



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CENTRO DE EDUCACIÓN CONTINUA

DIPLOMADO EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL

TRABAJO A REALIZAR:

**“ESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN CONTRA
INUNDACIONES EN LA CUENCA SURESTE DEL VALLE DE
QUERÉTARO”**

Asesores:

Dr. Guadalupe Moisés Arroyo Contreras
Dr. Fco. Ramón Zúñiga Dávila Madrid

Elaboraron :

Ing. José Antonio Nungaray Núñez
Ing. Alfonso Gabriel Lira González
Ing. Erick Rodríguez Estrada
Ing. Roberto Minjarez García
Ing. Abraham Aranda Plata

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QRO. JULIO DEL 2000

BIBLIOTECA
CENTRO DE EDUCACIÓN CONTINUA

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	3
2.	ANTECEDENTES.....	4
2.1	DESCRIPCIÓN DE LAS SUBCUENCAS.....	4
2.1.1	<i>La Cuesta China y el Cerro Cimatario.....</i>	4
3.	OBJETIVO.....	9
4.	DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA INTEGRAL DE LA CUENCA.....	10
4.1	PROBLEMAS VINCULADOS CON EL MAL APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS NATURALES EN LA CUENCA Y SUS CONSECUENCIAS ECONÓMICAS Y SOCIALES.....	10
4.2	PROBLEMAS RELACIONADOS CON LA AUSENCIA DE SERVICIOS ESENCIALES Y ASISTENCIA TÉCNICA.	11
4.3	CAUSAS DE LOS PROBLEMAS.....	11
4.3.1	<i>Físico - naturales.....</i>	11
4.3.2	<i>Institucionales.....</i>	12
4.3.3	<i>Sociales y económicos.....</i>	12
4.4	ENFOQUE DE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN Y GESTIÓN EN LA CUENCA.	12
4.6	USO ACTUAL DE LA TIERRA.....	13
4.7	CUBIERTA DEL BOSQUE O PASTIZAL.....	13
5.	CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO INTEGRAL.....	14
5.1	CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA A NIVEL ESTADO.....	14
5.1.1	<i>Aspectos físicos y ambientales.....</i>	14
5.1.2	<i>Aspectos socioeconómicos.....</i>	16
5.1.3	<i>Aspectos agroeconómicos.....</i>	17
5.2	CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA A NIVEL MUNICIPAL.....	18
5.2.1	<i>Aspectos físicos y ambientales.....</i>	18
5.2.2	<i>Aspectos socioeconómicos.....</i>	20
5.2.3	<i>Aspectos agroeconómicos.....</i>	20
6.	PROPUESTA DE SOLUCIÓN EN CUENCA PILOTO.....	22
6.1	CORRECCIÓN DE TORRENTES Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES.....	23
6.1.1	<i>Corrección de torrentes.....</i>	23
6.1.2	<i>Clasificación de torrentes y acciones de corrección.....</i>	24
6.1.3	<i>Estabilización de cauces.....</i>	25
6.1.4	<i>Técnicas de estabilización y corrección de cauces y torrentes.....</i>	25
6.1.5	<i>Generalidades de diseño de diques.....</i>	31
6.2.	MODELO FÍSICO.....	41
6.2.1	<i>Obras propuestas en el modelo.....</i>	42
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
8.	ANEXO FOTOGRÁFICO.....	47
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	59

1. INTRODUCCIÓN

Durante mucho tiempo el hombre aprovechó los recursos que la madre naturaleza le proveía sin darse cuenta de que estos no serían eternos, la explotación consistió principalmente en deforestación, labranza de tierras, veredas y caminos, etc., con el paso del tiempo y para sostener las necesidades del crecimiento demográfico era necesario explotar aun más los recursos naturales.

Para resolver los problemas que se tienen en las cuencas el viejo mundo a desarrollado procesos de gestión de cuencas con los que se puede llegar a desarrollar un equilibrio entre la naturaleza y el ser humano.

En la mayoría de los países de América Latina no existen los llamados sistemas de gestión de los recursos naturales; esto ocurre, sobre todo, en la administración del agua en cuencas, en el manejo de fauna y bosques nativos y, en la conservación de los suelos. Los servicios públicos y privados de apoyo a la conservación, preservación, recuperación y protección de recursos como la fauna, la flora y en general las tierras, son largamente superados por las necesidades de los usuarios.

En todas las cuencas hidrográficas el hombre ejecuta diariamente miles de acciones, éste hecho, no implica que se constituyan automáticamente en parte de un proceso de gestión en el ámbito de cuencas y menos que sean integradas. Para formar parte de un proceso de gestión de cuencas las acciones deben ser previamente coordinadas entre sí, y considerar su efecto en la dinámica de la cuenca.

Por otra parte, para que el proceso de gestión en una cuenca sea integrado, deben ejecutarse acciones que permitan obtener beneficios, tanto en el aspecto productivo como en el aspecto ambiental, y considerar el comportamiento de la cuenca. Además, es necesario que el sistema de gestión permita que los usuarios participen en las decisiones en favor de tender a la equidad.

Es así, que la gestión de una cuenca se sustenta en la conjugación de dos grupos complementarios:

- Un grupo de acciones orientadas a aprovechar los recursos naturales existentes en la cuenca, para asistir el crecimiento económico.
- El otro grupo estará orientado a manejar los recursos, con fin de asegurar la sustentabilidad del ambiente.

2. ANTECEDENTES

Uno de los grandes problemas que se tienen en la mayor parte de las ciudades y poblaciones importantes -y Querétaro no es la excepción- son las frecuentes inundaciones que año con año afectan a éstos centros de población, mismas que son causadas por el crecimiento de la mancha urbana que va modificando los hábitats de la cuenca.

La ciudad de Querétaro ha sufrido de éste tipo de problemas. Dos de las más graves inundaciones ocurrieron en octubre de 1986 y en julio de 1991, en donde un sinnúmero de calles se convirtieron en ríos que causaron grandes daños al entorno social. Aunque se ha pretendido dar solución a este tipo de problemas con la construcción de alcantarillas, drenes y canales dentro de la zona urbana, éstos han sido insuficientes en cuanto a su capacidad hidráulica, debido a la incorporación de nuevas colonias que van a desalojar el agua a estos sistemas hidráulicos.

La alteración de la cuenca donde se ubica la ciudad de Querétaro ha hecho que en época de lluvias exista un transporte de sedimentos que van a depositarse hacia los sistemas hidráulicos mencionados. Lo anterior provoca también la insuficiencia en su capacidad hidráulica.

La cuenca donde se ubica la ciudad de Querétaro está dividida en tres subcuencas principales: la parte sur, que comprende la Cuesta China y el Cerro Cimatarío; la parte centro, que constituye la subcuenca del Río Querétaro; y la parte norte que abarca Bolaños, Menchaca y la Zona industrial. En el presente estudio se analizan las dos primeras.

2.1 Descripción de las subcuencas

A continuación se hace una pequeña descripción de las características generales de cada una de las subcuencas:

2.1.1 *La Cuesta China y el Cerro Cimatarío*

Esta cuenca tiene su origen en los cerros y cañadas de la Cuesta China, y sus respectivos volúmenes de escurrimientos son aumentados por los procedentes del Cerro Cimatarío. En las figuras 2.1 y 2.2 se muestra la localización y los límites de las subcuencas.

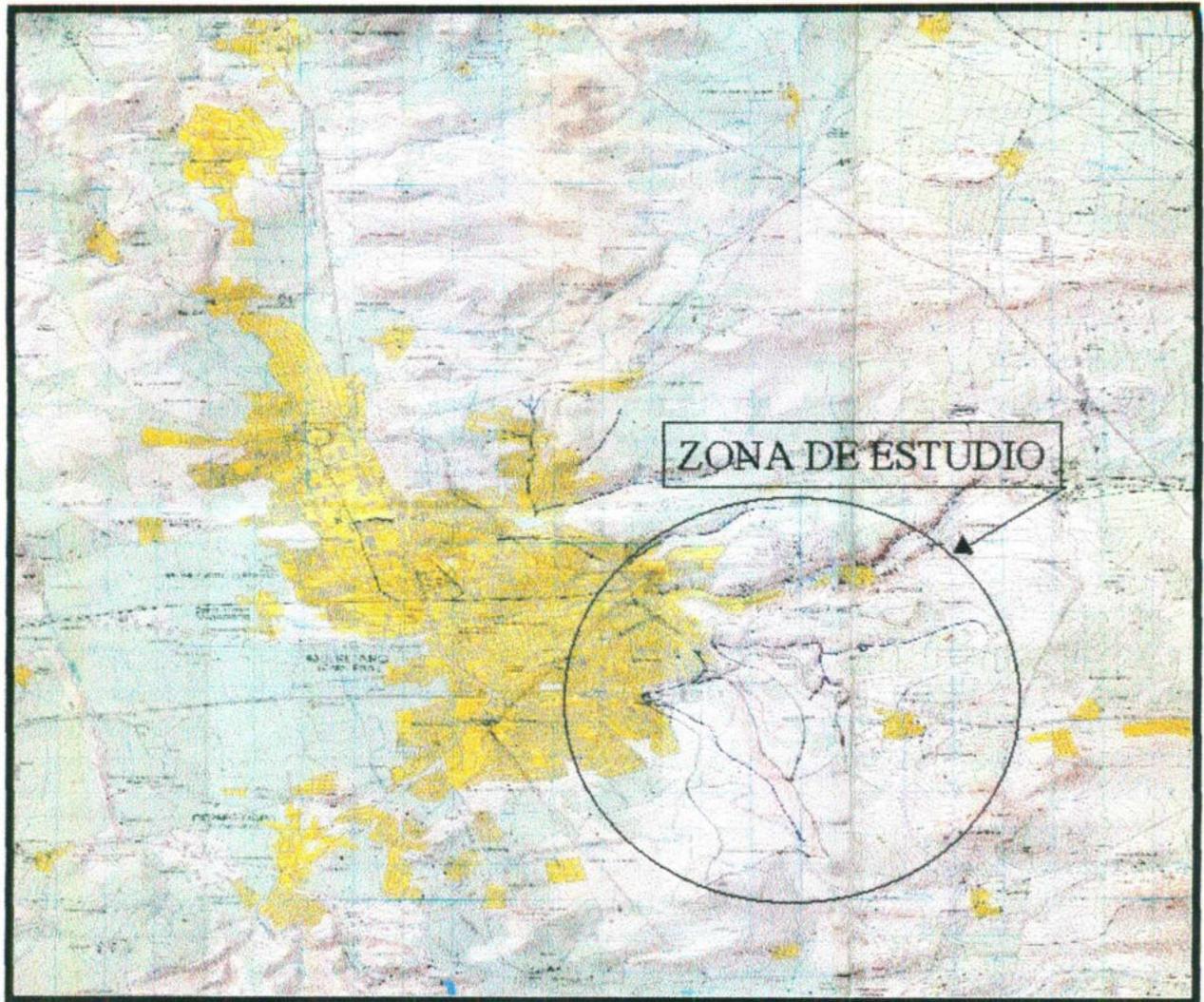


Figura 2.1 Localización de la zona de estudio

Antaño, sus escurrimientos se almacenaban en una serie de bordos, que iban de la exhacienda Carretas y Casablanca hasta cerca del municipio de Villa Corregidora "El Pueblito". Sin embargo, hoy en día, los vasos de estos bordos están ocupados por fraccionamientos como son: Colonia las Palmas, Central de Autobuses, Colonia Cimatario y la Del Valle. Los sitios mencionados corren un gran riesgo de inundación debido a que por naturaleza el agua reconoce su cauce original, manteniendo sus características físicas principales.

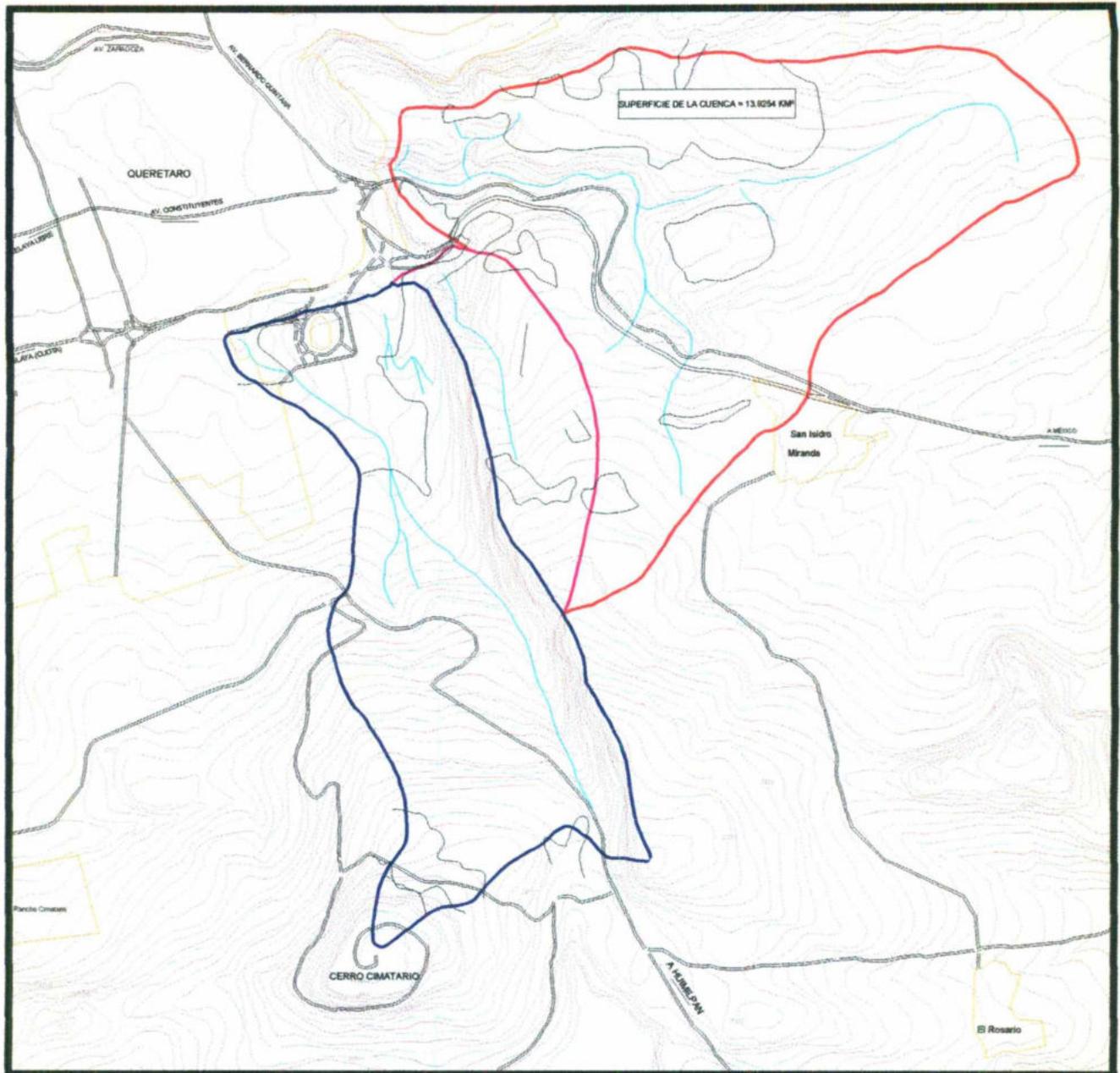


Figura 2.2 Delimitación de las subcuencas en estudio.

Es importante mencionar que se han presentado con anterioridad y en repetidas ocasiones, una serie de estudios y proyectos que en algunos casos se han llevado hasta su construcción y que conducen a un mejor manejo del agua y a un aprovechamiento integral de los recursos propios de la misma. A continuación se mencionan algunas de las propuestas principales:

El sistema de vasos Tángano I Norte, Tángano II Sur y el Lago Norte, que tienen capacidad para regular mediante su funcionamiento conjunto, el volumen total de las avenidas correspondientes a un periodo de retorno de 100 años, con un excedente de 1,4 m³/s, equivalente a la capacidad de descarga del dren Cimatarío ubicado aguas abajo de la zona mencionada.

De las estructuras propuestas anteriormente, se llevó a cabo la construcción de las primeras dos, mientras que el Lago Norte se pretende construir a corto plazo con el fin de lograr las metas propuestas.

Por otra parte, en el cauce definido Cuesta China se localiza una serie de bordos cuyas características de construcción son similares a las de los bordos Tánganos I y II.

El Cerro Cimatario se encuentra en la región fisiográfica denominada Mesa Central o de Anáhuac, al norte de la Sierra de Amealco. Tiene una elevación promedio de 2350 m.s.n.m, en él se encuentra ubicado el Parque Nacional que lleva el mismo nombre.

El Cerro corresponde a un pequeño cono monogenético situado en la Provincia de la Mesa Central, y por su cercanía con el eje neovolcánico se le considera como una zona de transición entre las dos provincias fisiográficas.

- **Geología**

Las rocas que afloran en el parque y áreas cercanas son principalmente: brechas, tobas, basalto andesítico y material piroclástico, la edad del vulcanismo que las originó es pliocénico, bajo estas rocas se encuentra un basamento sedimentario lacustre y calizo.

