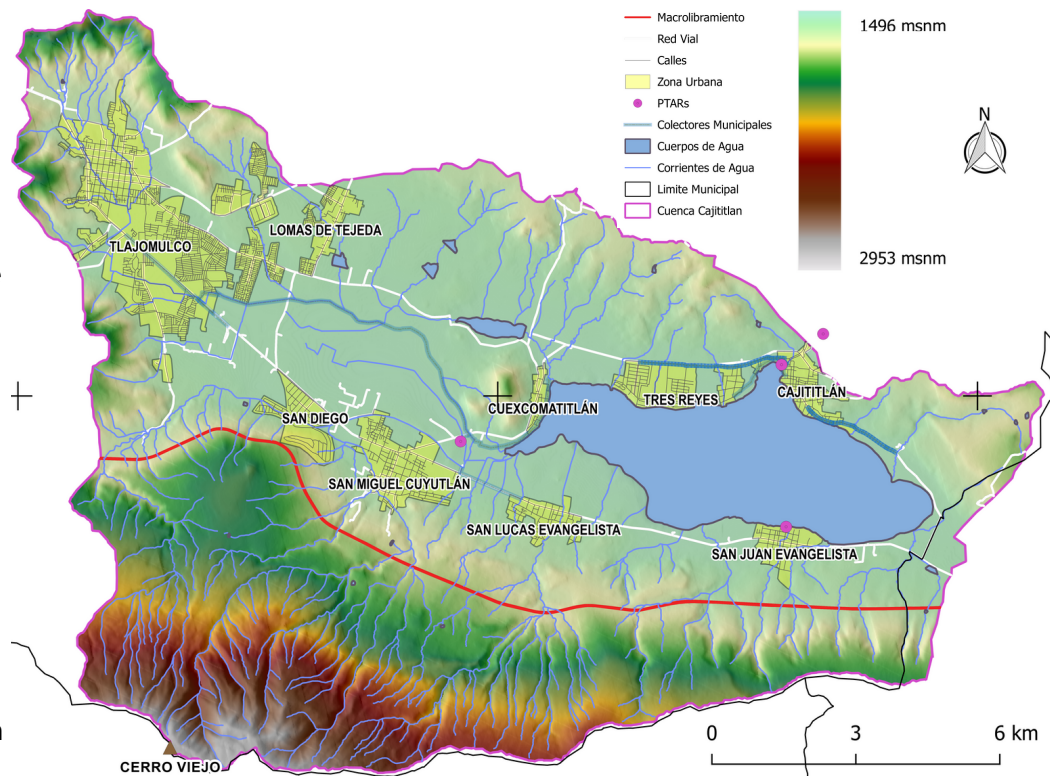
Fuente: Enlace Ambiental y Proyectos S.C.

## Topografía

El nivel más bajo de la microcuenca es de 1495 msnm, mientras que el nivel más alto fue de 2953 msnm, en la zona montañosa de Cerro Viejo. Cerro Viejo tiene una altitud máxima de 2970 msnm.

La pendiente, junto con la vegetación, afectan el proceso de escorrentía de la zona.

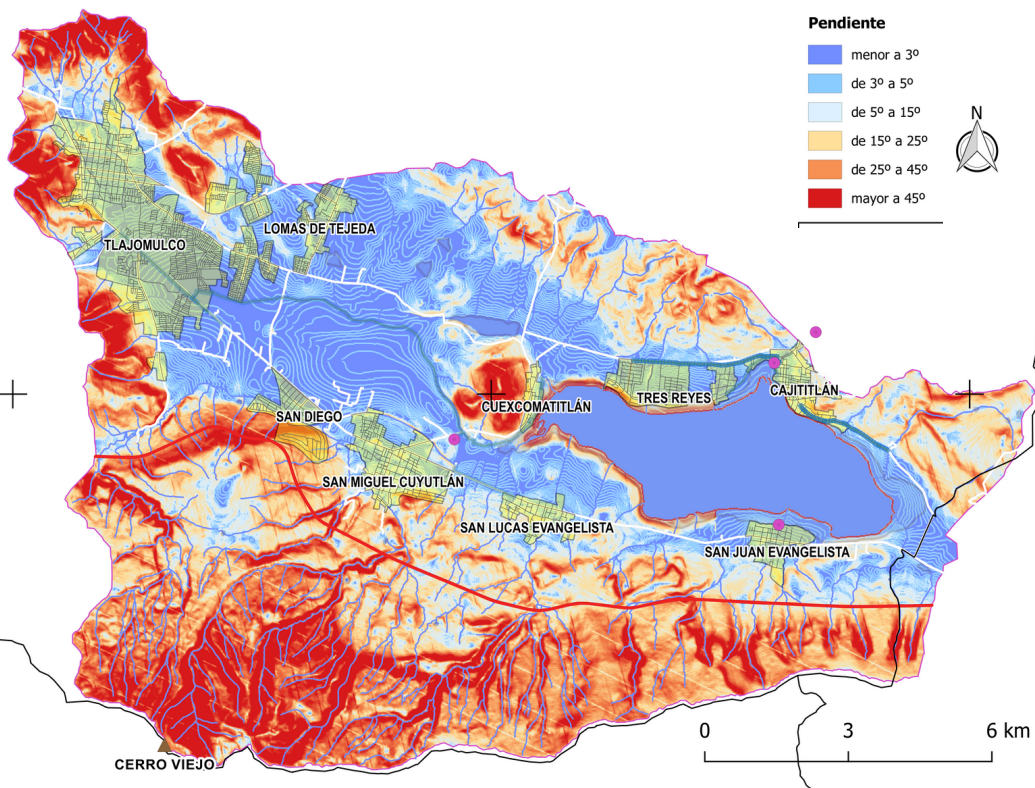
Entre mayor sea la pendiente, menor será la infiltración al subsuelo y mayor será la escorrentía, en cambio entre menor sea la pendiente (0-5%) mayor será la infiltración.



Mapa 8. Modelo digital del terreno de la microcuenca de Cajititlán

La vegetación generalmente retrasa el proceso de generación de escorrentías, por lo que facilita la infiltración.

Las zonas montañosas ubicadas al sur y noroeste de la laguna son principalmente empinadas, por lo que, si hay poca vegetación, la mayor parte del agua de lluvia escurrirá por las laderas, en cambio, en la zona céntrica de la microcuenca, de norte a este, y una pequeña zona al suroeste de la localidad de San Diego, que son área de poca pendiente. Se presenta infiltración en buena medida a través de las fracturas de las rocas y de los depósitos de pie de monte (CONAGUA, 2015, pág. 10).



Mapa 9. Pendiente de la microcuenca de Cajititlán

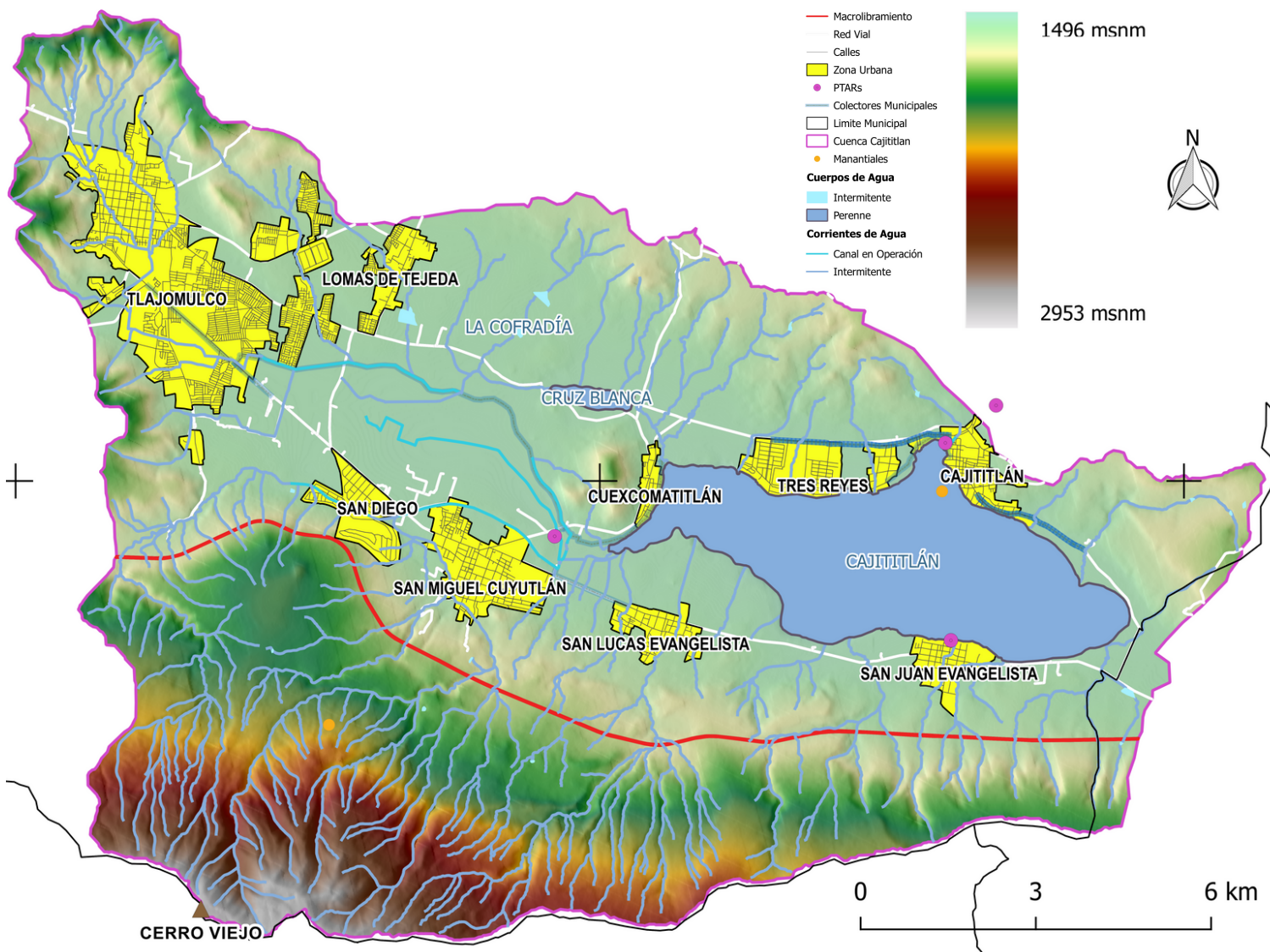
## Hidrografía

Según el sistema de cuencas de CONAGUA 2019, la microcuenca de Cajititlán se encuentra dentro del sistema de Cuenca Río Santiago, en la Región Hidrológica Administrativa (RHA) IIIV con nombre Lerma-Santiago-Pacífico, al igual que la Región Hidrológica (RH) 12, Lerma Santiago, en la subsección de la cuenca R. Santiago-Guadalajara (RH12E), dentro de la subcuenca E de R. Corona - R. Verde (RH12Eb).

La microcuenca de Cajititlán es una cuenca endorreica de agua dulce, es decir que no tiene salidas naturales y se alimenta principalmente del agua de lluvia.

Dentro de la microcuenca de Cajititlán se observan 2 manantiales, los dos manantiales, por sus propiedades fisicoquímicas fueron calificados como agresivos.

La porosidad del material geológico, la baja precipitación y la juventud del relieve hacen que el área estudiada carezca de condiciones que favorezcan la presencia de ríos o arroyos perennes (SEMADET & GEOSÍNTESIS SC., 2015, pág. 38). Las corrientes de agua son principalmente intermitentes, mientras que las otras son canales actualmente en operación.



Mapa 10. Hidrografía de la microcuenca de Cajititlán  
Fuente: Enlace Ambiental y Proyectos S.C.

## Uso de Suelo y Vegetación

El uso de suelo y vegetación muestra la distribución del uso del suelo agrícola, de la vegetación natural e inducida del país, además indica el uso pecuario y forestal y otros usos que se presentan en el territorio relacionados con la cubierta vegetal.

Se observa que en las primeras series (I & II) el área identificada como matorral cambia a selva baja caducifolia en las series posteriores.

En la serie I de 1992 no se observan zonas urbanas, además de que la laguna de Cajititlán posee una forma un tanto diferente a la actual y no se identifican otros cuerpos de agua (posiblemente por ser una estimación a gran escala).

En la serie II de 1997, se integran las zonas urbanas de Tlajomulco, Cajititlán, Cuexcomatitlán y San Miguel Cuyutlán; la laguna cambia a una forma más parecida a la actual y se identifican otros cuerpos de agua.

No se observan cambios relevantes en el periodo de 1997 a 2003, es decir en la serie III.