- **Tipos de suelo**

Vertisol pélico con Litosol. Este suelo se encuentra en casi toda la extensión de Cerro. Litosol con Vertisol. En el resto del cerro, incluyendo el Parque Nacional Cimatario.

- **Uso de suelo**

La vegetación predominante de la zona está constituida por agrupaciones vegetales de fisonomía arbustiva, características de las zonas áridas y semiáridas. Éste tipo de vegetación presenta ramificaciones desde la base del tallo, cerca de la superficie del suelo y con altura variable, pero casi siempre inferior a cuatro metros. Se distribuye en toda la superficie del cerro, en tiempo de secas ésta vegetación da una impresión de que se encuentra desprovista de ella.

Se distinguen los siguientes tipos de matorrales:

- Matorral subinerme: barreta helietta, granjero Celtis padilla, cenizo Leucophy spp, huizache Acacia farnesiana y mezquite Prosopis juliflora.
- Nopalera.

- **Tipos de clima**

En la zona del Cerro Cimatario, se encuentra solamente el tipo de clima Semiárido BS1hw(h)(e)g: seco, el menos seco de los semiáridos con un cociente P/T mayor de 22.9, semicálido, con invierno fresco, temperatura media anual entre 18°C y 22°C y la del mes mas frío menor de 18°C. Su régimen de lluvias es de verano, con un porcentaje

de lluvia invernal menor al anual y es extremoso, oscilación entre 7°C y 14°C, la mancha de temperatura es de tipo ganges, el mes mas caliente del año es mayo (*Ibid*).

- **Fauna**

La fauna en el cerro se encuentra representada por mamíferos principalmente.

2.1.2 La cuenca del río Querétaro

El río Querétaro nace en el Pinal del Zamorano y antes de llegar a la ciudad de Querétaro a captado los escurrimiento de unos 600 Km².

Su cuenca es muy variada, sin embargo, su cauce dentro de la zona urbana está bien definido, por lo que su paso por la ciudad no representa mayor peligro; salvo que, como en el año 1986, se cometan errores técnicos, como la presa provisional que construyó la Junta Local de Caminos, que provocó la inundación de 10 colonias del noroeste de la ciudad.

Debido a la falta de almacenamientos que regulen el caudal de aportación de esta cuenca, actualmente no es posible aprovechar adecuadamente el volumen de agua que trae el río -de 20 a 60 millones de metros cúbicos por año- en época de lluvia.

Es importante mencionar que se han presentado con anterioridad y en repetidas ocasiones, una serie de estudios y proyectos que conducen a un aprovechamiento integral de los recursos propios de la cuenca. A continuación se mencionan algunas de las propuestas principales:

- Desazolve de la presa de Rayas y del bordo "La Griega", y el aprovechamiento del material producto, para mejoramiento de tierras de cultivo, muy cercanas.
- Hacer un bordo en Amazcala.
- La construcción de una serie de obras menores de conservación de suelo y agua entre las cuales destacan: empaste y reforestación de laderas, construcción de agujajes sanitarios y bordos pequeños, y otras obras complementarias que ayuden a prevenir inundaciones y a controlar las lluvias torrenciales.
- La construcción de la presa "La Cañada" dentro del cauce principal del río, tan prometida e incumplida.

3. OBJETIVO

El objetivo del estudio integral y de manejo de la cuenca de la ciudad de Querétaro, es planear un manejo de los recursos naturales con el empleo de estrategias y acciones que puedan devolver a la cuenca sus condiciones ecológicas originales, además de propiciar su incremento y multiplicarse mas allá de su propia capacidad.

Realizar las primeras acciones orientadas a la planeación de los recursos naturales de la cuenca, como son: flora, fauna y en especial el potencial erosivo de la misma.

Por otra parte, se pretende propiciar un inicio de desarrollo regional, con la aplicación continua de los planes y programas que se requieran.

Elaborar un proyecto integral que tenga en consideración el aprovechamiento adecuado de todos los recursos naturales existentes; con miras a la sustentabilidad de la cuenca.

Proponer las obras necesarias para desarrollar un equilibrio entre los recursos naturales en la cuenca y el crecimiento de la zona urbana.

4. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA INTEGRAL DE LA CUENCA

En México es muy común que los planes y programas de desarrollo regional se apliquen parcialmente, sin la continuidad que se requiere y muchas veces con niveles de eficiencia limitados.

Todo plan de manejo de los recursos naturales que pretenda tener éxito, deberá estar sustentado con una gestión integral de cuencas y tratar además, de ser congruente no solo con la factibilidad de su aplicación para los usuarios involucrados, sino también con el verdadero potencial de tales recursos.

A fin de conocer un panorama general de los problemas existentes dentro de la ciudad de Querétaro, se realizó una investigación hemerográfica de donde se obtuvieron las siguientes citas, mismas que se ubicaron en las diferentes áreas que se contemplan dentro de una gestión de cuencas.

4.1 Problemas vinculados con el mal aprovechamiento de los recursos naturales en la cuenca y sus consecuencias económicas y sociales.

- En peligro de inundarse estuvo el centro de la ciudad, debido a la reducida capacidad hidráulica del río Querétaro, a la altura de la Glorieta "Corregidora y Avenida Universidad".
- Un aforo levantado en el Río Querétaro -por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH)- indica que en años normales de lluvia pasan alrededor de cien millones de metros cúbicos de agua.
- Una obra de mejoramiento y remodelación de la glorieta -ejecutada por Obras Públicas Municipales- condujo a la construcción de pasos de agua de reducida capacidad.
- Este detalle que materialmente constituye para el río un cuello de botella en su sección urbana, pone en riesgo de inundarse el primer cuadro de la ciudad, que es ligeramente mas bajo que el mismo cauce en ese punto.
- Tal riesgo salta a la atención, porque precisamente el año de 1986 fue abundante en lluvias, y a medida que aumenten crecerá la avenida que viene del cerro El Zamorano que es donde nace el Río Querétaro.
- Las constantes lluvias de junio de 1986 aportaron dos tercios del volumen de la presa Constitución, ubicada en el municipio de San Juan del Río, el mayor vaso de almacenamiento existente en el estado de Querétaro.
- El problema de siembras del ciclo agrícola Primavera-Verano, presentó un avance del 50 % debido a las intensas lluvias que se registraron ese mes, lo que permitió considerar el programa que contempló 164,837 hectáreas; que se considera una baja producción.
- Las lluvias que cayeron el martes 2 de julio de 1991 provocaron inundaciones en casi toda la ciudad, lo que generó un caos vial en toda la zona urbana, daños en comercios y casas habitación, que dejaron un malestar generalizado entre los queretanos y además un tirante de 400 mm de agua.

caído sobre la región más de 300 milímetros, es decir; más del 50 % del promedio total que se registra anualmente (entre 400 y 600 milímetros).

- Dos frentes, procedentes del Golfo y Pacífico respectivamente, combinados dieron lugar a las prolongadas lluvias que cayeron los días 31 de junio y primero de julio de 1991, en el centro del país, mismas que para las 6 de la tarde del día primero de julio significaban ya 28 horas ininterrumpidas de precipitación pluvial y 187 milímetros.

4.3.2 Institucionales

- La falta de coordinación de los departamentos de Desarrollo Urbano, Obras Publicas del Estado y Ecología, para atender los problemas que la lluvia ha ocasionado en la ciudad. Estos departamentos deberán tomar las acciones necesarias para solucionar los problemas que pudieran presentarse en dichos casos.
- La falta de participación en las labores de auxilio, limpieza, supervisión, control, rehabilitación y mantenimiento, por parte de los tres niveles de gobierno (federal, estatal y municipal) y sus instituciones.

4.3.3 Sociales y económicos

- En 1986, se inundaron algunas colonias, por ejemplo: Lomas de Querétaro, Lomas del Valle y la Burócrata, entre otras; éstas sufrieron inundaciones en sus viviendas a causa de torrenciales aguaceros.
- Nuevamente la incapacidad del drenaje se puso de manifiesto y las aguas pluviales invadieron las calles y por consecuencia se metieron al interior de las viviendas.
- Las lluvias fuertes afloran las acciones fraudulentas de algunos fraccionadores que impunemente y ante la creciente demanda de la vivienda como satisfacer vital, construye al "vapor" sus unidades habitacionales, sin ajustarse a las especificaciones correspondientes, lo cual trae como consecuencia problemas de inundación por goteras, fisuras y en algunos casos la ubicación de la vivienda resulta propicia para la inundación por los escurrimientos superficiales de algún cauce local.
- Las lluvias propician una gran cantidad de baches en las principales calles de la ciudad, por ejemplo: El Camino de San Gregorio, Allende, Escobedo, Avenida Universidad, todo el Barrio del Tepetate, Tecnológico y Circunvalación, además las calles de las colonias periféricas.

4.4 Enfoque de las medidas de protección y gestión en la cuenca.

- La construcción de canales que sirvan de drenes para el escurrimiento del agua pluvial en los puntos más críticos de la ciudad, podría ser una solución inmediata a los problemas de inundaciones durante los periodos de lluvia y no representaría una inversión gravosa.
- Construcción de diques retenedores de azolve, corrección de las pendientes en las zonas de escurrimientos principales, reforestación de la cuenca.

4.5 Factores ambientales de la cuenca.

- Aún cuando las pasadas lluvias han causado algunos malestares en la zona urbana y colonias aledañas, en otros puntos de la ciudad resultaron benéficas, como es el

caso del "Parque Nacional", donde los miles de arbolitos que en semanas anteriores a la ocurrencia de las lluvias fueron plantados, comenzaron a desarrollarse vigorosamente.

- En 1991, según publicaciones de la SEDUE, el bordo construido para garantizar el riego de los arbolitos ya plantados, acumuló una cantidad de agua pluvial que garantizaría el riego del área reforestada en ese lugar, considerado el pulmón natural más importante de la ciudad.
- Varias hectáreas de las faldas del Cerro Cimatario, se han reforestado y regado en abundancia con las pasadas lluvias. Se podrá garantizar su riego durante el estiaje una vez que se tienen importantes volúmenes de agua pluvial captados, a través de pequeñas obras de infraestructura hidráulica construidas con anterioridad.

4.6 Uso actual de la tierra.

- Por las características geográficas del estado de Querétaro y por razones socioeconómicas, el municipio de Querétaro ha venido denotando en sus últimos años un crecimiento demográfico considerable. Es decir; ha crecido en más de un 50 % de su población.
- Debido a lo anterior, la demanda de vivienda en numerosas cantidades, origina una mala planeación del crecimiento urbano en la ciudad. Se están edificando miles de hectáreas que todavía pueden sustentar vida vegetal. Esto implica que la actividad agrícola "principal fuente de alimentación" se esté perdiendo cada vez más.
- En ocasiones se pretende desplantar las edificaciones sobre una cimentación segura, y dado que los terrenos en que se construye es tierra fértil –no funcionable como cimentación de una estructura- se excava y generalmente se deposita el material en las laderas de los cerros; esto origina que cuando sucede una precipitación intensa transporta éste material hasta las partes bajas, en donde se localizan los centros de población lo cual genera problemas de depósito de sedimentos.

En resumen, el uso predominante del suelo en el valle de Querétaro es: el habitacional, industrial, comercial y en segundo término el uso agrícola y forestal.

4.7 Cubierta del bosque o pastizal.

- Con el doble propósito de mejorar la imagen urbana de la Cuesta China y de generar fuentes de empleo, el municipio puso en marcha un programa de reforestación y mejora de la imagen urbana.
- El área a reforestar es de 120,000 m² en la que se plantarían 8,000 árboles de diferentes especies, además aproximadamente 200,000 plantas conocidas como cubresuelos.

5. CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO INTEGRAL

5.1 Caracterización y diagnóstico de la cuenca a nivel estado.

5.1.1 Aspectos físicos y ambientales

➤ Ubicación geográfica

El estado de Querétaro se localiza en el centro del país, entre los 20° 01' 16" y 21° 30' 43" de latitud norte y los 99° 00' 46" y 100° 35' 46" de longitud oeste, es una entidad pequeña ya que sus 11, 269.70 km² solo rebasan las superficies del Distrito Federal y de los estados de Tlaxcala, Morelos, Colima y Aguascalientes. Al norte limita con el estado de San Luis Potosí, al oriente con el estado de Hidalgo, al sur con el estado de Michoacán y estado de México y al poniente con el estado de Guanajuato.

➤ Vías de comunicación

Las principales carreteras que comunican al estado con el resto del país son las siguientes: carretera constitución Núm. 57, México – Querétaro – Guadalajara - Tijuana; carretera federal Núm. 120, Querétaro – Jalpan – Tampico.

Las características del transporte carretero en el estado son las siguientes: una red de 3737.8 kilómetros, constituida por 1238.4 kilómetros de carreteras pavimentadas, siendo 670.8 kilómetros de la red troncal y 567.6 kilómetros de la red alimentadora; 2082.8 kilómetros de caminos revestidos y 413.6 kilómetros de brechas.

El estado tiene una extensa red ferroviaria debido a que es punto de enlace entre el D. F. y el norte del país, así como con la ciudad de Guadalajara. Las principales líneas ferroviarias que cruzan el estado son: México – Cd. Juárez; México – Nuevo Laredo; México – Guadalajara – Manzanillo – Mexicali; México – San Luis Potosí – Tampico, y la doble vía México – Querétaro.

➤ Fisiografía

El estado está situado en el centro de la República Mexicana, en la mesa de Anáhuac. El relieve general del estado es montañoso en un 69 %, como consecuencia de las ramificaciones de la Sierra Madre Oriental; éstas dan origen a la sierra del Zamorano en el municipio de Colón con una elevación de 3300 m.s.n.m. y a la sierra Gorda con elevaciones de 2800 m.s.n.m. Las ramificaciones que dividen la mesa central del estado penetran por el sur y forman las sierras de Galindo y de la Muralla, con una elevación de mas de 2000 m.s.n.m. Por otro lado, la mayor depresión geográfica se encuentra en el municipio de Arroyo seco en el lugar denominado Conca y tiene 610 m.s.n.m.

➤ Sistema hidrográfico

El estado se divide en dos cuencas hidrológicas: la vertiente del Golfo de México, situada al norte del estado en los municipios de Arroyo Seco y Jalpan, tiene como afluentes al río Santa María de Aculco que sirve de límite con San Luis Potosí, y los de Ayutla y Jalpan. A esta cuenca se agrega el río Moctezuma, que es el límite con el estado de Hidalgo y que tiene como afluentes los ríos Xichú, Extoraz, Tolimán,

Tancuilín, San Juan, Arroyo Zarco, San Idelfonso y Caracol, que se localizan en los municipios de Peñamiller, Tolimán, Pinal de Amoles, San Joaquín, Landa de Matamoros, Cadereyta, Tequisquiapan, San Juan del Río y Amealco.

La vertiente del Pacífico se integra por el río Lerma, que nace en el estado de México y sirve de límite con Michoacán, y los ríos de Querétaro, El Pueblito y Juriquilla. Esta vertiente se encuentra en los municipios de Querétaro, El Marqués, Huimilpan y Carregidora, y es la mas importante debido a que comprende 2445 kilómetros cuadrados de la superficie del estado con precipitación anual de 535 mm. La vertiente del centro se forma por algunos vasos o depósitos, como son los de Tres Lagunas, Saucillo, Tierra Fría, Tancama, Petzola, La Soledad y Concá.

➤ Meteorología

Las estaciones meteorológicas principales en el estado así como sus características principales se muestran en la siguiente tabla (INEGI):

Estación	Latitud	Longitud	Altitud	T. Med. A °C	T. Max. A. °C	P. Tot. A. mm
Jalpan	21° 13' 17"	99° 28' 39"	750	23.9	25.1	845.1
Arroyo Seco	21° 32' 54"	99° 41' 17"	980	21.5	22.6	548.8
Amealco	20° 11' 05"	100° 08' 44"	2620	15	17.1	659.4
Querétaro	20° 34' 13"	100° 22' 11"	1820	18.7	19.7	546.8
Sn Juan del Río	20° 22' 27"	99° 59' 54"	1920	17.1	18.7	559.7
Tolimán	20° 51' 26"	99° 53' 59"	1510	19.9	21.6	392.7

➤ Ecología

Las zonas de vida de una región considera la vegetación y fauna se hace necesario describirla, incluyendo apreciaciones sobre el medio ambiente. Las condiciones de vegetación en el estado son propicias para el cultivo de pastizales como alfalfa, cebada y sorgo, lo cual ayuda en la manutención de ganado. La actividad avícola se lleva a cabo en la zona centro, Cadereyta, Amealco y otros. Existen zonas destinadas a fruticultura, por ejemplo Amealco, zona centro, Cadereyta y zona serrana, que abarcan practicamente todo el estado.

Por su parte la silvicultura ha sido poco significativa debido a la subestimación del potencial que representa este recurso. Los recursos forestales representan un gran porcentaje de la superficie del estado, principalmente en la zona serrana. La pesca en el estado es poco significativa, sin embargo ha venido presentando un buen desarrollo gracias a la implementación de programas de acuicultura en ríos y presas o en pequeños almacenamientos de agua.

➤ Geología regional

Entre los factores geológicos más importantes figuran los formadores de montañas, el volcanismo, las deformaciones y rupturas por esfuerzos tectónicos compresivos y distensivos y, la erosión con sus diversos agentes.

Los distritos mineros conocidos en Querétaro son. Tolimán, Bernal, Yonthé, Maconi, San Joaquín, Soyatal, Pinal de Amoles, Río Blanco y Peñamiller, aunque existen otros puntos donde es posible encontrar minerales metálicos y no metálicos, como Colón, El

Marqués y San Juan del Río; además en el estado se cuenta con la planta ubicada en Maconi que produce plata, plomo, cobre y zinc.

➤ Tipo de suelo

Existe una variabilidad significativa de tipos de suelo en el estado que van desde los esqueléticos hasta muy profundos, en el sur predominan los Feozém, Litosoles, Cambisoles, Vertisoles y un mínimo de Luvisoles; la fertilidad de estos suelos es de moderada a baja en fenómenos de haploidización y enriquecimiento con materia orgánica.

Los tipos de suelo en la parte central del estado están formados por material aluvial y coluvial, las unidades predominantes son los Feozém, Litosoles y Regusoles con partes de Vertisoles, Rendzinas y Yermosoles. En la región montañosa o norte del estado, los diferentes tipos de suelo son derivados de rocas sedimentarias fundamentalmente calizas. Los tipos de suelo que cubren la mayor parte de esta zona son Luvisoles.

Finalmente, en parte del arroyo seco y en las inmediaciones de Otates, Concá y en la Reforma se localizan los Vertisoles pélicos de color negro y textura fina.

➤ Uso de suelo

La actividad agrícola si bien no es la principal, proporciona ocupación a más de una cuarta parte de la población económicamente activa, de ahí su importancia en la entidad.

De la superficie total del estado cerca del 15.1 % está ocupada por áreas con agricultura de temporal y solo un poco más del 4.8 % con agricultura de riego, de la cual se obtiene mayor valor por su producción. El resto de la superficie total está ocupada por bosque de coníferas, lalifoliado, matorrales, pastizales y zonas erosionadas.

5.1.2 Aspectos socioeconómicos

➤ Estructura demográfica

La población total del estado en el año de 1985, de acuerdo a las proyecciones demográficas realizadas por la Secretaría de Programación y Presupuesto, fue de 945,448 habitantes, de los cuales 469,888 son hombres y 475,560 mujeres, cantidades que en forma relativa representan el 49.7% y 50.3% respectivamente, con una tasa de crecimiento media anual de 4.5 % y una densidad de población de 80.3 personas por kilómetro cuadrado.

En lo correspondiente a la distribución geográfica de la población, se tiene una elevada concentración en la capital del estado, los municipios de San Juan del Río y El Marqués.

➤ Flujos migratorios

La inmigración se caracteriza a partir de 1995 de acuerdo a tres enfoques diferentes: lugar de nacimiento, lugar de residencia anterior y lugar de residencia en 1990. Según el lugar de nacimiento 19.6 % de los habitantes de Querétaro son nacidos en otra entidad o país, característica que ha venido en aumento pues en 1990 la proporción fue de 17.2 %.

Esta medida de migración supera a la observada por el lugar de nacimiento, pues a partir de este enfoque, se destaca que del total de residentes en Querétaro, 24.5% se considera en 1995 como inmigrante en el estado; es decir en algún momento de su vida vivió en otro estado o país. Este indicador en 1992 era de 27.1 %.

➤ Estructura ocupacional

La población económicamente activa (PEA), está conformada por el 43.1% de la población mayor de 12 años, de los cuales el 18% se desempeña como obreros y artesanos, el 16.5% como trabajadores agropecuarios, el 8.5% comerciantes y dependientes y el 8.4% oficinistas (INEGI).

➤ Estructura social

Tenencia de la vivienda

De las viviendas en la entidad, 84.4% son propiedad de sus ocupantes; de éstas, 85.7% están totalmente pagadas y 14.2 % se pagan actualmente; en tanto que 10.7% de las viviendas particulares son rentadas.

5.1.3 Aspectos agroeconómicos

➤ Actividades agropecuarias

Las pequeñas propiedades particulares representan actualmente el 71% del total de las tierras dedicadas a las actividades agropecuarias en el valle. Este porcentaje adquiere mayor relevancia en tanto se consideren las condiciones comerciales al presentarse tan cercanos los grandes mercados del país y el rápido acceso a ellos. Las ventajas comerciales de la producción agropecuaria particular, encontrará serios problemas ante el desarrollo urbano e industrial.

Desde la época colonial, el valle de Querétaro se había caracterizado como centro agrícola y ganadero, en tanto que la explotación de la mano de obra y la efectividad de los sistemas de riego, se convirtieron en factores básicos del desarrollo económico de la época.

En la actualidad las condiciones en que se encuentra repartido el valle ha variado notablemente. Posiblemente los ejidos sean los de menor modificación desde que fueron hechas las dotaciones.

➤ Agricultura

La agricultura ha tenido que entrar dentro del proceso de modernización, globalización y competitividad a nivel internacional. Sin embargo, ante la ineficiente tecnología, falta de centros de investigación y ubicación geográfica de las tierras de riego como de

temporal, la producción agrícola en México no puede igualarse, ni ser competitiva con algunos líderes en el ramo como es el caso de Estados Unidos.

En el caso de Querétaro, las condiciones en que se encuentra la agricultura es la siguiente:

Ha estado influenciado específicamente por la migración campo – ciudad, por la ubicación de tierras y por la industria transnacional. La migración campo – ciudad es uno de las principales fenómenos que se ha presentado con mayor aceleramiento en las últimas décadas del estado, dando una forma de vida y sobrevivencia para algunos ejidatarios e hijos de los mismos.

Las principales actividades agrícolas que se llevan a cabo en el estado son maíz, trigo, alfalfa, sorgo y calabaza, con lo que se ocupa el 28.24 % de la superficie del estado. Pastizales el cual ocupa el 2.07 %, el resto de la superficie del estado está ocupado por bosque, selva y matorrales.

5.2 Caracterización y diagnóstico de la cuenca a nivel municipal

5.2.1 Aspectos físicos y ambientales

➤ Ubicación geográfica

El municipio de Querétaro se encuentra al poniente del estado, entre los 20° 31' – 20° 26' de latitud norte y entre los 100° 36' – 100° 91' de longitud oeste, con latitudes que varían de 1800 a 1820 m.s.n.m. Sus límites geográficos son: al norte con el estado de Guanajuato; al sur con el municipio de Villa Corregidora y Huimilpan; al este con el municipio de El Marqués y al oeste con el estado de Guanajuato. Cuenta con 760 kilómetros cuadrados que representan el 6.4 % de la superficie estatal. El municipio cuenta con 198 comunidades, siendo las más importantes San José Buenavista, La Solana, Montenegro y Tlacote.

➤ Vías de comunicación

El municipio de Querétaro tiene 107.7 km de carreteras federales y 137.5 km de caminos rurales. Es uno de los principales centros de comunicación del país, debido a que es el punto donde confluyen las vías de comunicación más importantes del país como son: la carretera Constitución: México – Querétaro – Piedras Negras; Panamericana: México – Querétaro – Guadalajara – Tijuana; carretera federal No. 120: México – Jalpan – Tampico. Asimismo, existe comunicación entre caminos alimentadores que llegan a otros municipios del estado.

En lo que se refiere a la red ferroviaria, el municipio registra una de las más altas densidades de tráfico ferrocarrilero por encontrarse situado en el sistema que une a la capital de la República Mexicana con el occidente y norte del país. Por lo tanto la red consta de 276 km de vía ancha y un troncal de 85.8 km.

En lo que respecta a la infraestructura aérea el municipio tiene un aeródromo, localizado al noreste de la ciudad, útil solo para avionetas bimotores.

➤ Fisiografía

El municipio presenta tres formas características de relieve, distribuidos de la siguiente manera: zona accidentada, el 30 % de la superficie total del municipio; zona semiplana 35 %, y el restante 35% corresponde a zonas planas.

Las zonas accidentadas se localizan en la parte norte, formadas por derivaciones de la sierra del Zamorano y Encinalito. Las zonas semiplanas se localizan en la parte oriente, compuestas por las faldas de la sierra del Zamorano, y la zona plana la forma el valle de Querétaro y el de Jofre; el primero se inicia en la pequeña llanura de Carretas extendiéndose al oeste hasta los límites con el estado de Guanajuato, para posteriormente unirse a la gran llanura del Bajío; el segundo valle se localiza al norte del municipio.

➤ Sistema hidrográfico

El principal caudal del municipio es el río Querétaro que nace en el municipio de el marqués a causa de los escurrimientos superficiales ocasionados por las precipitaciones pluviales. Se tienen también escurrimientos de tipo permanente, destacando entre otros, el arroyo de La Arena, El Muerto y el de La Gallina. En los escurrimientos de tipo intermitente están El arroyo Las Tinajas, La Rivera y la Calera.

➤ Meteorología

En la ciudad de Querétaro solo se cuenta con una estación meteorológica cuyas características principales se muestran en el cuadro (NEGI):

Estación	Latitud	Longitud	Altitud	T. Med. A. °C	T. Max. A. °C	P. Tot. A. mm
Querétaro	20° 34' 13"	100° 22' 11"	1820	19.0	19.7	549.3

➤ Ecología

Como ya mencionamos antes en las regiones los factores mas importantes de vida consideran la vegetación y fauna, por tal motivo se hace necesario describirla, incluyendo apreciaciones sobre el medio ambiente. En el municipio se tienen tipos de vegetación relevantes como son: palo bobo, uña de gato, huisache, granjero y palo sishote; se mezclan además algunos cactus como son el nopal de diversas clases, cola de diablo, órgano, biznaga y garambullo; las especies mayores están compuestas por encino, eucalipto, jacaranda, alamillo, pirul, sauz y otros.

Por la localización de la ciudad de Querétaro dentro del país y por las características climáticas propias del lugar, el área es propicia para que la acción del viento actúe como un elemento modificador de las condiciones del suelo, esto es, la erosión eólica es un factor preferente en los cambios geomorfológicos y del impacto ambiental dominante de la zona.

De los cultivos agrícolas destacan el trigo, la cebada, la avena forrajera, frijol, maíz y otros. Con relación a la ganadería, se considera junto con otros municipios de la región, alta productora de leche. Además se tiene ganado bovino de carne a nivel familiar en

las comunidades rurales, ganado porcino, ovino, caprino, caballar y asnal, avicultura y apicultura.

Con referencia a la industria se caracteriza por ser la principal actividad en el municipio, dada la gran cantidad de empresas industriales o manufactureras. Asimismo, la actividad de la construcción es considerada como una de las principales fuentes de empleo.

➤ Geología regional

De acuerdo con las características geológicas que identifican al municipio de Querétaro, se manifiestan dentro de la era Cenozoica: donde el 17.8 % es roca aluvial, 25.58 % pertenecen al grupo de las andesitas, 34.34 % se encuentra dentro de los Basaltos y el 0.62 % son del grupo de Basalto – brecha volcánica básica, el 4.26 % pertenecen a la riolita – toba ácida, 6.17 % son del grupo de las Tobas ácidas, el 8.96 % es arenisca – conglomerado y el 0.11 % es del grupo de las areniscas. Dentro de la era Mesozoica el 1.61 % pertenece al grupo de las calizas y el 0.55 % pertenece a la unidad litológica de caliza – lutita.

Es importante hacer mención que los porcentajes dados anteriormente corresponde a su equivalente de la superficie municipal.

➤ Recurso suelo

El municipio cuenta en la mayor parte de su superficie con suelos de tipo arcilloso, existen también de tipo calcáreo y suelos con alto contenido orgánico.

En cuanto a la vegetación y uso del suelo cabe mencionar que la primera es muy escasa y las existentes son básicamente matorrales, nopaleras cordones; vegetación típica de climas semiárido y árido, sin embargo, el desarrollo industrial ocurrido en los últimos años en la entidad ha provocado que el uso del suelo haya tendido al industrial.

5.2.2 Aspectos socioeconómicos

Como resultado del censo de población y vivienda de 1990, los municipios que forman la cuenca del Río Querétaro, tienen una distribución de su población de la siguiente manera: el municipio de Querétaro, principalmente la ciudad de Querétaro y su zona conurbada, cuenta con una población de 456,458 habitantes; mientras que el municipio de El Marqués cuenta con 55,258 habitantes.

5.2.3 Aspectos agroeconómicos

➤ Agricultura

El municipio de Querétaro cuenta con una superficie de 28,326 Has. dedicadas a la agricultura, equivalente al 37% con respecto al total de su superficie, y el municipio de El Marqués cuenta con 25,246 Has. equivalente al 32.1 % del total de su superficie.

En cuanto a la utilización agrícola se refiere, el municipio de El Marqués se destaca por haber utilizado solamente el 38.75% de 9777 Has. que tiene en su superficie, abiertas el cultivo, distribuidas de la forma siguiente:

Municipio de El Marqués

Superficie de riego -----	10,489 Has.
Superficie de temporal -----	14,757 Has.
Total -----	25,246 Has.

Municipio de Querétaro

Superficie de riego -----	3,890 Has.
Superficie de temporal -----	24,436 Has.
Total-----	28,326 Has.

➤ Hidrología

Las corrientes principales que drenan al Río Querétaro, son las de Río Grande que nace en el inicio de la cuenca formada por los cerros El Zamorano, El Pinalito y Mesa Redonda; en su desarrollo el Arroyo Grande toma el nombre del Río Chichimequillas y a partir de los límites del municipio de El Marqués y Querétaro, en la comunidad de La Griega, toma el nombre de Río Querétaro, hasta el lugar denominado "Las Adjuntas" en los límites con el estado de Guanajuato.

Las corrientes secundarias, son las provenientes de los cerros que delimitan la cuenca del Río Querétaro, destacando los cerros El Picacho y La Machorra; además de las aportaciones de una serie de bordos estacionales como el Bordo San Cristóbal y La Machorra. Las corrientes secundarias, son las que tienen mayor influencia dentro de la cuenca del Río Querétaro, ya que los arroyos donde inicia la cuenca, concentran sus escurrimientos en las presas del Carmen, Pirules, Bordo Jesús María, así como en diferentes bordos y estaciones.

➤ Infraestructura dentro de la cuenca

La infraestructura que se encuentra dentro de la cuenca, se clasifica de la siguiente forma:

- Infraestructura de riego.

Dentro de la cuenca se encuentran tres almacenamientos importantes en cuanto a su capacidad y cuyo objetivo principal es el riego, siendo la Presa del Carmen con una capacidad de 4 millones de metros cúbicos para regar 595 Has., la Presa Pirules con capacidad de 2 millones de metros cúbicos para el riego de 200 Has, y el bordo denominado Jesús María con capacidad de 2 millones de metros cúbicos para riego y control de avenidas en la parte baja de la cuenca.

- Infraestructura de comunicaciones y transportes.

Por la cuenca cruza la carretera pavimentada Querétaro - Tequisquiapan; las vías del ferrocarril México - Laredo y la vía rápida México - Querétaro, así como un sinnúmero de caminos de terracería que hacen que la cuenca se encuentre totalmente comunicada.

6. PROPUESTA DE SOLUCIÓN EN CUENCA PILOTO

Para dar sustento a la correcta gestión, es necesario la participación de los tres niveles de gobierno (Municipal Estatal y Federal) y la intervención de los usuarios en la cuenca, organizaciones de productores y grupos ecologistas. Asimismo mismo se deberán llevar a cabo estudio de gran visión, prefactibilidad y factibilidad, los cuales se describen a continuación:

Estudio de Gran Visión.

En este estudio se recopila toda la información existente de la cuenca como lo es las cartas de INEGI a escala 1:50,000 y 1:250,000 (topografía, uso de suelo, geología, hidrología, edafología y urbanas), Imágenes de satélite, información metereológica, topografía existente, etc.

Con esta información se realiza un análisis a gran visión, en donde se plantean las acciones a realizar con sus diferentes alternativas, con ello se deduce las posibles obras o acciones a realizar en el proceso de gestión.

Estudio de Prefactibilidad.

Para llevar a cabo este estudio se realiza un análisis mas detallado de las alternativas para poder determinar la que sea mas factible de realizar, para ello es necesario complementar la información con:

- Visitas de campo.
- Estudios socioeconómicos.
- Estudios técnicos.

Una vez determinada la alternativa a realizar se afinan las características de las obras (su trazo, proceso constructivo, ubicación) o gestiones a realizar (saneamiento, Programas de uso eficiente del agua, reforestación, etc).

Estudio de Factibilidad.

En este estudio es necesario definir que las obras a realizar sean factibles y que cumplan con los objetivos para los cuales fueron propuestas, es decir tienen que realizar el proceso de gestión en la cuenca logrando la sustentabilidad de la misma.

Una vez definidas las obras que sean factibles se realiza una priorización de las mismas, con la finalidad de programar su ejecución en el tiempo que se estime realizar todas las obras que integre el estudio de factibilidad.