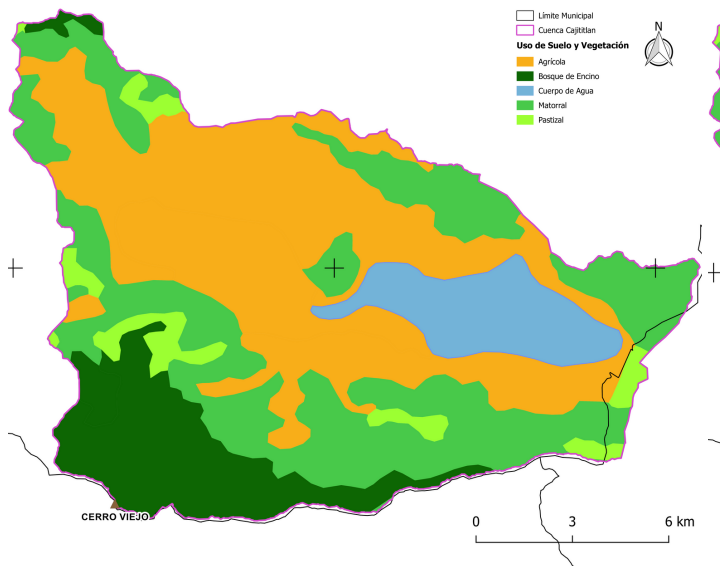
En la serie IV de 2010, se observa que el área agrícola se expande principalmente hacia el sur, eliminando la zona de pastizal que existía anteriormente.

En la serie V de 2003, se observa un aumento en la zona urbana, principalmente en Tlajomulco y San Miguel Cuyutlán.

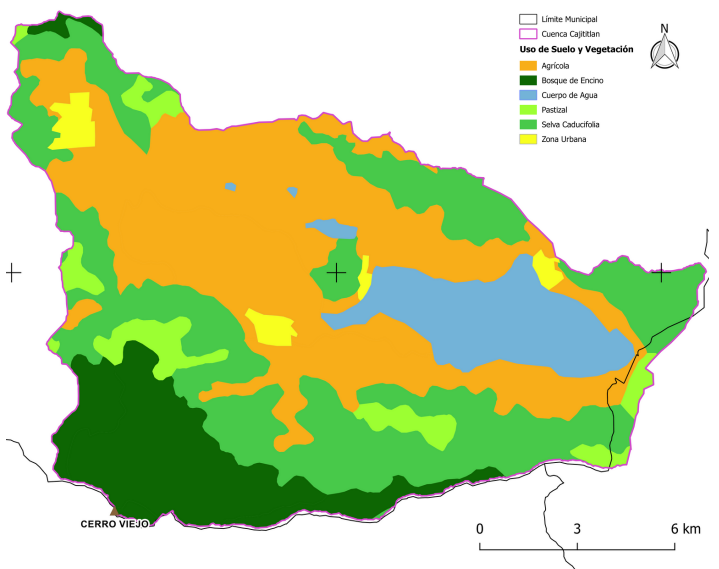
Finalmente en la serie VI de 2017 no se observan cambios notables conforme a la serie anterior.

En general, se observa una tendencia a disminuir el área de la selva baja caducifolia, para aumentar la zona urbana, al igual que la zona agrícola.

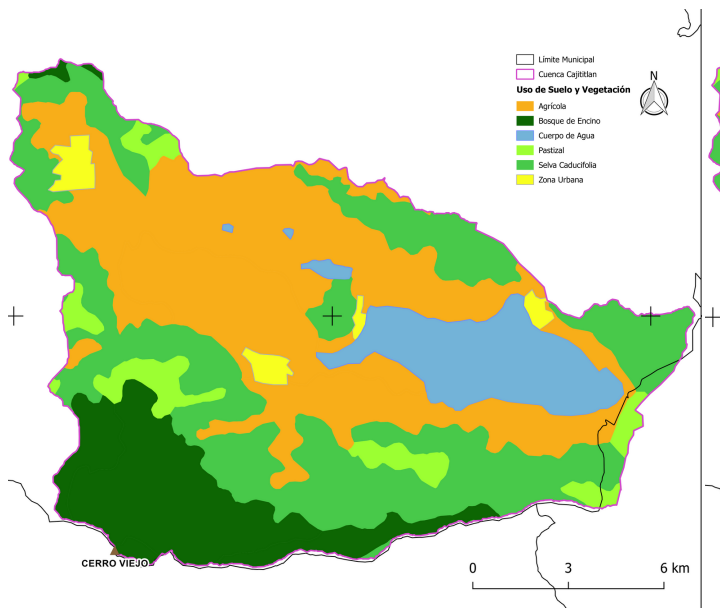




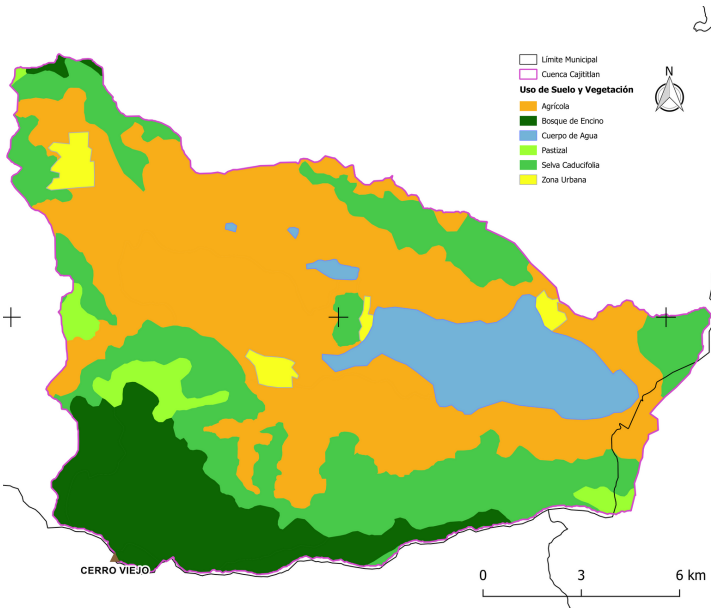
Mapa 11. Uso de suelo y vegetación. Serie I, 1992, de la microcuenca de Cajititlán