Con base en los resultados de estos estudios, se elaboran expedientes definitivos, que serán el soporte para dar soluciones y jerarquizarlos de acuerdo con las prioridades de la cuenca, de la siguiente manera:

- * Uso eficiente del agua.
- * Infraestructura que provoque la infiltración al acuífero del valle de Querétaro.
- * Saneamiento de la cuenca.
- * Acciones de conservación de suelo y agua.
- * Control de avenidas.
- * Corrección de torrentes y estabilización de cauces.

Para llevar a cabo lo anterior, se deberán tomar en cuenta las siguientes acciones:

- a) Conocer el balance hidrológico, con el apoyo de estudios geohidrológicos de la cuenca.
- b) Identificar las zonas con posibilidades de infiltración, y priorizar los sitios adecuados para presas de almacenamiento y bordos laterales que induzcan la infiltración y el control de avenidas.
- c) Establecer un control rígido de las descargas de los fraccionamientos existentes dentro de la cuenca.
- d) Controlar la erosión en la cuenca y el depósito de sedimento en los cuerpos de agua, mediante las siguientes acciones:
 - * Reforestación.
 - * Terraceo.
 - * Presas retenedoras de sedimentos.
 - * Presas para el control de avenidas, etc.
 - * Aplicación de la bioingeniería como una nueva forma de estabilización de laderas.

En el presente estudio se analizará el proceso de gestión de corrección de torrentes, es decir cauces que no cuenten con la sustentabilidad natural para mantener un equilibrio durante la avenida, a continuación se describen algunas acciones para corregir fallas en cauces o taludes erosionados o cauces con pendientes pronunciadas.

6.1 Corrección de torrentes y estabilización de taludes.

Los daños ocasionados por fenómenos torrenciales, presentan una relación directa con aspectos de crecimiento de la población, desarrollo de infraestructura y en particular con los sistemas agrícolas e industriales, ya que se encuentran vinculados con la presencia del hombre y sus actividades. Actualmente, se han llevado a cabo algunas medidas de corrección, en algunos países de Europa, en México se ha manifestado un rápido crecimiento de población e infraestructura, generándose cuantiosas pérdidas, provocadas por la vinculación de estos fenómenos. Por tal motivo la corrección de torrentes tendrá, a corto plazo, un campo de acción cada vez más amplio. (F. López Cadena de LLano, 1988).

6.1.1 Corrección de torrentes.

Un torrente es un curso de agua caracterizado por: fuerte pendiente, gran variación de caudales, transporte sólido importante y una cuenca de captación relativamente pequeña. Su corrección es una de las acciones más importantes dentro de la protección de las obras hidráulicas existentes en las ciudades. Su función principal está encaminada al control de sedimentos y su acción más importante es la construcción de diques.

En cauces con problemas de socavación, la construcción de diques tiene como finalidad reducir la pendiente longitudinal al momento de sedimentarse, al disminuir la velocidad y la energía cinética de la corriente. Por otra parte, el dique proporciona un reforzamiento en las riberas con lo que se reducen en gran medida los fenómenos de inestabilidad local y, en general, de inestabilidad de laderas. En estos trabajos deben considerarse los aspectos técnico, económico y ambiental. Estos aspectos pueden ser aplicados a torrentes y ríos, así como otras categorías intermedias. La representación esquemática de una cuenca torrencial, se muestra en la siguiente figura. (Tesis de grado de maestría, M. en I. Pablo Talamantes Contreras).



Figura 6.1

6.1.2 Clasificación de torrentes y acciones de corrección.

La clasificación de los torrentes se realizó primeramente en países europeos, como Italia y Austria, por De Horaty, quien los clasificó de la forma siguiente:

- a) Torrente de transporte.
- b) Torrente de socavación.
- c) Torrente mixto.

La descripción de estos casos y las acciones correctivas relacionadas con ellos se presentan a continuación:

- a) **Torrente de transporte** (Bennini G., 1993). En este tipo de torrentes, la energía de la corriente es empleada en transportar material sólido hacia la planicie, por lo que el cauce es socavado por el arrastre del sedimento. Los principales efectos provocados son: fuerte degradación en la cuenca de alimentación, acumulación de material no consolidado, depósitos importantes en la descarga y en el torrente principal hacia el cual confluyen los escurrimientos.

Las acciones correctivas que deben llevarse a cabo en este tipo de torrentes son:

- Sistematización con obras extensivas en la cuenca de alimentación.

- Control mediante los diques de retención.
- Construir plazas de depósito para retener los materiales granulares.

b) **Torrente de socavación** (*Bennini G., 1993*). Este tipo de torrente trae como consecuencia inestabilidad de las pendientes y mayor riesgo de derrumbes. Se identifica porque la energía de la corriente líquida transporta hacia el valle los materiales y socava el lecho del propio torrente.

Sus principales acciones de corrección están basadas en reducir la fuerza erosiva de la corriente, disminuir la pendiente del cauce y a su vez la velocidad del agua. Estos efectos se lograrán mediante la construcción de diques de consolidación en serie, para propiciar un escalonamiento en el cauce y provocar condiciones de flujo subcrítico.

c) **Torrente mixto** (*Bennini G., 1993*). Estos torrentes están formados por trechos en condiciones propicias de transporte de sedimentos y trechos en condiciones favorables de socavación. Sus efectos y correcciones son similares a los expuestos en los dos casos anteriores.

6.1.3 Estabilización de cauces.

La estabilización de cauces está directamente asociada a la corrección de torrentes, ya que comprende acciones y medidas que se llevan a cabo en el propio cauce. Las obras transversales destinadas a la estabilización de cauces son nuevamente los diques, ya sea de consolidación o de retención.

Los diques de consolidación, evitan los fenómenos directos de erosión en cauces y laderas inestables. Son obras de retención en cascada, que reducen la pendiente hasta evitar el proceso de erosión. Su altura es variable, pero su ubicación será de manera tal que se logre un escalonamiento uniforme y continuo en el cauce. Los diques de retención detienen el arrastre de los materiales sólidos, sus dimensiones dependen de la exigencia de retención de sedimentos que se tenga en el cauce. Su diseño permite el paso de los materiales finos, aportados por caudales con escasa capacidad de transporte.

6.1.4 Técnicas de estabilización y corrección de cauces y torrentes.

Existe una diversidad de obras de corrección encaminadas a controlar los procesos de erosión en el lecho y las márgenes de cauces y torrentes. A continuación se describen brevemente aquellas que tienen mayor aplicación, haciendo referencia a la corrección con diques ya descrita:

- **Corrección en gradas** (*Bennini G., 1993*). Su función principal es modificar la pendiente del cauce (figura 6.2) mediante la construcción de pequeños bordos transversales al mismo, a fin de detener y consolidar el sedimento que les llega. El proceso se repite sobre la pendiente modificada hasta alcanzar la pendiente de equilibrio que se desea.

CORRECCIÓN EN GRADAS

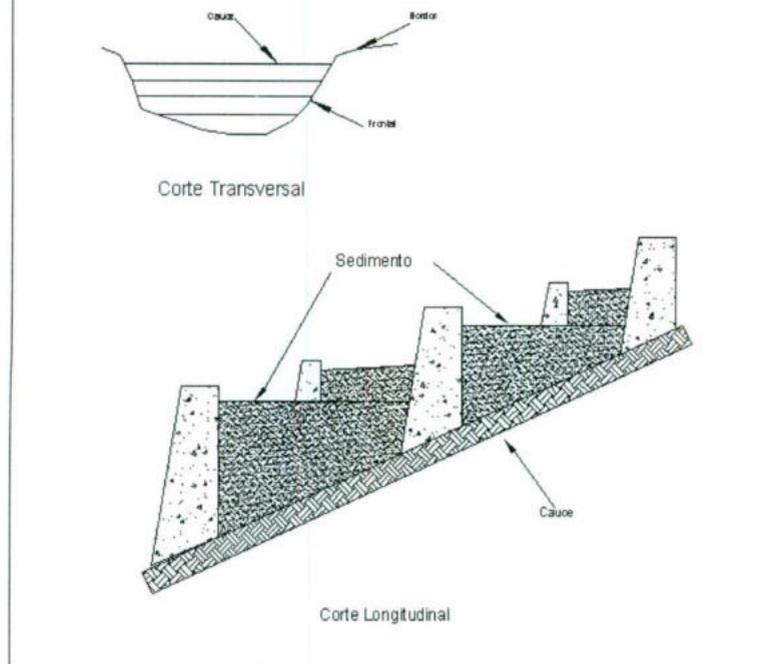


Figura 6.2

La ecuación a utilizar para determinar una pendiente de compensación deseada al llevar a cabo la ejecución de las estructuras es:

$$i_e = ((vu_1)^{10/3} B^{4/3} n^2) / Q^{4/3}$$

donde:

i_e = Pendiente requerida.

u_1 = Velocidad máxima permisible, dependiendo del tamaño de los materiales de fondo el cual define la capacidad erosiva del río.

v = Valor entre la velocidad media del agua y la correspondiente velocidad en el fondo del río, este valor oscila desde 1,3 a 1,5.

B = Perímetro mojado, el cual puede ser considerado igual al ancho del río.

n = Coeficiente de rugosidad del cauce "Ven Te Chow".

Q = Gasto de diseño asociado a un periodo de retorno, este puede ser de 20, 30, 50 o 100 años.

- **Corrección de cuneta.** Esta obra corrige el cauce en su totalidad por lo que se recomienda su construcción en torrentes localizados cerca de zonas urbanas o en la zona del cono de deyección. Su utilización es muy específica debido a que las correcciones son muy costosas (figura 6.3).

CORRECCIÓN DE CUNETETA

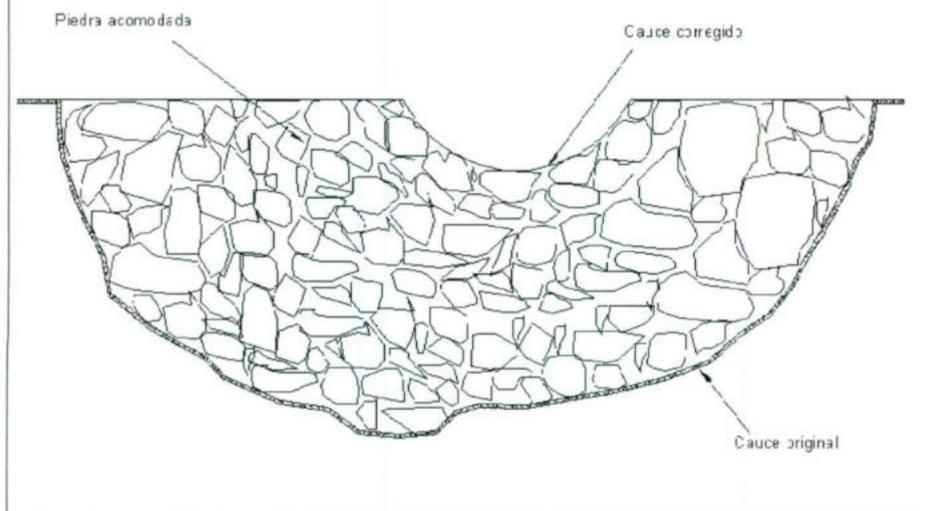


Figura 6.3

Esta corrección se realiza mediante canalizaciones o encauzamientos, en pequeña escala corresponden a las clásicas cunetas. Se pueden construir de piedra sobre el lecho y concreto en las orillas, borde revestido y lecho natural, o borde protegido con vegetación y lecho reforzado con concreto prefabricado.

- **Corrección con diques.** Su uso es muy frecuente por su alta eficiencia. Los diques pueden ser de madera, madera y piedra (mixtos), piedra en seco, mampostería, gaviones, concreto, tierra, o elementos prefabricados. En las figuras 6.4 y 6.5 pueden observarse algunos de estos diques.

Diques de materiales mixtos

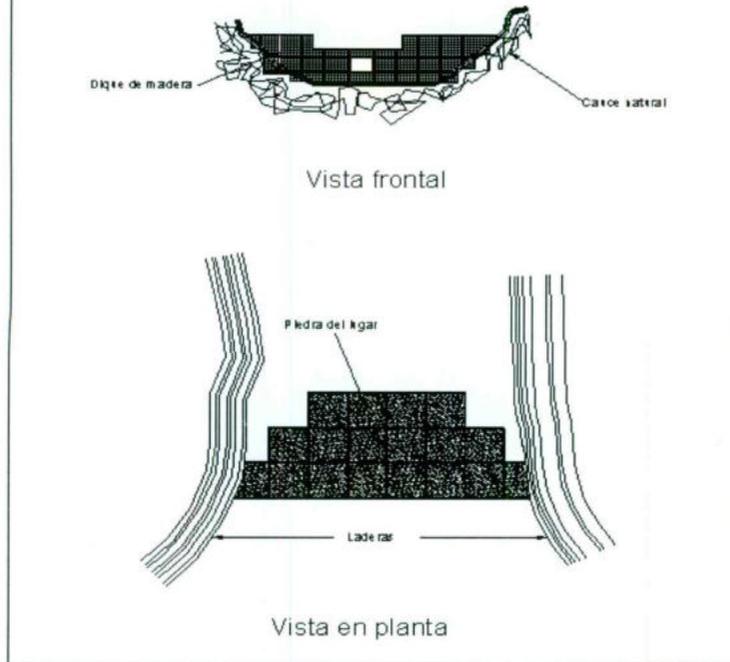


Figura 6.4

Diques de concreto

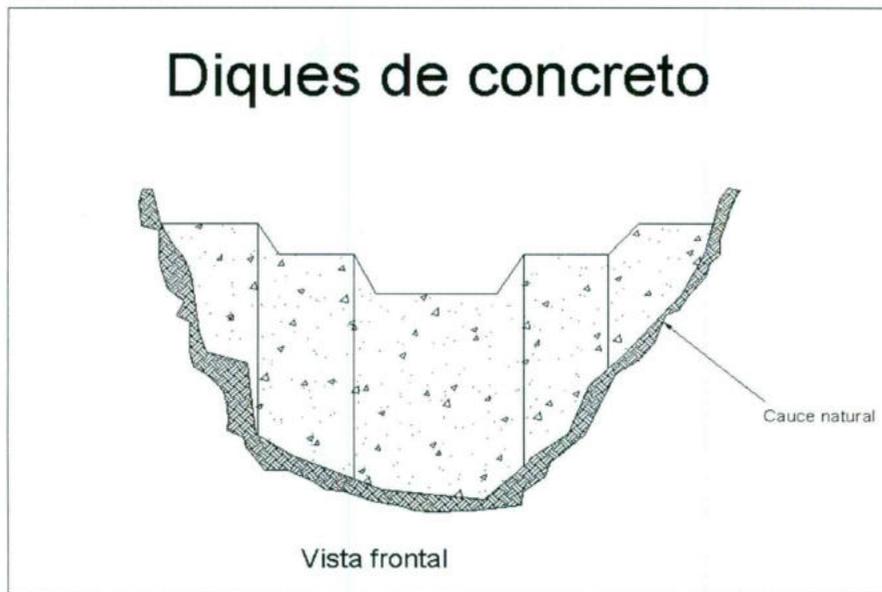


Figura 6.5

Los diques pueden ser clasificados de acuerdo con su tipo y características estructurales, es decir; diques de gravedad, de arco, de traves horizontales, de contrafuertes, etc. (figuras 6.6 y 6.7). Asimismo, pueden clasificarse con base a la funcionalidad, ya sea en diques cerrados (figura 6.8) o diques abiertos (figura 6.9).

Dique de arco

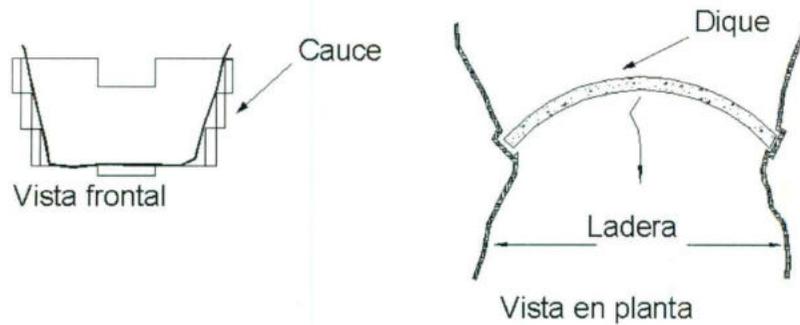


Figura 6.6

Dique de tierra

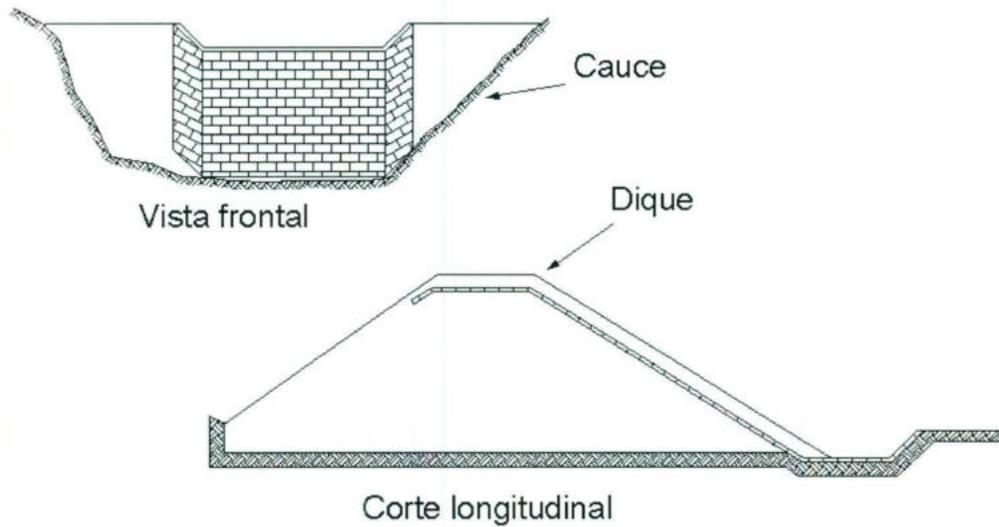


Figura 6.7

Dique cerrado

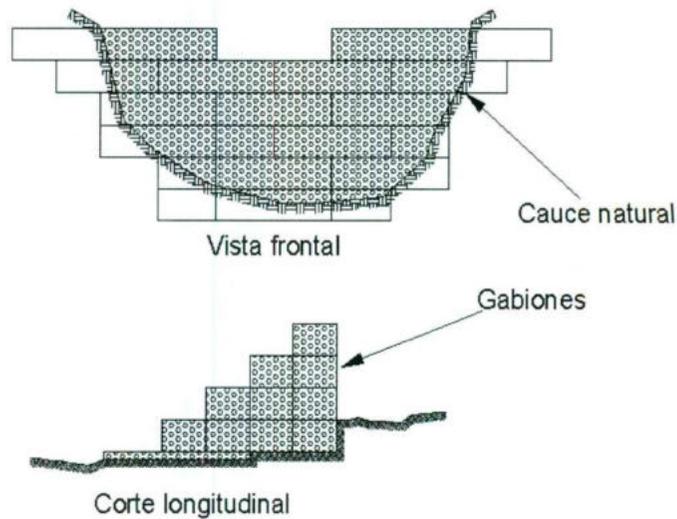


Figura 6.8

Dique abierto (reticular)

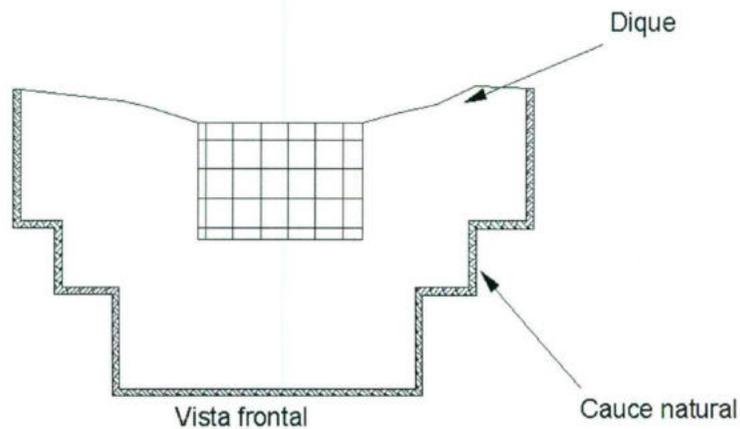


Figura 6.9

En el anexo fotográfico se muestra la zona de estudio, en la que se deberá llevar a cabo algunas de las obras mencionadas anteriormente. Además, en el modelo físico se observa una propuesta esquematizada de la corrección de las pequeñas torrentes existentes en la zona de estudio, así como las estructuras propuestas y las acciones de corrección y reducción del índice erosivo del lugar.

6.1.5 Generalidades de diseño de diques.

Aunque en cada caso concreto se definirán los elementos de diseño, la función de los esquemas de solicitaciones, el método de cálculo del dique, etc; se consideran sin embargo necesarias en cualquier situación las siguientes definiciones:

- Altura del dique. La altura vendrá impuesta por el objetivo de la obra y los motivos económicos que se desean alcanzar.
- Espesor de la corona. Los perfiles mas económicos de los diques son los triangulares, es necesario que la parte superior de la obra tenga un espesor de forma capaz de resistir los esfuerzos provocados por la presión del agua cargada de sedimento.

$$e = 0,7 + \epsilon \cdot H \text{ (m)}$$

Donde:

e = espesor de la corona del dique.

ϵ = está en función de la granulometría del sedimento, va desde 0,1 a 0,2.

H = altura del dique.

- Espesor de la base y taludes de los paramentos. Está definido en función de las condiciones de estabilidad dadas por el método de cálculo elegido y a veces por los taludes de los paramentos aguas arriba y aguas abajo. El talud aguas arriba se considera vertical, mientras que aguas abajo se maneja una pendiente que oscila desde el 0,2 a 0,6 para dar mayor esbeltez a la obra.
- Cimentación. Se orientará principalmente a conseguir que la obra sea sustentada por el suelo sin peligro de asentamiento, que se producen cuando se sobrepasa la capacidad de carga. Generalmente la cimentación que se proyecta es superficial y la carga se trasmite completamente al suelo por peso en la base sin intervención de rozamientos laterales.
- Mechinales. Disminuyen el tirante de agua sobre el vertedor y a su vez la carga hidrostática sobre el dique una vez que está totalmente aterrado, ya que actúan como obras de drenaje. Estos pueden ser desde simplemente tubos de plástico que atraviesan la obra, hasta ventanas cuyas dimensiones mas frecuentes son de 20 X 30 cm con pendiente longitudinal del 30 %. En cuanto al número de mechinales, se coloca 1 por cada 6 m².
- Disipadores de energía. El vertido sobre la cubeta, puede producir socavación aguas abajo de la obra que a su vez produce inestabilidad en la estructura. Por lo que es necesario proteger el lecho del torrente con materiales de alta resistencia a la erosión, siendo preciso la formación de un colchón de agua realizado con una simple cubeta completada con un contradique, o la construcción de rampas de lanzamiento que alejen el agua de los puntos críticos.
- Juntas de contracción. En casos donde la estructura rebasa varias decenas de metros, es necesario su construcción para evitar agrietamientos producidos por variaciones de volumen como consecuencia de oscilaciones térmicas. Para su construcción se utiliza el método y materiales que resulten mas económicos, se usa junta plana impermeabilizada con tela asfáltica u otro material bituminoso.

6.1.5.1 Secuela de diseño de diques de mampostería y concreto

Se consideran para su cálculo como tales los de gravedad y planta recta con fábrica de mampostería con mortero de cemento, y los de hormigón en masa o ciclopeo, de altura hasta de 15 m. Los esquemas de cálculo que se indican son adecuados par la estructura resultante sea económicamente satisfactoria. Siendo el peso de fábrica la principal de las fuerzas favorables, conviene que sea lo mayor posible. Para ello pueden servir de orientación los siguientes pasos:

Mampostería	(kg/m ³)
Con piedra de granito, gneiss o calizas	2400
Con piedra de areniscas	2100
Concreto	
Con áridos de granito	2360
Con áridos de caliza	2280

en general el peso de la mampostería o del hormigón suelen variar entre 2300 y 2400 kg/m³.

El dique de hormigón o mampostería corrientemente empleado en trabajos hidrológico - forestales consta de un cuerpo central y dos alas.

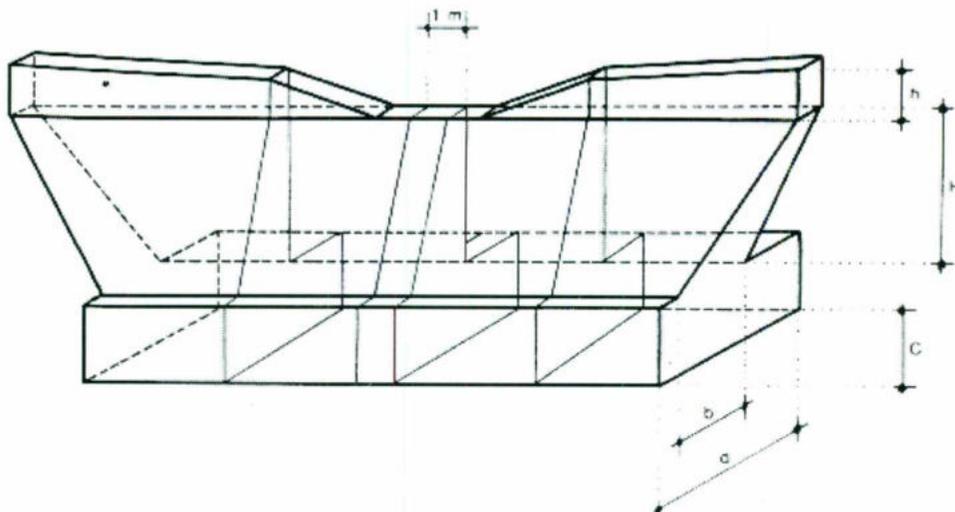


Figura 6.10. Perspectiva de un dique.

El cuerpo central es un trapecio de talud vertical aguas arriba, e inclinado aguas abajo. En las alas se superpone a este trapecio un rectángulo cuya base es la corona del cuerpo central y cuya altura es la de la cubeta o vertedor. Calculadas la altura útil H (m) y la altura h (m) de la lámina vertiente sobre el umbral del vertedor, y el espesor en corona e (m) o el talud n del paramento aguas abajo, pueden seguirse los esquemas de cálculo que se describen a continuación para el cálculo del cuerpo central en las hipótesis de gravedad ya establecidas.

1.- Se consideran solamente dos fuerzas: el peso de la fábrica (favorable) y el empuje hidrostático E (desfavorable), suponiendo $H=0$. Para conseguir un mínimo de obra, la resultante de P y E se hace pasar por el extremo del núcleo central de aguas abajo. En esas hipótesis, y para una longitud de 1 m, se obtiene que el espesor en la base es:

$$b(m) = \sqrt{(5e^2 / 4 + H^2(\gamma / \gamma_s))} - \frac{e}{2}$$

En cauces de pendiente superiores al 15 % puede resultar más económico el empleo del perfil trapecial con paramento aguas abajo vertical. En este caso y en las hipótesis anteriores:

$$b(m) = \sqrt{(H^2 - \frac{(\gamma_s - \gamma)}{\gamma})e^2}$$

Para el cálculo del cuerpo central, habrá de lograrse no solo la estabilidad del dique completo ABCD mostrado en la figura siguiente, es decir, la estabilidad a lo largo de su base CD, sino también a través de una sección intermedia cualquiera A'B'. Para ello se estudia la estabilidad de la sección ABA'B', en la que A'B' representa una sección horizontal comprendida entre AB y CD.

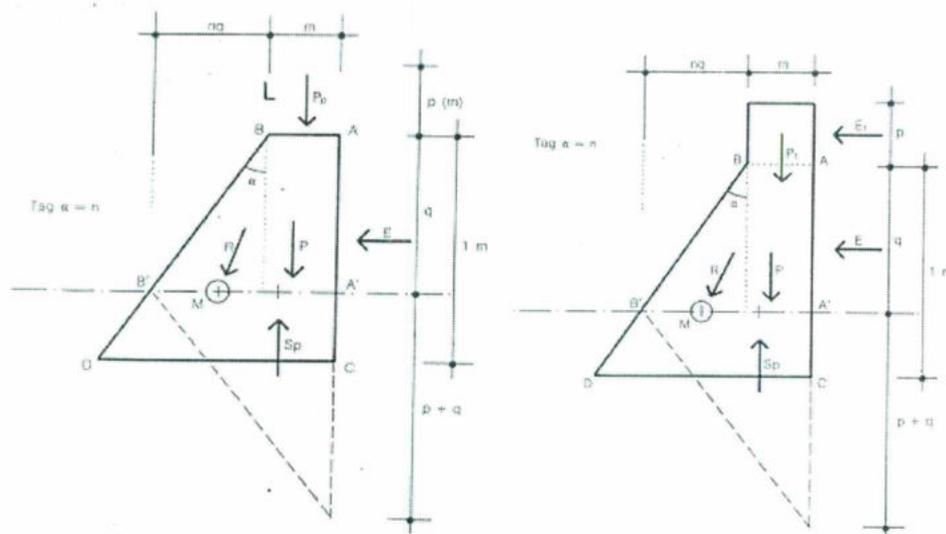


Figura 6.11 Representación gráfica de las fuerzas actuantes en un dique de gravedad

Si tomamos la altura total del dique AC como la unidad y los resultados los multiplicamos por la H real obtendremos las dimensiones reales.

Longitudes:

- AC = altura total del dique = 1 m
- m = AB = espesor de la corona
- m + n = CD = espesor de la base
- q = AA' = altura de la sección A'B'
- p = altura de la lámina vertiente

Fuerzas:

P_o	=	peso de la lámina vertiente sobre la corona
P	=	peso del cuerpo del dique ABA'B'
E	=	empuje del agua sobre AA'
S_p	=	subpresión a través de A'B'
γ_s	=	peso específico de la mampostería
γ	=	peso específico del agua

los valores de m y n que definen las dimensiones del dique, deberán cumplir las siguientes condiciones:

$$n \geq -(1.5 + p)m + \sqrt{(1.25 + (2.5p + p^2)m^2 + 1.5p + 1)}$$

impuestas por la condición del núcleo central en el cuerpo del dique.

$$m \geq p$$

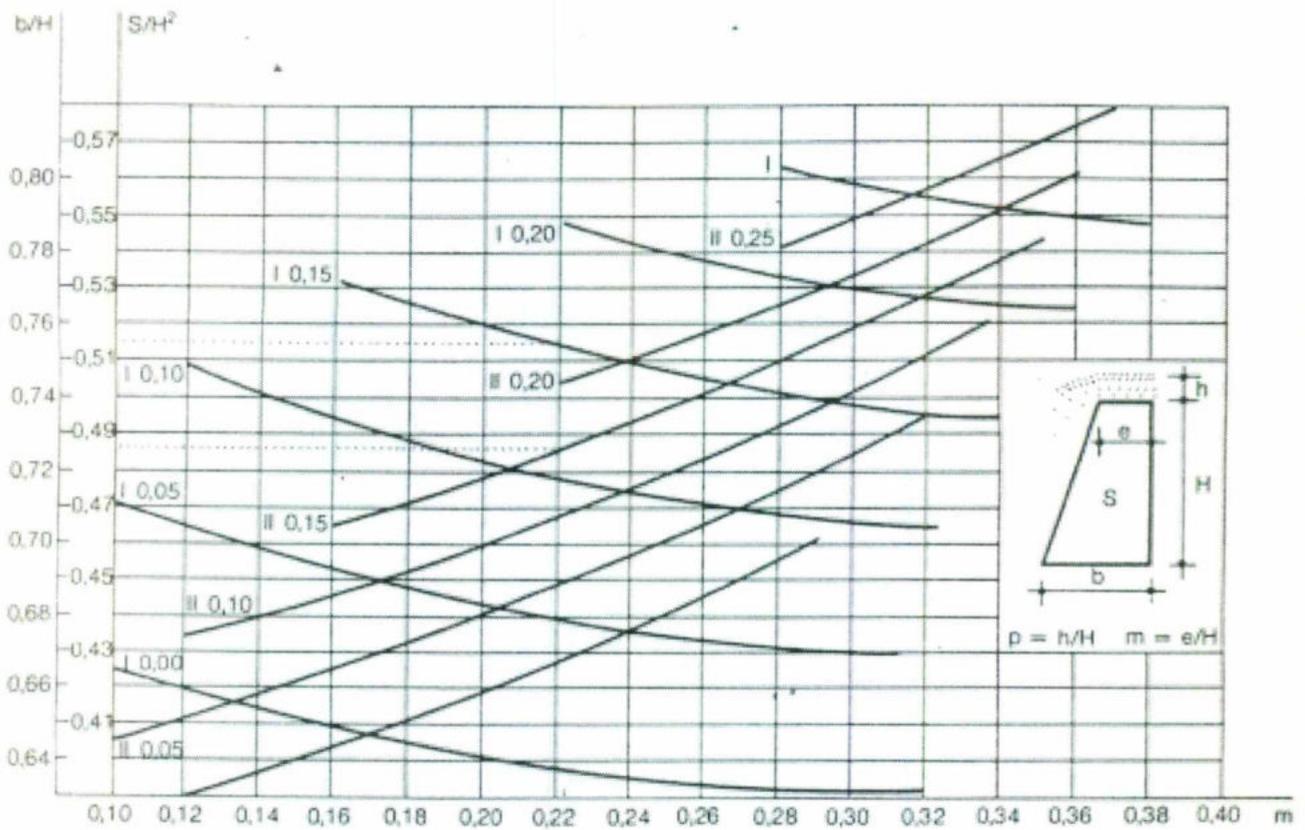
$$n \geq -0.25m + \left(\frac{p(p+3)}{4m} \right)$$

impuestas por la condición del núcleo central en las alas.