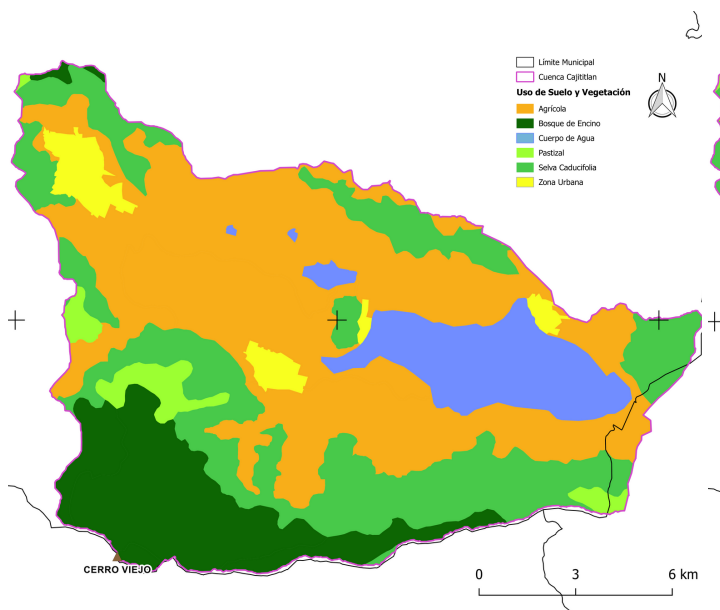
Mapa 12. Uso de suelo y vegetación. Serie II, 1997, de la microcuenca de Cajititlán



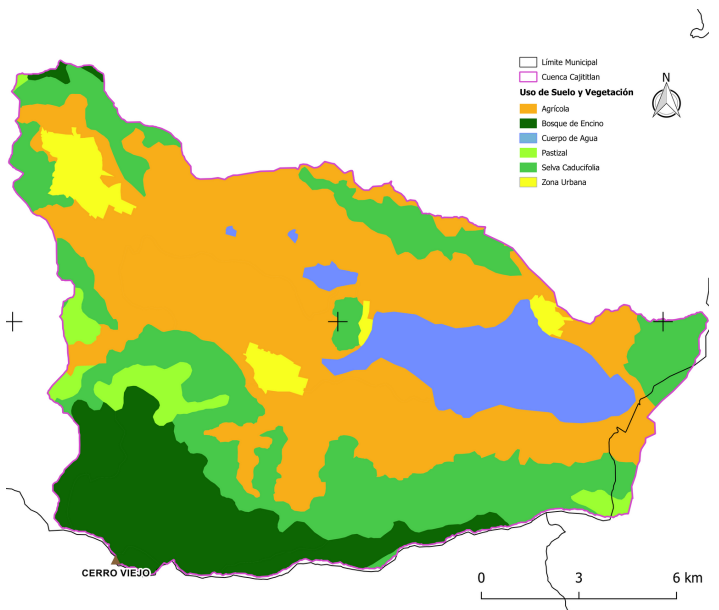
Mapa 13. Uso de suelo y vegetación. Serie III, 2003, de la microcuenca de Cajititlán



Mapa 14. Uso de suelo y vegetación. Serie IV, 2010, de la microcuenca de Cajititlán



Mapa 15. Uso de suelo y vegetación. Serie V, 2013, de la microcuenca de Cajititlán



Mapa 16. Uso de suelo y vegetación. Serie VI, 2017, de la microcuenca de Cajititlán

Tabla 1. Cambio de uso de suelo y vegetación  
 Fuente: INEGI, analizado por Enlace Ambiental y Proyectos S.C.

Uso de Suelo y Vegetación (km2)	Serie I 1992	Serie II 1997	Serie III 2003	Serie IV 2010	Serie V 2013	Serie VI 2017
Área agrícola	82.39	75.89	75.05	90.93	88.46	88.19
Bosque de encino	28.00	28.23	29.24	29.24	29.24	29.24
Cuerpo de agua	17.10	19.44	19.43	19.43	19.75	19.75
Matorral	65.57	64.32	0.00	0.00	0.00	0.00
Pastizal	9.13	10.31	10.44	5.77	5.77	6.50
Selva caducifolia	0.00	0.00	64.04	52.82	51.99	51.53
Zona urbana	0.00	4.01	4.00	4.00	6.98	6.98









# BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico está enfocado en la laguna de Cajititlán, por lo que se realizó un balance básico para la microcuenca, pero suficiente para los fines del proyecto.

El objetivo general es demostrar si la laguna, en sus valores promedio de entradas y salidas, está ganando o perdiendo agua.

Parte del procedimiento está basado en la NOM-011-CONAGUA-2015, como el tratamiento de información de la precipitación, por estaciones climatológicas y el escurrimiento en función del tipo y uso de suelo y del volumen de precipitación anual, con las debidas modificaciones ya que la cuenca de Cajititlán es una cuenca endorreica.

La figura muestra los elementos aplicables a la laguna.

## ENTRADAS A LA LAGUNA



Flujo superficial



Precipitación



Escorrentías neta



Descargas al cuerpo de agua



Infiltración

## SALIDAS DE LA LAGUNA



Flujo superficial



Extracción para su consumo



Evaporación neta



Evapotranspiración de las plantas



Exfiltración o percolación

## ACUMULACIÓN O DÉFICIT

Figura 2. Balance específico de la laguna de Cajititlán  
Fuente: Enlace Ambiental y Proyectos S.C.

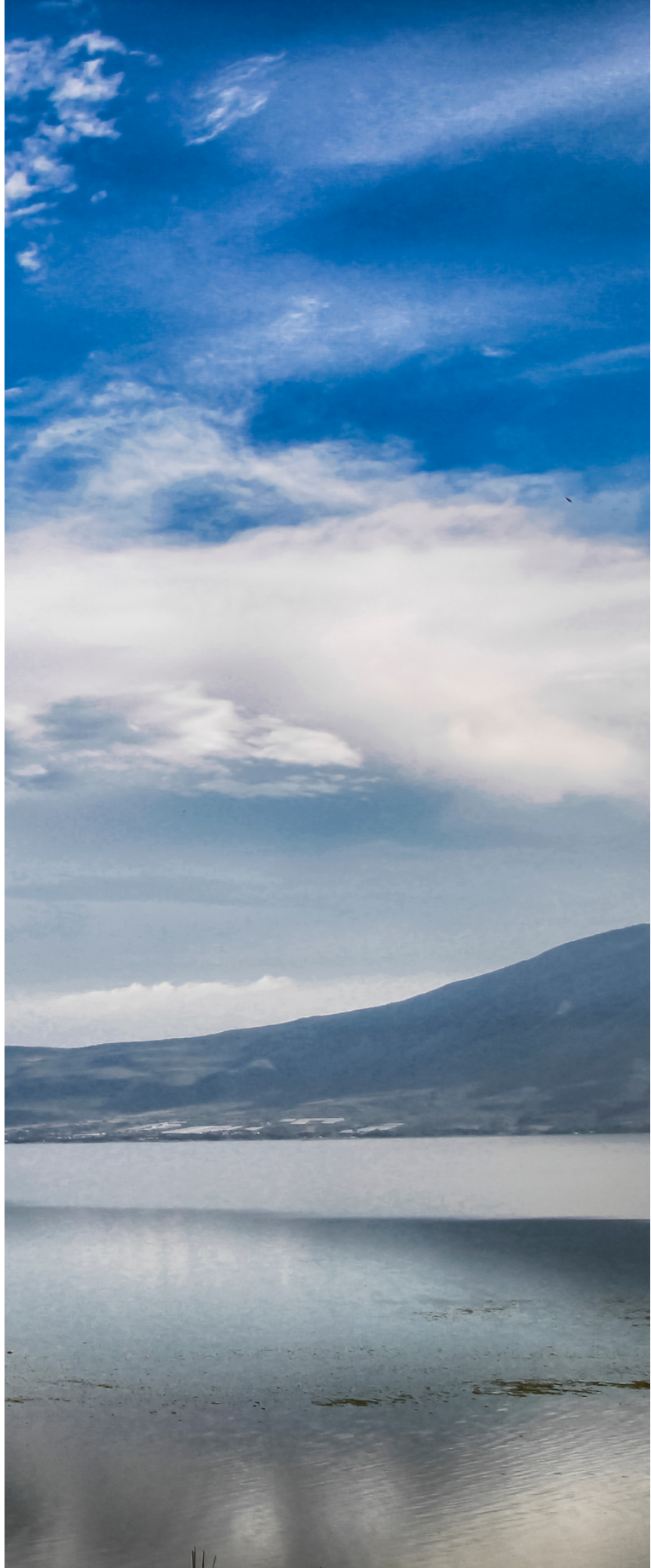


No se considera un flujo superficial de entrada o de salida, ya que no existen ríos que entren o salgan de la microcuenca, por su característica de microcuenca endorreica (cuenca cerrada) y solo existen las escorrentías que se forman dentro de la misma, pero estos serán considerados dentro de los cálculos de escorrentía.

La evapotranspiración de las plantas como lirios o junco que obtienen agua del lago, y liberan agua a la atmósfera por las hojas que se encuentran en arriba de o en el espejo de agua del lago, las acciones antropogénicas para el control de malezas han permitido que la laguna de Cajititlán tenga actualmente un espejo de agua del 95% de su superficie (Godínez-Ramiro et al., 2014), lo cual concuerda con lo observado en las imágenes satelitales.

Respecto a las entradas o salidas por Infiltración o Exfiltración de la laguna de Cajititlán, estas se consideran como mínimas ya que después de la capa de arcillas lacustres, se encuentra una capa de basalto con espesor promedio de 120 m, casi impermeable (CONAGUA, 2015), aunque es posible que exista un intercambio de agua por la capa de arcillas poco consolidadas, este se considerará mínimo comparado con el valor de las otras salidas.

Por lo anterior el balance hídrico, solo analiza las entradas, por precipitación, escorrentía y descargas directas, así como las salidas, por evaporación, evapotranspiración y extracción. De esta forma se puede decir si la cuenca cuenta con acumulación o déficit.



## Entradas

Las entradas para la laguna de Cajititlán consideradas son precipitación, escorrentía y descargas directas..

### Precipitación

Se considera solamente la precipitación sobre el cuerpo de agua, en este caso, la laguna de Cajititlán.

Se consideró una precipitación media anual de 872.4mm/año o 0.872m/año.

El espejo de agua de la laguna es en promedio de 17.44km<sup>2</sup>.



### Descargas directas

De las descargas identificadas en la laguna, las más significativas son las PTARs.



### Escorrentía

La microcuenca de Cajititlán es una cuenca endorreica y no tiene entradas o salidas por ríos provenientes de otras cuencas. Se consideran las aportaciones a la laguna por los ríos perennes que tiene la microcuenca, se analiza la precipitación en la cuenca, el tipo de suelo y vegetación.

Se calculan por el método de la NOM-011-CONAGUA-2015.



Las salidas para la laguna de Cajititlán consideradas son evaporación y evapotranspiración.

## Salida



### Evaporación

La evaporación se obtuvo con las estaciones meteorológicas, las cuales reportaron un valor de evaporación promedio anual de 2,021mm. El espejo de agua de la laguna es según el histórico promedio de 17.44km<sup>2</sup>.



### Evapotranspiración

La evapotranspiración en la laguna fue calculada tomando en cuenta la vegetación sobre la superficie del lago. Se tomó el valor del 5% de la superficie de la laguna (Godínez-Ramiro et al., 2014), lo cual concuerda con lo observado en el histórico de las imágenes satelitales. Para el valor de la evapotranspiración, se utilizó el valor proporcionado en el estudio del acuífero de Cajititlán (CONAGUA, 2015) con un valor de 872 mm/año.

## Acumulación o déficit

Por las condiciones establecidas en este estudio, que representan la normalidad climática y las acciones antropogénicas actuales, se obtiene el siguiente resultado del balance, la laguna de Cajititlán en condiciones promedio se encuentra en acumulación.