Observaciones:

Las condiciones impuestas no son las únicas necesarias a la estabilidad del dique. Es preciso, además, que no se sobrepase la carga de rotura del material y que sea estable, no solo a embalse lleno, sino también a embalse vacío. Dado que dentro de las dimensiones corrientes en estas obras éstas condiciones no son predominantes, se renuncia a ocuparse aquí de ellas.

Ya se ha indicado que el objetivo es dar los resultados en forma tabulada y gráfica (véase figura siguiente) según se hace a continuación. Por otra parte, las hipótesis de cálculo no agotan, individualmente, el problema, y si se han elegido es por considerarlas usuales en este tipo de trabajos. La fuerza viva del agua, la propia subpresión que, en definitiva se ha considerado nula, el efecto de rozamiento de la lámina vertiente sobre la corona son, por ejemplo, circunstancias desfavorables a la estabilidad del dique, que no han sido tenidas en cuenta. Además, el hecho de estar el dique empotrado en el cimiento y en el encuentro de las alas con el terreno, es condición favorable que tampoco se ha considerado. Por ello, no se propone que las dimensiones que resultan de los cálculos anteriores sean reforzados con algún coeficiente de seguridad pues ello es cosa que solo el criterio personal, sobre todo si está basado en una experiencia adquirida, debe resolver.



$$I \left(\frac{b}{H} \right)_p \quad II \left(\frac{S}{H^2} \right)_p$$

Figura 6.12 Gráfica para la determinación de las dimensiones de un dique de gravedad en el segundo esquema de cálculo.

En la tabla siguiente se hace figurar los valores de $m + nq$, compatibles con las condiciones expuestas para una serie de valores de m y de p comprendidos dentro de los límites normales en este tipo de obras. De aquí en adelante se llamará (b) a $(m + nq)H$.

Se dan también en forma tabulada y gráfica los valores correspondientes a la superficie dividida por H^2 . Para el uso de estas tablas o gráficos hay que suponer conocidos los siguientes datos H = altura del dique; h = altura de la lámina vertiente; e = base menor del dique.

Base mayor (b/H)

Cálculo de la base mayor del dique por unidad de altura b/H, en función de m = e/H, base menor del dique por unidad de altura, y p = h/H, calado del agua en corona (base menor) por unidad de altura.																
M	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40
p																
0,000	0,666	0,660	0,655	0,650	0,646	0,642	0,639	0,637	0,635	0,633	0,632	0,632				
0,050	0,712	0,705	0,699	0,694	0,688	0,684	0,680	0,677	0,674	0,672	0,671	0,670	0,670			
0,100		0,748	0,740	0,734	0,728	0,723	0,718	0,714	0,711	0,709	0,707					
0,150				0,772	0,765	0,759	0,754	0,750	0,746	0,742	0,739	0,737	0,736			
0,200							0,788	0,783	0,778	0,774	0,771	0,768	0,766	0,764	0,763	0,762
0,250										0,803	0,800	0,797	0,794	0,791	0,789	0,784

Superficie (S/H²)

Cálculo de la superficie en la sección central (sección de la cubeta) del dique por H ² (altura del dique al cuadrado) en función de m y p																
M	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40
p																
0,000	0,383	0,390	0,397	0,405	0,413	0,421	0,429	0,438	0,447	0,456						
0,050	0,406	0,412	0,419	0,427	0,434	0,442	0,450	0,458	0,467	0,476	0,485	0,495	0,505			
0,100		0,343	0,440	0,447	0,454	0,461	0,469	0,477	0,485	0,494	0,503					
0,150				0,466	0,472	0,479	0,487	0,495	0,503	0,511	0,519	0,528	0,538			
0,200							0,504	0,512	0,519	0,527	0,535	0,544	0,553	0,562	0,571	
0,250										0,541	0,550	0,558	0,567	0,576	0,584	0,592

Tabla 6.1

A partir de estos datos se calcula p = h/H, que fija la curva en que se ha de operar, y m = e/H, que da la abscisa. Si por ejemplo, p = h/H = 0,15 y m = e/H = 0,22, se obtendrá b/H = 0,754 y S/H² = 0,487.

La base mayor del dique y su superficie serán:

$$b = 0,754 H$$

$$S = 0,487 H^2 \text{ (sección por la cubeta).}$$

$$S' = (0,487 + 0,22 \times 0,15) H^2 \text{ (sección por las alas).}$$

En el caso de que en la tabla no se encuentren los valores de p para los resultantes será necesario interpolar o adoptarse el que corresponda por exceso.

Dentro de este esquema de cálculo existen otros gráficos que permiten obtener el espesor de la base b (m), en función de la altura H (m) y de la carga de agua h (m) sobre el umbral del vertedero, con K (kg/cm²) de tracción máxima admisible y el coeficiente de seguridad al volteo G

La siguiente tabla indica los valores para el dimensionamiento del cuerpo del dique ($\sigma_m = 0,5 \text{ kg/cm}^2$; $\gamma_s = 2,4 \text{ t/m}^3$; $\gamma = 1,2 \text{ t/m}^3$ y $\theta_v = 0,10$)

H	e = 0,80			
	b	A	σ_m	G
(m)	(m)	(m ²)	kg/cm ²	
2,00	1,00	1,80	1,21	1,34
2,50	1,32	2,64	1,53	1,48
3,00	1,71	3,76	1,69	1,62
3,50	2,10	5,08	1,85	1,73
4,00	2,51	6,62	2,02	1,83
4,50	2,92	8,38	2,18	1,93
5,00	3,34	10,35	2,35	2,01
5,50	3,76	12,55	2,52	2,08
6,00	4,19	14,97	2,69	2,15
6,50	4,62	17,61	2,87	2,21
7,00	5,05	20,47	3,04	2,26
7,50	5,48	23,56	3,21	2,31
8,00	5,92	26,87	3,38	2,36
8,50	6,35	30,41	3,55	2,40
9,00	6,79	34,17	3,72	2,44
9,50	7,23	38,15	3,90	2,47
10,00	7,67	42,37	4,07	2,51

Tabla 6.2

La utilización de gráficos y tablas permite el predimensionado del dique pero debe procederse después a la verificación de las siguientes condiciones:

Seguridad al deslizamiento sobre el plano de origen (coeficiente de seguridad ≥ 1.3).

Seguridad al volteo respecto al vértice de aguas debajo del sitio (coeficiente de seguridad ≥ 1.5).

Seguridad a la capacidad portante del terreno (coeficiente de seguridad ≥ 2).

Seguridad de que en ningún punto de la estructura sean superadas las tensiones admisibles de proyecto.

6.5.1.2 Cálculo de diques de gaviones.

El dique de mampostería gavionada se calcula imponiendo las condiciones de no deslizamiento y de que no se produzcan tensiones de tracción en el cuerpo de la obra.

El cálculo se realiza en el supuesto de que el paramento de aguas arriba esté sometido al empuje del agua con suspensiones de peso específico $\gamma(t/m^3)$, cuando éstas alcanzan el umbral del vertedero.

Aplicación al perfil escalonado regular (tipo II)

- Condición de no deslizamiento:

$$d \geq \frac{2}{i-1} \frac{i\gamma}{2\phi * \gamma_g} - a$$

- Condición de ausencia de tracciones:

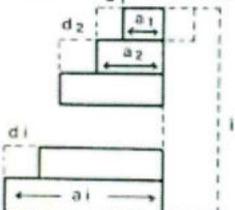
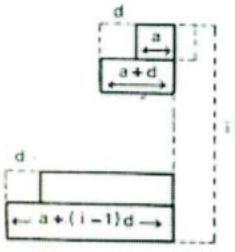
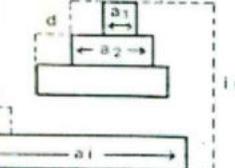
$$d \geq \frac{1}{2i-3} \left[-3a + \sqrt{9a^2 - 2 \left(\frac{2i-3}{i-1} \right) \left(a^2 - i^2 \frac{\gamma}{\gamma_g} \right)} \right]$$

Para cada altura de dique i , el mayor valor de d que se obtenga será el que se utilice para el diseño de la estructura.

El valor de a , viene dado igualmente por las siguientes condiciones:

- Condición de no deslizamiento:

$$a \geq \frac{\gamma}{2 * \gamma_g * \varphi}$$

Perfil	Condición de no deslizamiento	Condición de núcleo central
	$\varphi \cdot \gamma_g (a_1 + a_2 + \dots + a_i) \geq \frac{1}{2} \gamma i^2$ <p>de donde:</p> $a_i \geq \frac{\gamma i^2}{\varphi \gamma_g} - (a_1 + a_2 + \dots + a_{i-1})$	$\gamma_g \left[a_1 \left(\frac{2}{3} a_1 - \frac{a_1}{2} \right) + \dots + a_i \left(\frac{2}{3} a_i - \frac{a_i}{2} \right) \right] = \frac{1}{6} i^3 \gamma$ <p>de donde:</p> $a_i \geq -2(a_1 + \dots + a_{i-1}) + \sqrt{4(a_1 + \dots + a_{i-1})^2 + 3(a_1^2 + \dots + a_{i-1}^2) + \frac{\gamma}{\gamma_g} i^3}$
	$\varphi \cdot \gamma_g [a + (a+d) + \dots + (a+(i-1)d)] \geq \frac{\gamma i^2}{2}$ <p>de donde:</p> $d \geq \frac{2}{i-1} \left(\frac{i\gamma}{2\varphi\gamma_g} - a \right)$	$\gamma_g \left[a \left[\frac{2}{3} a + (i-1)d - \frac{a}{2} \right] + \dots + [a + (i-1)d] \left[\frac{2}{3} (a + (i-1)d) - \frac{a + (i-1)d}{2} \right] \right] = \frac{\gamma i^3}{6}$ <p>de donde:</p> $d \geq \frac{1}{2i-3} \left[-3a + \sqrt{9a^2 - 2 \left(\frac{2i-3}{i-1} \right) \left(a^2 - i^2 \frac{\gamma}{\gamma_g} \right) \left(a^2 - i^2 \frac{\gamma}{\gamma_g} \right)} \right]$
	$\varphi \cdot \gamma_g (a_1 + a_2 + \dots + a_i) \geq \frac{1}{2} \gamma i^2$ <p>de donde:</p> $a_i \geq \frac{i^2 \gamma}{2\varphi \gamma_g} - (a_1 + a_2 + \dots + a_{i-1})$	$\gamma_g a_1 \left[(i-1)d + \frac{a_1 - a_1}{2} - \frac{a_1}{3} \right] + \dots + \gamma_g a_i \left[\frac{a_i - a_i}{2} - \frac{a_i}{3} \right] = \frac{\gamma i^3}{6}$ <p>de donde:</p> $\sum_{j=1}^{i-1} \left[d(i-j) + \frac{1}{2} a_j - \frac{1}{3} a_j \right] a_i \geq \frac{1}{6} i^3 \frac{\gamma}{\gamma_g}$

- Condición de núcleo central (ausencia de tracción)

$$a \geq \sqrt{\frac{\lambda}{\gamma_g}}$$

Estas condiciones se cumplen ampliamente con los valores habituales de γ y γ_g con $a = 1$ m, ancho del gavión comercial.

6.1.5.3 Diseño de los diques de Tierra.

A los diques de materiales sueltos se recurre por las ventajas constructivas que presentan, por su simplicidad estructural para alturas moderadas inferiores a 10 m y por las limitadas exigencias de la cimentación y la conexión con las laderas, debido a que poseen características de flexibilidad y de adaptación a las deformaciones en presencia de terrenos compresibles.

No obstante, su uso como diques de consolidación o retenidas presenta serias dificultades pues este tipo de materiales no permite que se vierta el agua directamente sobre el paramento de aguas abajo, lo que obliga a que se diseñe un vertedor (puede ser un vertedor lateral), salvo que se tomen precauciones especiales de impermeabilización y de defensa contra la erosión.

El material que forma el dique debe ser suficientemente impermeable como para proporcionar una estanqueidad adecuada, y los taludes, por exigencias de estabilidad, deben ser relativamente tendidos.

Las condiciones generales a que han de sujetarse son:

- La capacidad del vertedor debe ser tal que nunca puede rebasar el agua por encima del dique, y para garantizarlo debe quedar cierta distancia entre el máximo nivel previsible de agua y su corona.
- Los taludes de los paramentos deben estar constituidos de tal manera que los materiales sean estables.
- La línea de saturación, o línea que separa en el macizo del dique la parte seca de la embestida en agua, debe caer lo más bajo posible en el paramento aguas abajo, cortando la base del dique. En determinados casos es aconsejable establecer un drenaje en el pie del paramento aguas abajo, que impida el avance de la línea de saturación hacia el interior del macizo.
- El agua que pasa a través y por abajo del dique debe tener velocidad tan pequeña que no arrastre materiales.

Los diques de tierra se diseñan con perfil trapecial con ambos paramentos inclinados, a fin de que sean estables en los diversos estados de carga hidrostática que se presentan en el vaso y no trasmitan cargas excesivas a la cimentación, y para que las filtraciones a través de la cimentación y estribos queden controladas de forma que no se produzcan erosiones internas en los respectivos macizos.

El espesor de corona se determina considerando la naturaleza de los materiales, la distancia mínima de filtración a través del terraplén cuando el agua alcanza su máximo nivel en el vaso, y la altura e importancia de la estructura.

Descripción	Características		Grupo ¹
Material de grano grueso (más del 50 % del material tiene dimensiones mayores que la malla del tamiz No 200 BS)	Grava (más del 50 % de la fracción gruesa tiene dimensiones de grava)	Grava bien graduada, grava arenosa, con poco o sin material fino	GW
		Grava mal graduada, grava arenosa, con poco o sin material fino	GP
		Grava limosa, grava areno-limosa	GM
		Grava arcillosa, grava areno-arcillosa	GC
	Arena (más del 50 % de la fracción gruesa tiene dimensiones de arena)	Arena bien graduada, arena y grava, con poco o sin material fino	SW
		Arena mal graduada, arena y grava, con poco o sin material fino	SP
		Arena limosa	SM
		Arena arcillosa	SC
Material de grano grueso (más del 50 % del material tiene dimensiones mayores que la malla del tamiz No 200 BS)	Limo, arcilla (límite líquido 50 %)	Limos inorgánicos, arena fina arcillosa o limosa de poca plasticidad	ML
		Arcilla inorgánica, arcilla limosa, arcilla arenosa de baja plasticidad	CM
		Limo orgánico y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	OL
	Limo, arcilla (límite líquido 50 %)	Limos inorgánicos de alta plasticidad	MH
		Arcilla inorgánica de alta plasticidad	CH
		Arcilla orgánica de alta plasticidad	OH
Terrenos altamente orgánicos	Turba y otros suelos altamente orgánicos	Pt	

¹ Según el Sistema unificado de clasificación de suelos.

Tabla 6.3

En grandes estructuras suele calcularse el espesor de corona por la relación:

$$e(m) = 3.624(H - 1.5)^{1/3}$$

siendo H la altura útil en metros.

Para los diques usados en la corrección de torrentes no deben emplearse espesores inferiores a 3 m, y puede utilizarse la relación:

$$e(m) = \frac{H + h + h_1}{5} + 1.5$$

Siendo:

- H (m) altura útil del dique.
- h (m) altura de la lámina en el vertedor.
- h_1 (m) resguardo sobre el máximo nivel de agua en el paramento ($h_1 = 0.76 + 0.34 L^{1/2} - 0.26 L^{1/4}$, siendo L = longitud máxima del embalse en km)

La estabilidad del talud de aguas abajo está ligada a la altura en que corta la línea superior de la red de filtración al paramento, que no debe superar la tercera parte de la altura útil del dique.

Estas condiciones de flujo pueden mejorarse con el uso de un talón de material permeable en forma de cuña triangular en el pie del paramento de aguas abajo, y de una altura igual a un tercio de la parte útil del dique, o mediante un filtro de material granular permeable, situado en la base del dique en su extremo de aguas abajo, cuyas dimensiones pueden definirse por la relación $e(m) = \sqrt{(2LQ/K)}$, siendo $e(m)$ el espesor del filtro, $L(m)$ la longitud del mismo, $Q(m^3/s)$ el caudal de filtración, $K(m/s)$ el coeficiente de permeabilidad del material utilizado.

Con estas condiciones y para diques de material homogéneos sobre terrenos estables, puede utilizarse los siguientes taludes en los paramentos de los diques de tierra, según los tipos de suelos utilizados.

Suelos utilizados ¹	Taud de aguas arriba	Talud de agus abajo
GC, GM, SC, SM	2.5:1	2:1
CL, ML	3:1	2.5:1
CH, MH	3.5:1	2.5:1

¹ Según el Sistema unificado de clasificación de suelos.

NOTA: Los suelos de los tipos OL y OH no se han utilizado por su alto contenido de materia orgánica. Los tipos GW, GP, SW y SP tampoco son adecuados por ser permeables.

Tabla 6.4

6.2. Modelo físico

Ante la necesidad de un mejoramiento integral de la cuenca del Valle de Querétaro, alumnos de la Maestría en ciencias Línea terminal en Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro participaron en la elaboración de un modelo físico de la zona de estudio, en la que se utilizó una escala vertical 12 veces mayor que la escala horizontal para apreciar con claridad la configuración topográfica de la cuenca.

En el modelo se contemplan las subcuencas cuyos escurrimientos afectan severamente la zona sureste del valle de Querétaro, por ejemplo La Central de Autobuses. Además, el modelo incluye parte de la subcuenca del Río Querétaro.

El modelo se realizó con el fin de observar las condiciones actuales de la zona de estudio, tal como se observa y describe en el anexo fotográfico, además de proponer las acciones que se deben llevar a cabo para la corrección de los cauces que desalojan en forma descontrolada los escurrimientos provenientes de las cuencas en estudio.

Una vez observadas las zonas donde se requiere llevar a cabo algún tratamiento especial para lograr el mejoramiento propuesto, se procedió a ejecutar algunas modificaciones en el modelo que permitieran mostrar una estructuración basada en el ordenamiento de la cuenca. Estas modificaciones consisten básicamente en la construcción de diques retenedores de sedimento, y diques de consolidación en las

partes de los cauces, que de acuerdo con los criterios de diseño antes expuestos se colocarían.

6.2.1 Obras propuestas en el modelo

Las obras propuestas se indican con detalle a continuación:

1. La cuenca sureste del valle de Querétaro está dividida en varios cauces secundarios, que a su vez se convierten en subcuencas que afectan al sur de la ciudad. En el modelo se aprecia la subcuenca del cerro Cimatario, en el cual se requiere llevar a cabo la construcción de una serie de diques retenedores de sedimento, transversales al eje del río. La formación de los diques será de la parte alta hacia la parte baja del tramo, siguiendo los criterios de diseño expuestos en el presente trabajo (véase fotos 1a 21).
2. Se construirá un canal trapezoidal con capacidad para desalojar el gasto que aporta la subcuenca del Cerro Cimatario, para llevar sus escurrimientos hasta el canal Cimatario localizado aguas abajo de los bordos existentes en la parte baja de la cuenca. Lo anterior con el fin de evitar las inundaciones que actualmente se presentan en las avenidas Cimatario, Central de Autobuses y zonas aledañas. Es recomendable que el material empleado en la construcción de ésta obra sea el existente en el lugar, el cual podría ser de mampostería, sampeado o concreto reforzado, con el fin de ejecutar las estructuras a costos bajos.
3. Los escurrimientos que transporta el cauce proveniente de la Cuesta China representan un peligro latente para la zona urbana de la ciudad. Dentro de la cuenca propia del cauce se localizan actualmente dos almacenamientos que regulan en parte la aportación de estos escurrimientos. Sin embargo, debido a que su capacidad de almacenamiento resulta insuficiente para detener el sedimento que aporta la subcuenca, será necesario construir una serie de bordos o diques retenedores de sedimento, foto 4.

Con la construcción de estas estructuras se logrará disminuir la pendiente del cauce y a su vez la velocidad del flujo, lo que nos permite aumentar la vida útil de los almacenamientos existentes. Por otra parte permitirá el crecimiento de la vegetación en las márgenes del cauce y se disminuirá el grado de erosión que se manifiesta dentro de la cuenca y que actualmente se aprecia con gran facilidad.

En el modelo se observa el riesgo de inundación, o en su caso, total destrucción de las instalaciones de la Universidad Cuahutémoc y El centro nocturno QIU, que se localizan en la parte baja del cauce.

4. Por la margen derecha del arroyo Cuesta China, se aprecia un pequeño cauce que se forma en época de lluvias, cuya pendiente pronunciada propicia el arrastre de sedimento hacia los cauces aguas abajo. Por tal motivo, es necesario la construcción de una serie de diques retenedores de sedimento, para disminuir la pendiente del cauce. Asimismo, se logrará disminuir la erosión que se presenta en el sitio además de facilitar el crecimiento de la vegetación en el lugar.

5. Con la construcción de las obras en el cauce de la Cuesta China, el caudal que aporta la subcuenca llegará con mayor facilidad hasta el Dren Cimatario, el cual recibe los escurrimientos de la cuenca mencionada en el párrafo anterior. Por lo anterior, el dren deberá ser modificado en su sección debido a que la actual es insuficiente para transportar dicho caudal.

Con esta modificación se logrará evitar las inundaciones que año tras año se presentan en las colonias Los Arquitos, Quintas del Marqués y El Marqués. Además, es importante mencionar que a la altura del cruce del canal con la avenida Cimatario, el dren recibe un caudal adicional proveniente de la cuenca sur del municipio por lo que se hace reiterativo la modificación de la sección del canal existente (véase fotos 5 a 10).

6. Hablemos ahora de la cuenca del Río Querétaro, su cauce atraviesa la ciudad con un canal trapecial revestido de mampostería y en algunos tramos sólo está formado por excavaciones con taludes compactados. En el modelo se observan las características topográficas y de vegetación de la cuenca, como se puede ver no son muy favorables. Por tal motivo, será necesario construir pequeños diques sobre el cauce definido para disminuir la fuerte pendiente, y a su vez retener el sedimento que aporta la cuenca hasta cada uno de ellos.

Dadas las características físicas del canal revestido, los diques deberán ser construidos con mampostería o concreto reforzado, en función de los materiales existentes en el lugar.

7. Por otra parte, en paralelo la construcción de las obras antes descritas, se deberá llevar a cabo un programa de reforestación y plantación de árboles de pequeña, mediana y gran altura, cuyas características se apeguen a cada zona, estos podrán ser arboles tanto en las partes de ladera como en las partes planas, con el fin de disminuir el grado de erosión que se presenta por falta de vegetación. Es conveniente mencionar que las plantaciones, deberán ser regados con agua en pipa, cuando éste sea posible y así lo requiera.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A) Conclusiones:

- Como se a venido manejando, un estudio integral de gestión de cuenca requiere que las partes que la componen sean manipuladas en conjunto, ya que si se manejan de manera aislada los resultados favorables que se obtengan serán menores, lo que nos da como consecuencia mayores inversiones a largo plazo, así como un mayor deterioro y un bajo aprovechamiento de la cuenca.
- En el presente trabajo se analizaron las posibles estructuras a implementar en la cuenca sureste del valle de Querétaro, considerando diversos factores que intervienen directamente en la problemática, ello con la finalidad de darle solución al problema a un mediano y largo plazo.
- Los puntos mas inquietantes que se tomaron como base para este estudio fueron: el problema de las inundaciones durante la temporada de lluvias en los años 1986 y 1991 -en la ciudad de Querétaro y lugares aledaños- y los problemas de la degradación de la cuenca debido a los fenómenos de la erosión tanto hídrica como eólica.
- Las obras propuestas se encuentran esquematizadas en un modelo a escala que se emplea para observar y analizar todo el sistema en conjunto, como se puede ver en las fotos 12 a 21.
- Con el fin de dar sustentabilidad a la propuesta de obras, se realizó una simulación del funcionamiento hidráulico en el cauce que drena los escurrimientos del cerro Cimatario. La simulación consistió en medir el tiempo que tarda en llegar una gota de agua desde la parte alta de la cuenca hasta la zona de planicie, considerando las condiciones en que se encuentra actualmente el cauce. Una segunda medición se realizó después de construir los diques retenedores de sedimento, el escurrimiento se inició también en la parte alta de la cuenca y fue llenando cada uno de los diques hasta llegar a el sitio a donde se midió la simulación anterior; por último se realizó una tercera medición llenando con sedimento los diques y posteriormente aplicar el escurrimiento con los mismos criterios de las mediciones anteriores. Las simulaciones hechas se pueden apreciar en las fotos 13 a 21.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Condiciones consideradas	Tiempo relativo
Condiciones naturales. El cauce sin obras, solo las existentes (los bordos Tánganos I y II)	1
Diques construidos. Los diques sin sedimento	2.18
Diques construidos. Una vez que ya están sedimentados, solo se modifica la pendiente del cauce.	1.49

Tabla 7.1

De acuerdo con los tiempos relativos observados, podemos concluir lo siguiente:

Una vez construidos los diques, se logrará disminuir la velocidad del flujo, permitiendo controlar los escurrimientos y a su vez prevenir los daños ocasionados en la zona urbana de la ciudad.

Por ultimo, cabe hacer mención que el objetivo de este estudio es en beneficio directo de los actores endógenos de la subcuenca del valle de Querétaro.

B) Recomendaciones:

- Implementar un programa de mejoramiento integral de la cuenca, cuyos escurrimientos afectan la ciudad de Querétaro, en el que además de las obras propuestas en el presente estudio deberán considerarse otras acciones que consisten básicamente en reforestación en la superficie total de la cuenca, considerando las características del suelo, clima, y pendientes existentes; los cuales darán pauta a definir las cantidades y tipos de árboles a colocar, además se deberá involucrar a los técnicos especialistas en la ciencia para supervisar éstos trabajos, construcción de terrazas en las partes con pendientes muy pronunciadas, con fin de disminuir la erosión del suelo debido a los fenómenos de la lluvia, viento y otros factores.
- Debido a un número insuficiente de canales existentes en la zona de estudio, será necesario la construcción de algunos drenes nuevos, o bien la ampliación de el área hidráulica de los ya existentes, considerando los escurrimientos de sus respectivas subcuencas; ésto se deberá realizar siguiendo la normatividad de las dependencias encargadas de estos trabajos (CNA), tomando en cuenta los materiales existentes en la zona.
- Se deberán construir diques retenedores de sedimento en las partes que así lo requieran, por ejemplo, en las zonas donde se forman los cauces con pendientes pronunciadas, los que originan grandes velocidades de flujo; por tal motivo se colocarán éstos en serie para lograr el efecto propuesto. Los diques podrán ser de concreto o de mampostería, la altura de ellos dependerá de la pendiente del cauce por modificar, el diseño se hará considerando colocarlos de aguas arriba hacia aguas abajo, la elevación de la corona del segundo dique será la elevación del desplante del primero.
- Se deberán desazolvar los cauces existentes, con el fin de evitar el transporte de sedimento hacia aguas abajo. Para llevar a cabo este trabajo se deberá elaborar un programa de limpieza de cauces, el cual deberá fungir año tras año al menos una vez antes de cada temporada de lluvias.
- Dado la cantidad de sedimento arrastrado por las lluvias, el cual es producto de los bancos de material y de las obras de construcción en proceso, se deberá concientizar a las personas que llevan a cabo estos trabajos para disminuir el material expuesto a la erosión.
- Dada la cantidad de emigrantes de las zonas rurales a la zona urbana, se deberá formar un plan de crecimiento urbano, ésto es, considerar la normatividad del gobierno municipal al pretender construir nuevas edificaciones en las periferias de la ciudad, ya que éstos son quienes tienen designados los usos de suelo respectivos para cada zona.

- Juntos los actores participantes en la gestión de la cuenca deberán formar un programa de concientización, el cual se hará llegar a los habitantes de la cuenca por medio de las autoridades correspondientes, que indicarán la importancia de mantener el orden dentro de la cuenca y harán participe a los ciudadanos de las actividades a realizar dentro de la misma, y de esta manera hagan conciencia de la necesidad de conservar la restauración ya ejecutada.

8. ANEXO FOTOGRÁFICO

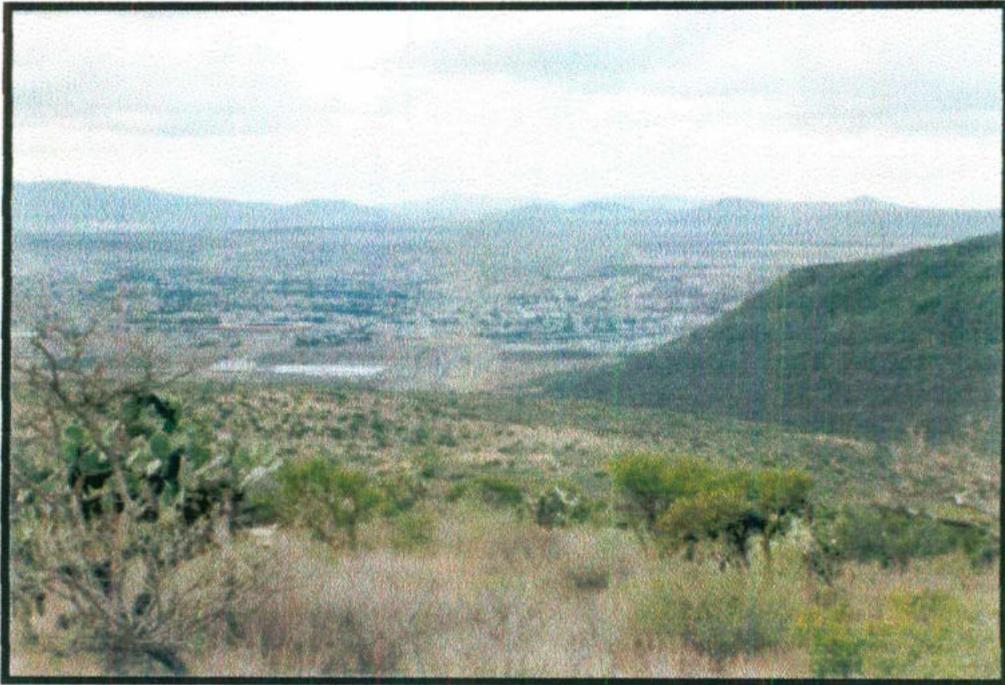


FOTO 1. Vista Panorámica de la Zona de Estudio. Foto tomada desde una de sus partes elevadas del cerro Cimatario

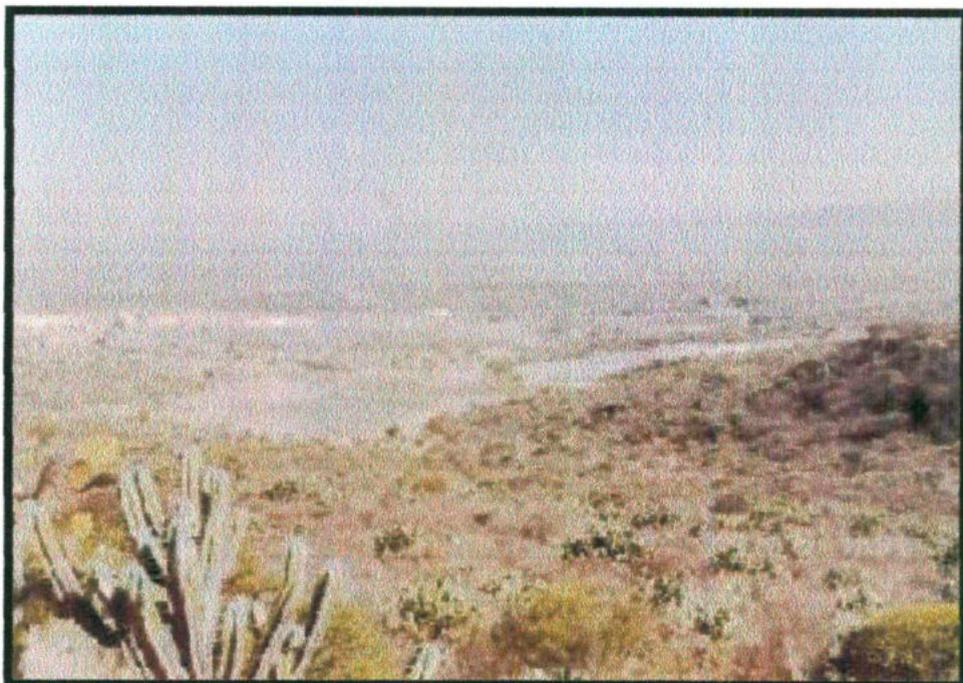


FOTO 2. Localización de bordo existente en el cerro cimatario.

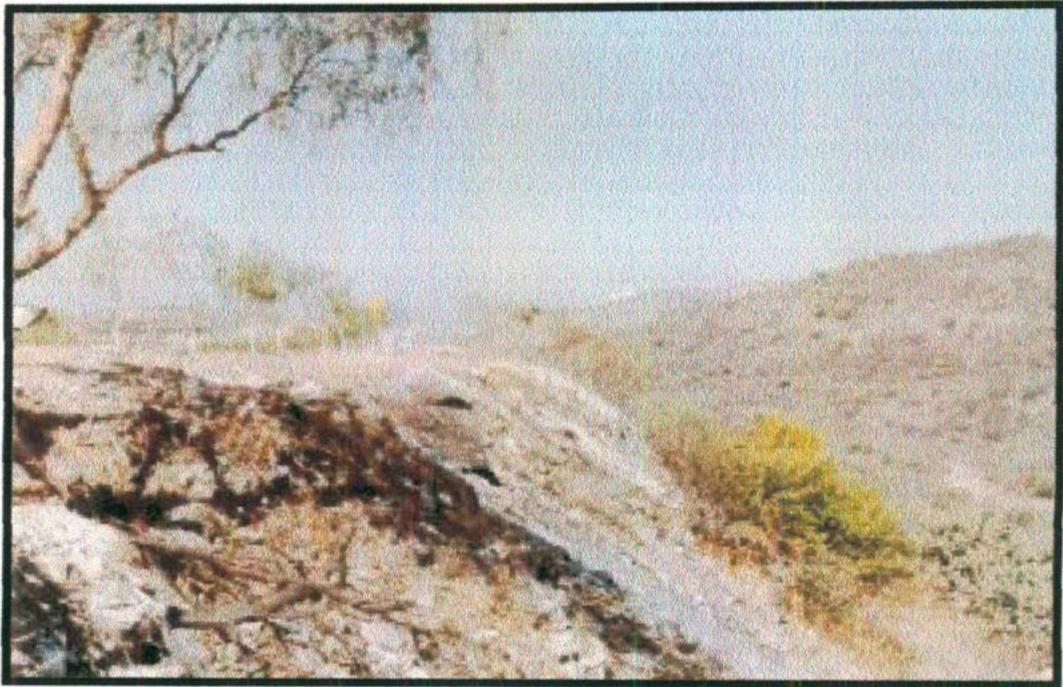


FOTO 3. En la foto se puede observar la cantidad de azolve que se deposita en las márgenes de los cauces y que posteriormente caen en los mismos.