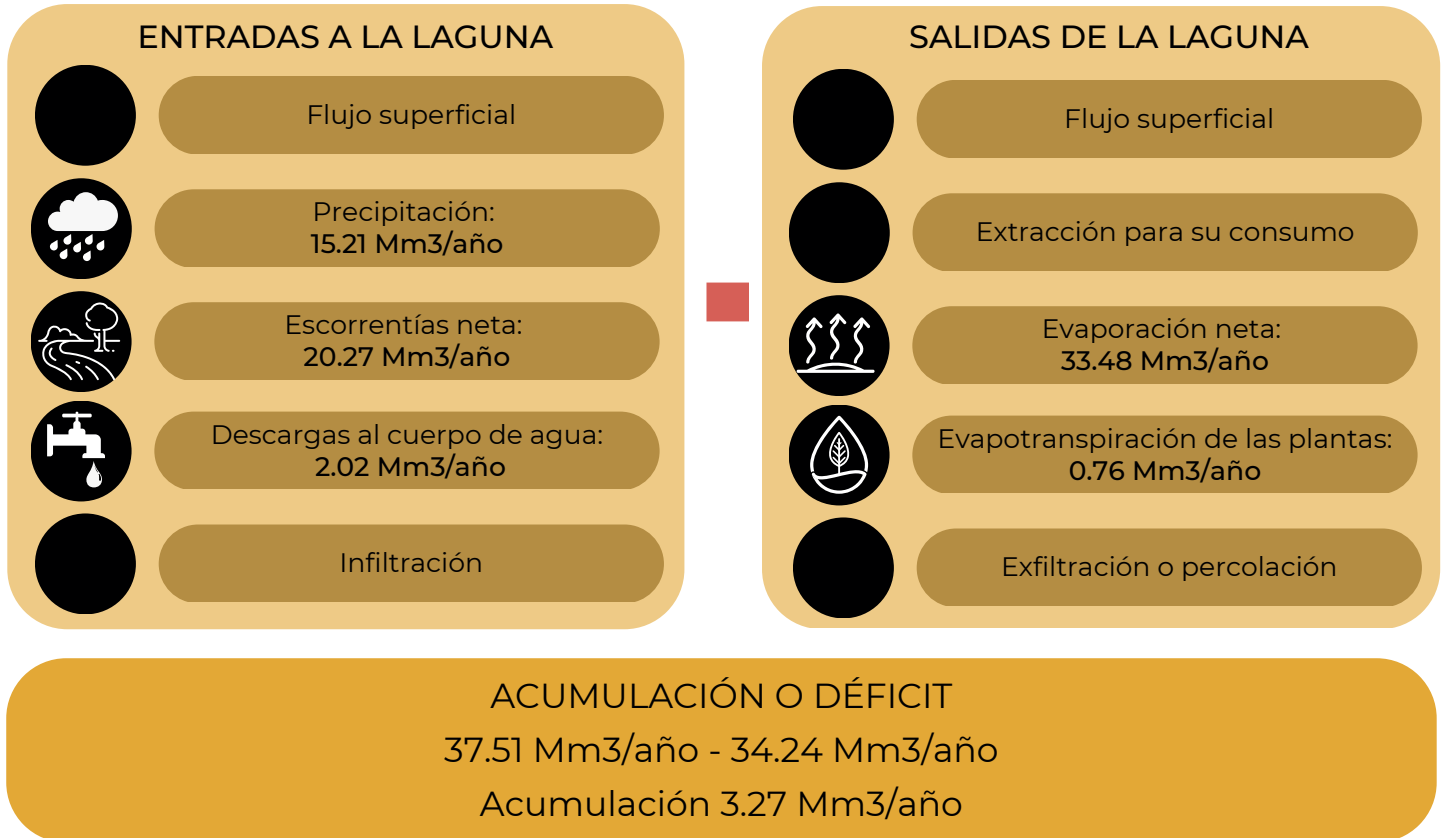


Figura 3. Resultados del balance de la laguna de Cajititlán  
Fuente: Enlace Ambiental y Proyectos S.C.



# Macrolibramiento

En esta sección se discute si las escorrentías han sido afectadas por la construcción del macrolibramiento, y que por tal cambio se ha modificado el balance hidrológico de la laguna de Cajititlán, en específico las escorrentías que ingresan a la laguna que general más de la mitad de las entradas de la microcuenca.

## Antecedentes del macrolibramiento.

El proyecto de crear un Macrolibramiento para la ciudad de Guadalajara inició en el 2004 y se esperaba terminar en el 2016, con una extensión de 111 km, es una carretera federal de doble carril y pavimentada. Fue oficialmente inaugurado en el 2018 por Enrique Peña.

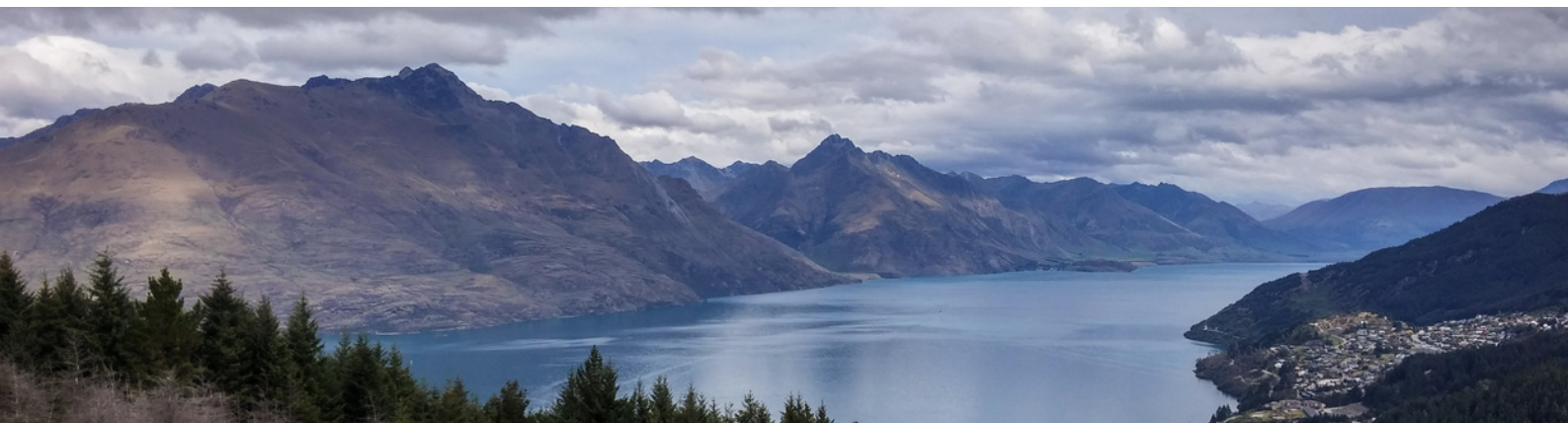
Según la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) del libramiento (2004, pág. 20) se tenían planeados 309 obras de drenaje menor, 5 cruces sobre canales de irrigación, 3 puentes y 13 pasos superiores que permiten el tránsito de vehículos, escurrimiento de agua y el paso de ganado y fauna en toda su extensión.

Para el buen funcionamiento, ya sea hídrico o de otra índole del Macrolibramiento, se tuvo planeado crear un programa de mantenimiento que incluyera (MIA Libramiento, 2004, pág. 127):

- La limpieza continua de las obras de drenaje para evitar su obstrucción y conservar en óptimas condiciones su funcionamiento.
- Riego, trasplante, deshierbe y poda de vegetación, para mantener el paisaje de la carretera sin que obstruya la circulación o visibilidad (...).
- Limpieza continua de las cuentas para remover la acumulación de los residuos que pudieran

El Macrolibramiento de Guadalajara, posé un tramo de aproximadamente 19 km dentro de la microcuenca de Cajititlán.

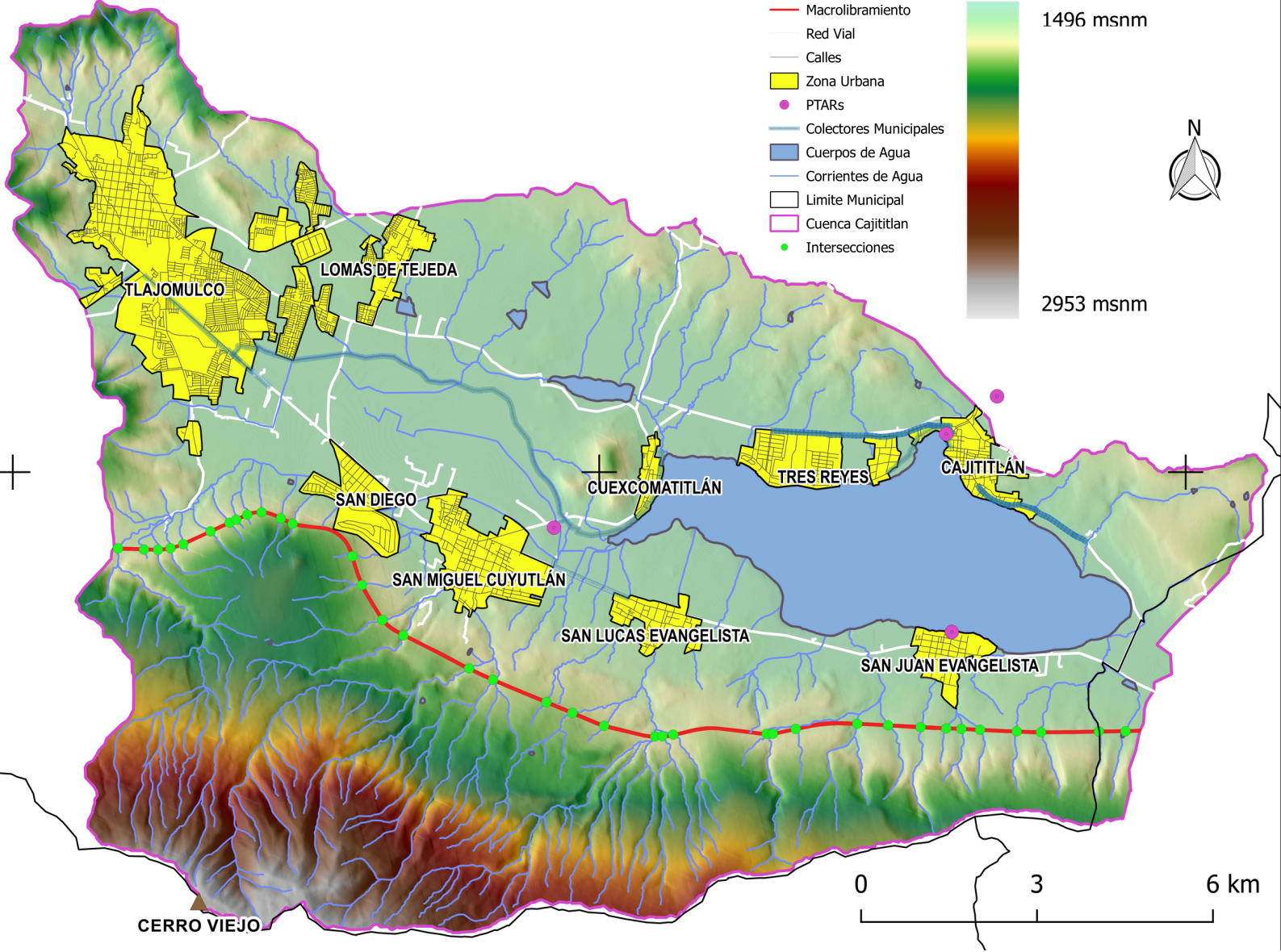
Se observan 37 intersecciones entre los ríos naturales de la zona y el Macrolibramiento, de las cuales 9 son intersecciones con escorrentías con menos de 300 metros de formación antes de cruzar con el macrolibramiento (según la hidrografía de INEGI).











Mapa 17. Intersecciones entre los ríos y el macrolibramiento de la microcuenca de Cajititlán.  
Fuente: Enlace Ambiental y Proyectos S.C.



## Visita de campo

Para observar el estado de las obras de drenaje, se visitaron 44 puntos. Se observa que la mayor parte de las obras que redireccionan los cauces se encuentran sin obstrucciones visibles.

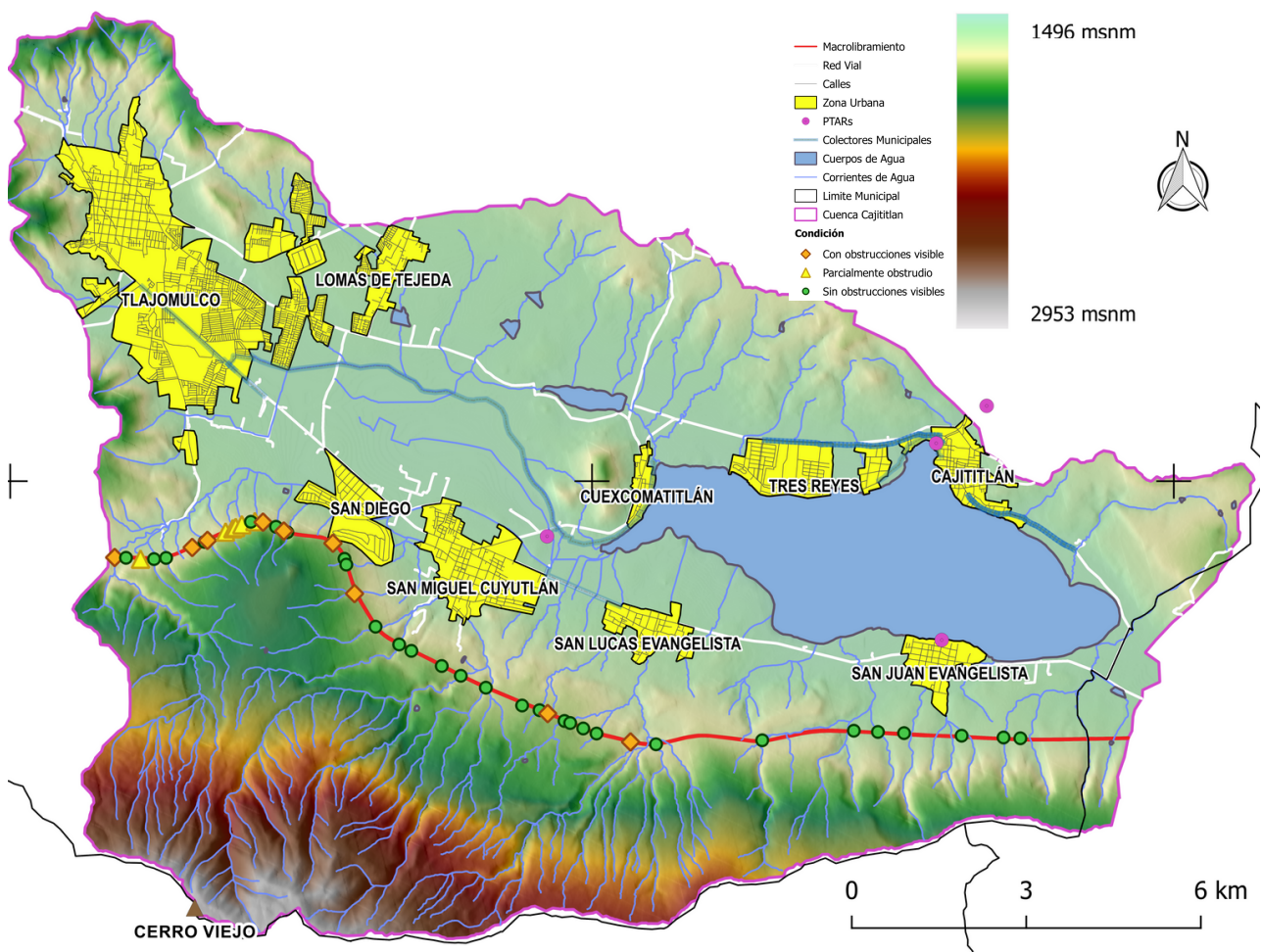
Se desconocen las repercusiones totales ocasionadas en los escurrimientos por las obstrucciones vistas en campo. Sin embargo, se puede realizar un análisis hipotético respecto de la proporción de escurrimiento obstruido en la zona de interés.

La superficie montañosa que puede ser afectada por el macrolibramiento tiene un área de 63.46km<sup>2</sup>, siguiendo la misma metodología para obtener los escurrimientos y

conservando el valor del coeficiente de escorrentía para toda la microcuenca, se obtiene que esta sección aporta con 6.96Hm<sup>3</sup> que representan el 34.3% de todas las escorrentías y el 18.6% de todas las entradas hídricas a la laguna de Cajititlán.

Por la situación en la que se encontraron las obras de drenaje, la mayoría se encontró sin obstrucción visible y aquellas en las que se observó obstrucción, fueron principalmente por basura, rocas y vegetación.

Por lo observado en la visita de campo, se considera que el valor máximo de obstrucción es del 2%, que representa 0.07Hm<sup>3</sup> que no ingresan a la laguna, por lo que el macrolibramiento no es obstructor principal de las entradas a la laguna.



Mapa 18. Puntos visitados en campo y su condición  
Fuente: Enlace Ambiental y Proyectos S.C.



# Cambio Climático

El cambio climático se refleja en variaciones como la precipitación o la temperatura (cambios que provocan desastres naturales) por ello existen diferentes modelos que tratan de predecir el escenario climático adverso, entre estos modelos están el GFLD-CM3 (modelos definidos en la 5a Comunicación Nacional de México para la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático) para un horizonte temporal de futuro cercano (2015-2039), ya que existen de diferentes horizontes. Se trabajó con los escenarios de la temperatura media y precipitación mensual con un forzamiento radiativo<sup>4</sup> o Ruta de Concentración Representativa (RCR) de 8.5, el cual es el más alto, para todos los meses.

## Precipitación

La precipitación media anual tendría un rango de 885 mm/año en las zonas montañosas a 727 mm/año en las zonas urbanas y del valle. Estos valores, comparados con los actuales (778 mm/año a 1010 mm/año), son considerablemente menos, ya sea por una diferencia de casi 50 mm/año en el rango más bajo hasta 125 mm/año en el rango más alto.

## Temperatura

La temperatura media anual tendría un rango de 13.7°C en las zonas montañosas a 21.4°C en las zonas urbanas y del valle. Estos valores, comparados con los actuales (12.5°C a 20.1°C), son un grado Celsius más alto.

Esto significa que, en un periodo generacional, el microclima regional tendrá un comportamiento distinto, en donde la precipitación continuará siendo en los meses de junio a septiembre y en los demás meses, existirá poca o nula precipitación, por lo que en general se verá una disminución anual de precipitación en la zona y las temperaturas tenderán a ser más cálidas, donde en las horas de extremada radiación solar estas serán extremas.

El cambio de temperatura y precipitación afectará directamente el comportamiento de entradas pluviales a la microcuenca y las salidas por evaporación y la evapotranspiración actual, al igual que algunas dinámicas agrícolas que dependen del ciclo anual conocido.

Considerando solamente la precipitación, para las entradas a la microcuenca, si la precipitación anual cambia de ser 872.4mm/año a ser 816 mm/año (como valor medio geométrico), por el cual existiría un cambio donde a disminuir el 6.5% o 2.29Hm<sup>3</sup> respecto a las entradas (precipitación directa y escurrimiento), es decir de entrar.

Cabe resaltar que, por los efectos del cambio climático, en donde disminuye la precipitación anual y aumenta la temperatura media anual, es de esperar que las salidas por evaporación y evapotranspiración aumenten considerablemente, por lo que las afectaciones en el balance hídrico serán aún más importantes en el futuro cercano.



Ing. Rigoberto Román López  
Mtro. Eduardo Parra Ramos  
Ing. Andrea Camarena Covarrubias