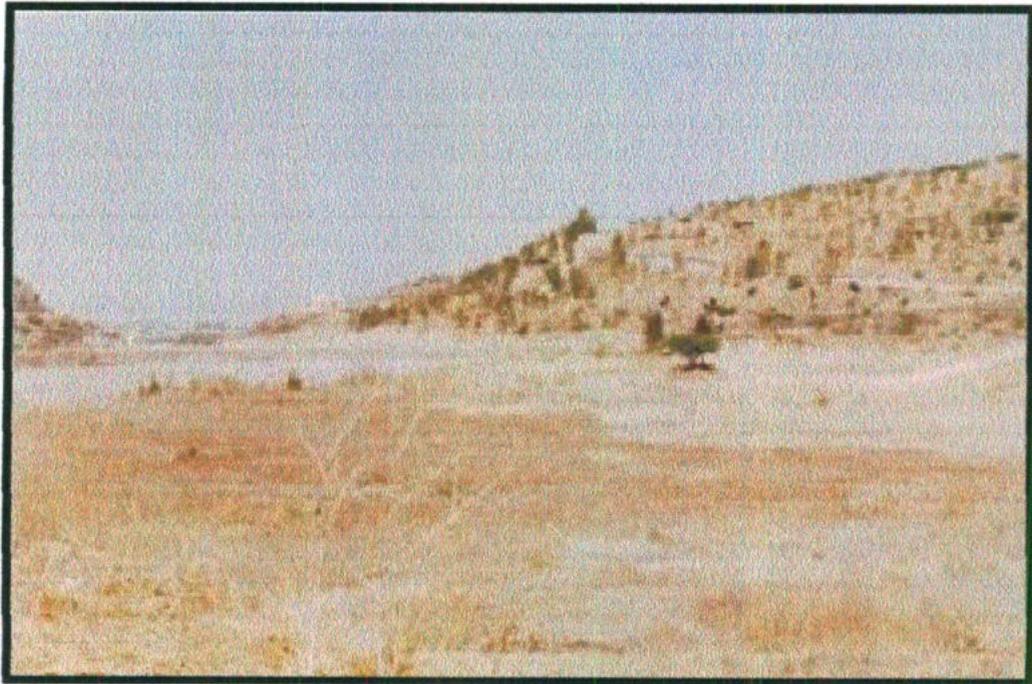


FOTO 4. Al fondo se puede apreciar un muro de contención, al costado derecho del muro, una terraza construida sobre la ladera.

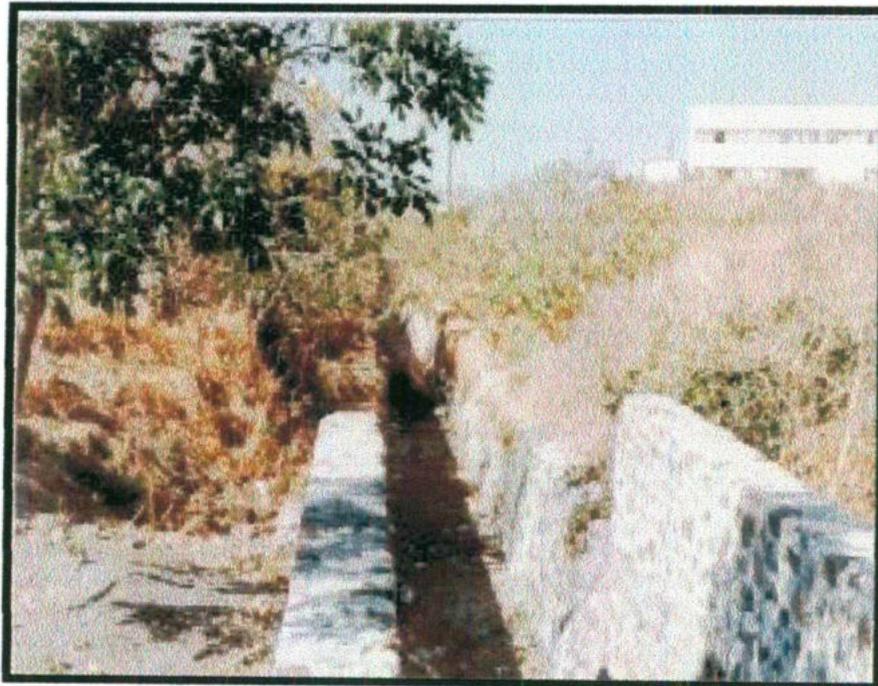
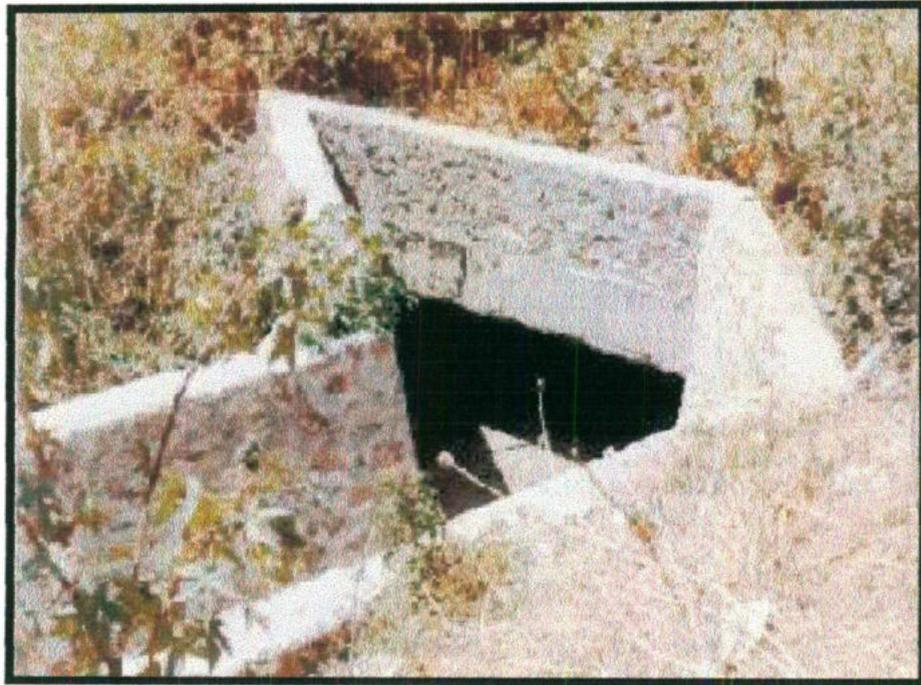


FOTO 5 y 6. Canal rectangular de sección pequeña, insuficiente para transportar el caudal que aporta la subcuenca del arroyo Cuesta China.

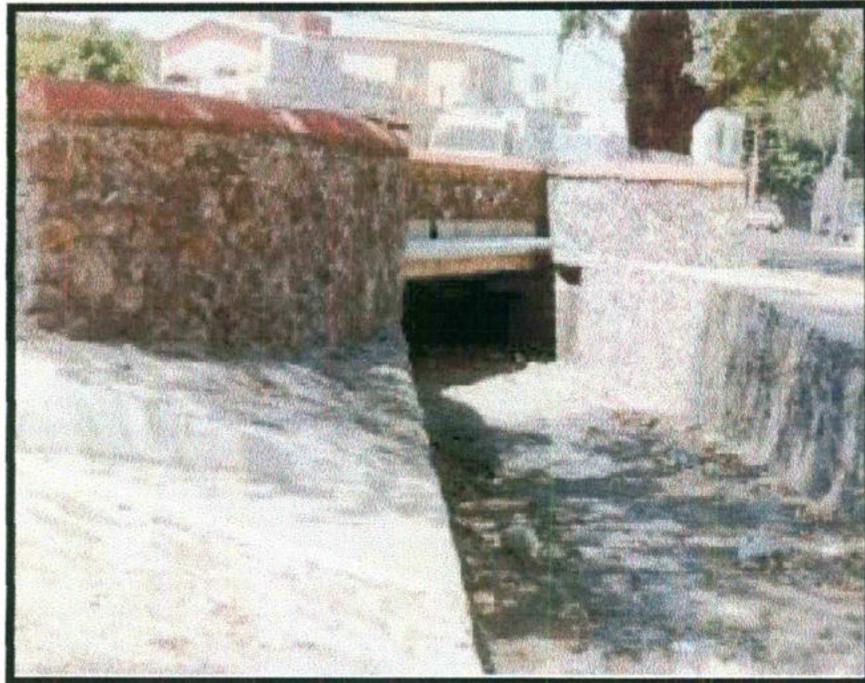


FOTO 7 y 8. Canal "Dren Cimatario", desde diferentes puntos; es conveniente mencionar que este dren nace en el sitio donde termina el cauce del arroyo Cuesta China. Obsérvese la basura que se encuentra en este dren, y que también es causante del mal funcionamiento de éste.



FOTO 9. En la foto se muestra la entrada del canal a la colonia El Marqués, mediante un canal rectangular que cruza a ésta.

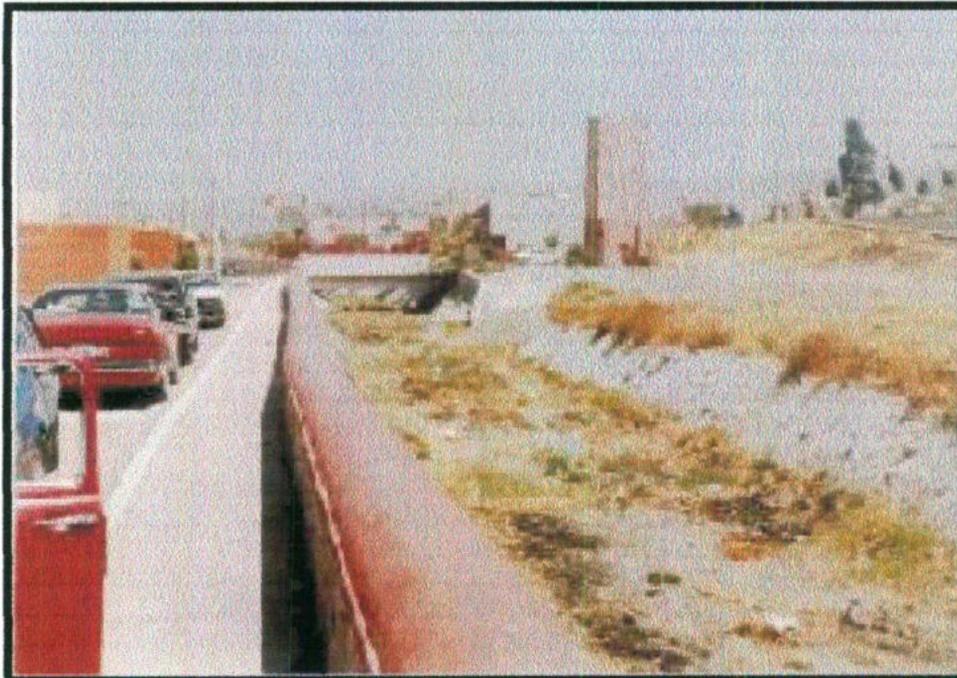


FOTO 10. En la foto se muestra un tramo del dren Cimatarío con gran cantidad de sedimentos.



FOTO 10. Otra toma del dren Cimatario, son la misma problemática de sedimentos. Y esto se puede seguir viendo a todo lo largo de este dren.

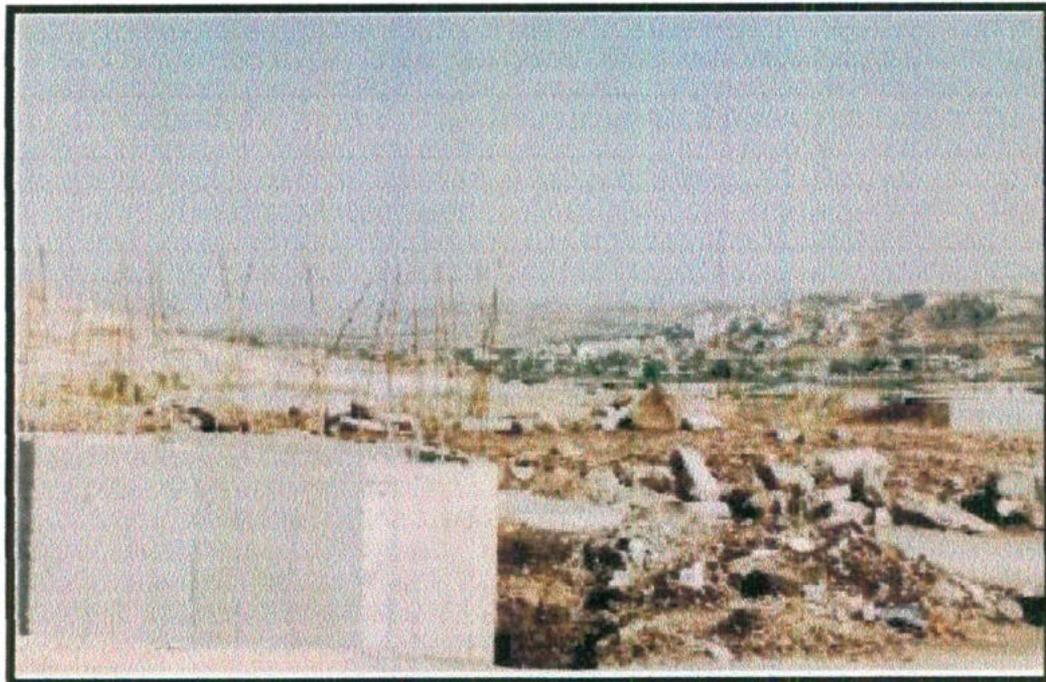


FOTO 11. Parte de los problemas de sedimentación en los cauces de la ciudad son originados por materiales sueltos en los bancos o en las construcciones, como se puede observar en la foto.



FOTO 12. Modelo que representa las condiciones actuales de la cuenca, se puede apreciar algunas estructuras, como son la central de autobuses, el estadio de Fútbol, el centro comercial carrefuor.



FOTO 13 y 14. En estas fotos podemos ver los muros de contención que existen actualmente, el que se encuentra arriba de la tienda Carrefour, y otro más hacia arriba. (fotos de maqueta)



FOTO 15. Simulación de una avenida, en condiciones actuales, se puede ver el comportamiento del flujo del agua con los muros actuales.



FOTO 16. En esta foto se muestran los muros de contención que se proponen.



FOTO 17. Simulación de una avenida, con las obras propuestas.



FOTO 18. En esta foto se muestra las obras propuestas con sedimentos (acción futura de las obras).



FOTO 19. Vista aérea de la zona de estudio con sedimentos.



FOTO 20 y 21. Simulación de una avenida en condiciones futuras de las obras.

9. BIBLIOGRAFÍA

Actualización del estudio hidrológico de avenidas de los bordos reguladores Tángano I Norte, Tángano II Sur y Lago Norte, ubicados en el Desarrollo Urbano Centro Sur de la ciudad de Querétaro.

Las propiedades agropecuarias en el valle de Querétaro.
Tesis de: Lic. en Sociología José Alejandro García Guerrero.

El Ejidatario y su concepción de la Tierra.
Cambios económicos y sociales en los usos del suelo ante la modificación del artículo 27 en el edo. de Querétaro.
Septiembre de 1999.

Cartografía impresa de INEGI.
Escala 1:50000, 1994.

Anuario Estadístico del Estado de Querétaro de Arteaga, 1995. INEGI.

Anuario Económico del Estado de Querétaro de Arteaga, 1995. INEGI.

Levantamiento fisiográfico del Estado de Querétaro.
Jesús Soria Ruiz
Rodrigo Aveldaño
Carlos A. Ortiz.
Edit. SARIA.

Plan de protección de Embalses
Tesis de grado
M.en I. Pablo Talamantes Contreras.

Alumnos de la maestría en ciencias línea terminal en Hidráulica.

Flexible structures in river and stream training works
R. Agostini, A. Bizzarri, M. Masetti.
S.P.A. Officine Maccaferri Bologna.

Per una difesa del territorio
La sistemazione dei bacino montani in provincia di Trento attraverso i secoli
Azienda Speciale di Sistemazione Montana
Provincia Autonoma di Trento

Corrección de torrentes y estabilización de cauces
F. López Cadenas de Llano
Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación