

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Departamento de Ingeniería Civil**



*Excelencia que trasciende*

**DEL VALLE**  
GRUPO EDUCATIVO

**Propuesta para la mitigación de desastres por inundaciones en  
el municipio de Antigua Guatemala, Sacatepéquez.**

Trabajo de graduación presentado por  
Juan Carlos Velasquez Tobar  
para optar al grado académico de Licenciado en  
Ingeniería Civil.

Guatemala  
2016



**Propuesta para la mitigación de desastres por  
inundaciones en el municipio de Antigua  
Guatemala, Sacatepéquez.**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Departamento de Ingeniería Civil**



*Excelencia que trasciende*

**DEL VALLE**  
GRUPO EDUCATIVO

**Propuesta para la mitigación de desastres por inundaciones en  
el municipio de Antigua Guatemala, Sacatepéquez.**

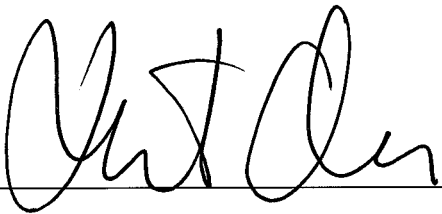
Trabajo de graduación presentado por  
Juan Carlos Velasquez Tobar  
para optar al grado académico de Licenciado en  
Ingeniería Civil.

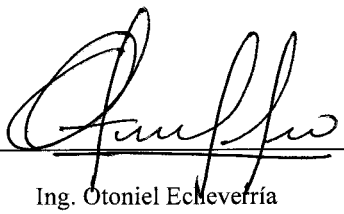
Guatemala  
2016

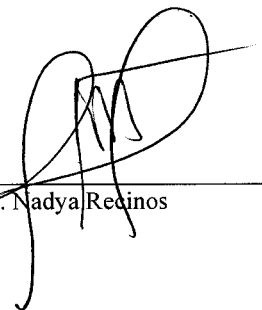
Vo. Bo. :

(f)   
Ing. Otoniel Echeverría

Tribunal Examinador:

(f)   
Ing. Roberto Godo Levensen

(f)   
Ing. Otoniel Echeverría

(f)   
Ing. Nadya Redinos

Fecha de aprobación: Guatemala, 24 de enero de 2017

## CONTENIDO

LISTA DE TABLAS .....	VI
LISTA DE GRÁFICOS .....	VII
LISTA DE IMÁGENES .....	VIII
LISTA DE MAPAS .....	IX
RESUMEN .....	X
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. JUSTIFICACIÓN .....	2
III. OBJETIVOS .....	3
IV. MARCO TEÓRICO .....	4
A. Desarrollo urbano.....	4
B. Proceso del desarrollo urbano entre países desarrollados y en vías de desarrollo..	4
C. Problemas de infraestructura y drenaje urbano en los países en desarrollo .....	6
D. Hidrología básica .....	10
E. Evaluación de la calidad de los componentes hídricos urbanos: .....	14
F. Inundaciones urbanas:.....	16
G. Inundaciones ribereñas: .....	16
H. Drenaje urbano:.....	17
I. Manejo y control de inundaciones urbanas:.....	19
J. Enfermedades relacionadas con el agua: .....	25
V. ANÁLISIS DE LA MICROCUENCA .....	27
A. Situación actual de la microcuenca.....	27
B. Diagnóstico de daños .....	44
C. Historial de inundaciones y daños causados .....	50
D. Bases para sustentar el plan de protección.....	54
E. Medidas de tratamiento de tierras .....	56
F. Simulación de inundación.....	57
G. Alternativas de protección .....	60
VI. Conclusiones.....	62
VII. Recomendaciones.....	63
VIII. Bibliografía.....	64
IX. Anexos.....	65

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Problemas y soluciones relacionadas con el agua en países en desarrollo .....	8
Tabla 2: Infraestructura sanitaria entre países desarrollados y en desarrollo. ....	9
Tabla 3: Tiempo de concentración.....	29
Tabla 4: Datos para el cálculo de Curva Hipsométrica.....	30
Tabla 5: Fisiografía de Antigua Guatemala .....	33
Tabla 6: Uso de la tierra en Antigua Guatemala (Actualización 2015).....	34
Tabla 7: Uso total del suelo en Antigua Guatemala .....	35
Tabla 8: Serie de suelos en Antigua Guatemala .....	37
Tabla 9: Clasificación para el uso de la tierra.....	38
Tabla 10: Zonas de vida en Antigua Guatemala.....	38
Tabla 11: Base de datos climatológica de la estación “Suiza Contenta” .....	39
Tabla 13: Historial de inundaciones en debido al río Pensativo.....	50
Tabla 14: Días de lluvia en el mes de septiembre.....	51
Tabla 15: Principales actividades de la población económicamente activa .....	54

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Perfil Longitudinal del Río Pensativo .....	29
Gráfico 2: Curva Hipsométrica.....	30
Gráfico 3: Curva de Frecuencias Altimétricas.....	31
Gráfico 4: Precipitación media mensual .....	40
Gráfico 5: Precipitaciones máximas y mínimas.....	40

## LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1: Crecimiento de países desarrollados vs en desarrollo .....	5
Imagen 2: Región del trópico.....	7
Imagen 3: Desarrollo de una cuenca hidrográfica .....	10
Imagen 4: Desarrollo de una cuenca hidrográfica .....	13
Imagen 5: Esquema de lecho menor y mayor.....	17
Imagen 6: Esquema de los sistemas macro y micro drenaje.....	18
Imagen 7: Manejo de inundaciones .....	20
Imagen 8: Asfaltos permeables.....	22
Imagen 9: Reservorio superficial.....	23
Imagen 10: Zonificación de áreas inundables.....	24
Imagen 11: Mapa de isoyetas medias anuales de la micro cuenca .....	41
Imagen 12: Desborde del río Pensativo en San Pedro las Huertas .....	45
Imagen 13: Desborde del río Pensativo en San Pedro el Panorama .....	45
Imagen 14: Cauce del río Pensativo en temporada de lluvia.....	46
Imagen 15: Cauce del río Pensativo.....	47
Imagen 16: Trabajos de limpieza del río Pensativo .....	47
Imagen 17: Desechos sólidos en el río Pensativo .....	48
Imagen 18: Cauce del río Pensativo con obstrucción vegetativa.....	48
Imagen 19: Cauce del río Pensativo.....	49
Imagen 20: Cauce del río Pensativo bajo el puente Matasano.....	51
Imagen 21: Puentes ubicados en el cauce del río Pensativo .....	53
Imagen 22: Simulación de inundación.....	57
Imagen 23: Área de café afectada.....	58
Imagen 24: Relieve del terreno afectado por inundación. ....	59
Imagen 25: Lugares poblados afectados por simulación de inundación.....	59

## LISTA DE MAPAS

Mapa 1: Mapa de Antigua Guatemala .....	28
Mapa 2: Microcuenca río Pensativo .....	28
Mapa 3: Distribución geográfica de Antigua Guatemala .....	32
Mapa 4: Fisiografía de Antigua Guatemala .....	33
Mapa 5: Uso de tierras en Antigua Guatemala .....	35
Mapa 6: Clasificación de suelos de Antigua Guatemala .....	36
Mapa 7: Clasificación para el uso de la tierra en Antigua Guatemala.....	37
Mapa 8: Zonas de vida en Antigua Guatemala.....	39

## **RESUMEN**

El proyecto de investigación busca proponer alternativas para la mitigación de desastres por inundaciones en el municipio de Antigua Guatemala, Sacatepéquez. Actualmente este es uno de los problemas que afectan cada vez más a la población en épocas de invierno debido a que el río Pensativo se desborda, existen deslaves y un aumento de la escorrentía debido a la deforestación y el mal uso del suelo. Esto a su vez provoca que los drenajes lleguen a colapsar y el agua se contamine debido al mal manejo de sedimentos y desechos sólidos.

El trabajo se desarrollará durante el segundo semestre del año 2016 y se subdividirá en dos etapas principales.

En la primera etapa consiste en la recopilación información sobre el estado de la microcuenca para determinar los problemas que causan las inundaciones. Las herramientas que se utilizarán en esta etapa son las características biofísicas, socioeconómicas y culturales de la cuenca hidrográfica, los daños a nivel de ladera, valle y a nivel de cauce. Además de utilizar como herramientas el uso de mapas SIG, los cuales permitirán determinar las posibles amenazas a tratar.

Finalmente, la segunda etapa consistirá en analizar y evaluar la información recopilada para generar la propuesta para la mitigación de inundaciones. En esta etapa se identificarán los daños a través de los años, además identificando las bases para sustentar un plan de protección se comenzará a formular alternativas de protección tomando en cuenta el tratamiento de la tierra.

# I. INTRODUCCIÓN

Desde hace varios siglos, la ciudad que hoy conocemos como La Antigua Guatemala ha sufrido diversos desastres naturales debido a su posición geográfica. Esta ciudad se ve afectada por volcanes, fuertes sismos y sobretodo inundaciones que todos los años ponen en riesgo a la población. El río Pensativo es uno de los afluentes que más daños a causado debido a que en la temporada de lluvias este río se ha salido de su cauce.

En este trabajo se busca determinar las posibles causas de las inundaciones debido al desbordamiento del río Pensativo y desarrollar una serie de propuestas que ayuden a mitigar los daños.

Para realizarlo fue necesario realizar una evaluación de la situación actual de la cuenca, el río Pensativo, la población de Antigua Guatemala y los daños que ha sufrido anteriormente dicha ciudad debido a las crecidas del río.

Además, se hizo el uso de mapas y herramientas digitales de información geográfica para analizar el área de estudio y determinar los factores que han producido las inundaciones. Gracias a esto se determinó que el principal problema que presenta el río Pensativo es la sedimentación en las partes bajas del cauce debido a una disminución de la pendiente del río, lo que reduce la velocidad del cauce y favorece a la deposición de material.

Se determinó que la alternativa más viable para mitigar los riesgos es el dragado del río para aumentar la pendiente y la sección del río. Para que los resultados sean mejores es necesario que se implementen programas de reforestación, manejo adecuado de desechos sólidos y mejorar las prácticas agrícolas para evitar la erosión del terreno. Esto ayudaría que el mantenimiento por medio de un dragado sea menor y el que el trabajo sea más eficiente.

## **II. JUSTIFICACIÓN**

El río Pensativo nace en el departamento de Sacatepéquez, con una longitud aproximada a los 11.29 kilómetros el cual atraviesa la microcuenca de norte a suroeste hasta desembocar en el río Guacalate. En muchas ocasiones ha causado inundaciones en Antigua Guatemala debido a las crecidas del río provocadas por el aumento de la escorrentía en época de lluvia, el cual a lo largo de la historia ha sido un problema. Debido a la posición geográfica de la ciudad, el mal uso de la tierra, los cambios climáticos y el mal manejo de desechos sólidos han provocado que los daños aumenten cada vez más.

En la actualidad la municipalidad de la Antigua Guatemala y su nueva administración que comenzó en enero del 2016 tiene propuesto en su plan de trabajo soluciones para disminuir inundaciones en la ciudad y deslaves en la carretera que conduce hasta la Antigua Guatemala. En administraciones anteriores se comenzaron algunos proyectos para minimizar los daños, pero algunos de estos proyectos no se llevaron a cabo y algunos ni siquiera fueron concluidos.

Es por ello, que a través de la propuesta para la mitigación de desastres por inundaciones se espera evitar el desbordamiento del río Pensativo, proteger las viviendas de las personas que habitan cerca del río, mejorar las practicas agrícola y reducir los daños por deslaves en épocas de invierno.

### **III. OBJETIVOS**

#### *A. Generales*

Desarrollar una propuesta para mitigar inundaciones en el municipio de Antigua Guatemala, por medio de un análisis y evaluación de la microcuenca hidrográfica.

#### *B. Específicos*

1. Determinar las causas de inundaciones y deslaves en la Antigua Guatemala en época de invierno.
2. Desarrollar posibles alternativas de protección y prevención ante inundaciones y deslaves.
3. Analizar y determinar el impacto económico que provocaría una inundación por medio de una simulación del desastre natural.

## **IV. MARCO TEÓRICO**

### **A. Desarrollo urbano**

El desarrollo urbano es un sistema de expansión residencial que crea las ciudades. Las zonas residenciales son el principal punto de interés en el desarrollo urbano, esto ocurre por la expansión en las zonas no pobladas o en la renovación de las regiones en decadencia. El desarrollo urbano persigue el equilibrio entre los aspectos físicos, económicos y sociales. (Tucci, 2006)

Cada país debe velar por la protección y conservación del medio ambiente, invertir en tecnología encaminada a un desarrollo sustentable y al mejoramiento de la calidad de vida de la población. (Tucci, 2006)

### **B. Proceso del desarrollo urbano entre países desarrollados y en vías de desarrollo**

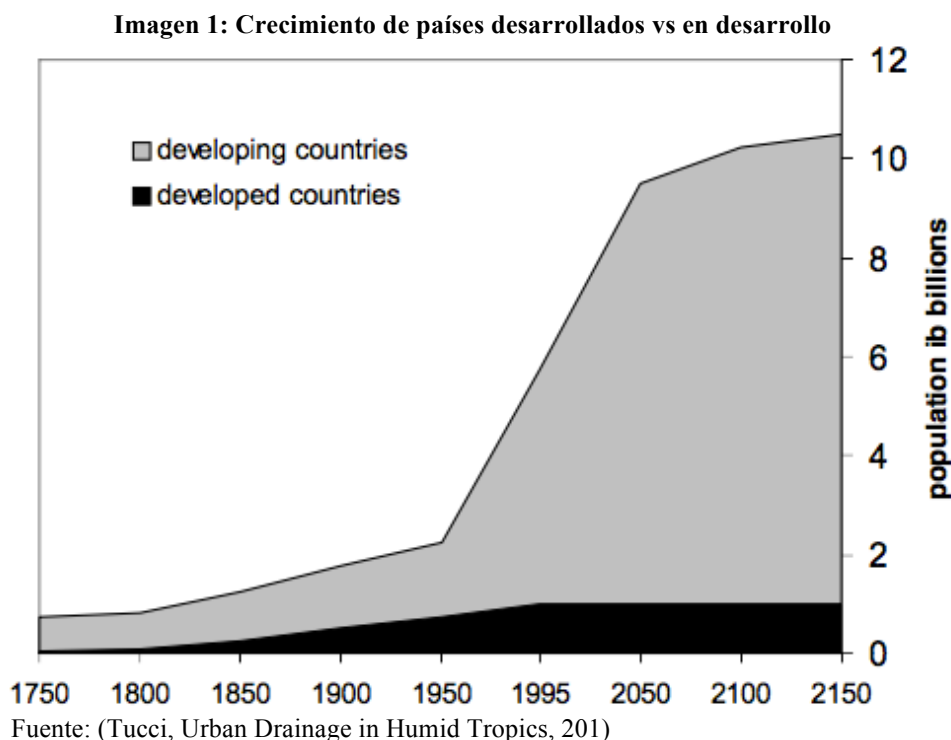
La urbanización debido al desarrollo urbano es inevitable, en algunos países esta expansión está controlada y tiene un aumento estable, pero en algunos casos no se tiene control del mismo, lo cual afecta la calidad de vida de las personas y el medio ambiente.

En los años 1800 solo el 1% de la población vivía en ciudades. La revolución industrial no solo trajo consigo una mejora en los procesos de producción sino a su vez el aumento de la urbanización, la cual ha incrementado a un ritmo acelerado a nivel mundial. Se cree que durante la primera mitad del siglo XX la población mundial aumentó un 49% y la población urbana en un 240%. En el continente americano la mayor concentración de personas se encuentra en las principales ciudades del país, las cuales se ven afectadas por un alto ritmo de crecimiento, el cual se considera como el más alto de todos los tiempos y a nivel mundial. (Global Water Partnership, 2002)

El crecimiento urbano tuvo un desarrollo significativo desde la década de los 70. En los países desarrollados el crecimiento de la población se estacionó y comienza a disminuir ya que la tasa de natalidad es inferior a 2.1 hijos por matrimonio, lo que trae consigo una población estable. (Tucci, 2006)

Para que la población sea estable debe de existir una migración controlada. En el caso de los países en desarrollo el crecimiento de la población es sumamente importante. La Organización de las Naciones Unidas (ONU) estima que la estabilización de la población ocurrirá hasta en el año 2150.

En la siguiente figura se muestra el crecimiento de la población en los países desarrollados y en desarrollo hasta el año 2150.



En América Latina la urbanización es alta ya que se da una transferencia de la población rural hacia las ciudades. La tasa de crecimiento de la población urbana de América Latina y el Caribe creció entre el 3% al 5% en la mitad del siglo XX. El desarrollo urbano en países en desarrollo presenta una gran concentración de población áreas pequeñas, con deficiencia en el transporte público, no poseen sistemas de drenajes adecuados, el agua y el aire presentan altos niveles de contaminación. Estas malas condiciones ambientales son la principal preocupación ya que estas personas viven en su mayoría en asentamientos ilegales donde presentan una mala calidad de vida. (Tucci, Urban Drainage in Humid Tropics, 201)

Existe una gran tendencia de migración de gente hacia las afueras de las ciudades, en América Latina, el aumento de los barrios y ciudades satélites es inminente. Los barrios de las regiones marginales más pobres son desordenadas, con construcciones no reglamentadas y en la mayoría de los casos presentan carencia de sistemas de servicios urbanos y colectivos. (Global Water Partnership, 2002)

En estas zonas ilegales o barrios habita gente que construye sus hogares con cartón o materiales de desecho en lugares propensos a desastres como inundaciones o laderas empinadas. Al pasar de los años estas construcciones han mejorado ya que utilizan block o cemento para su construcción, así mismo también ha aumentado la cantidad de personas y casas que habitan en el barrio. Esto provoca un arreglo habitacional en forma de laberinto, con pequeñas calles sin ningún tipo de planificación para el suministro de agua, eliminación de residuos y drenaje. (Tucci, Urban Drainage in Humid Tropics, 201)

### **C. Problemas de infraestructura y drenaje urbano en los países en desarrollo**

Como se mencionó anteriormente América Latina posee un crecimiento urbano muy acelerado, esto crea inconvenientes ya que algunos de los países aún se encuentran en desarrollo y no poseen la infraestructura adecuada para atender las necesidades de la población. A continuación, se presentan los principales problemas relacionados con la infraestructura y la urbanización que más se destacan de América Latina:

- Aumento del perímetro de las ciudades: este se vuelve descontrolado, ya que la población rural migra hacia las grandes ciudades en busca de empleo. Estos barrios a las afueras de las ciudades generalmente presentan ausencia de seguridad, de infraestructura relacionada al agua (cloacas, drenajes) y la colecta de residuos sólidos.
- Gran concentración de población en pequeñas áreas: lo cual produce una deficiencia en el sistema de transporte, falta de suministros, saneamiento, agua y aire contaminada y están propensos a inundaciones. Las condiciones ambientales inadecuadas presentan limitaciones al desarrollo de estas personas ya que reducen su calidad de vida y sus condiciones de salud además que producen serios impactos al medio ambiente.
- Urbanización espontánea: la población rural que migra hacia la ciudad, ocupa lugares los cuales no presentan un planeamiento del espacio ya que se establecen en áreas con riesgo de inundaciones y deslizamientos en el periodo de lluvias.  
(Tucci, Gestión de Inundaciones Urbanas, 2006)

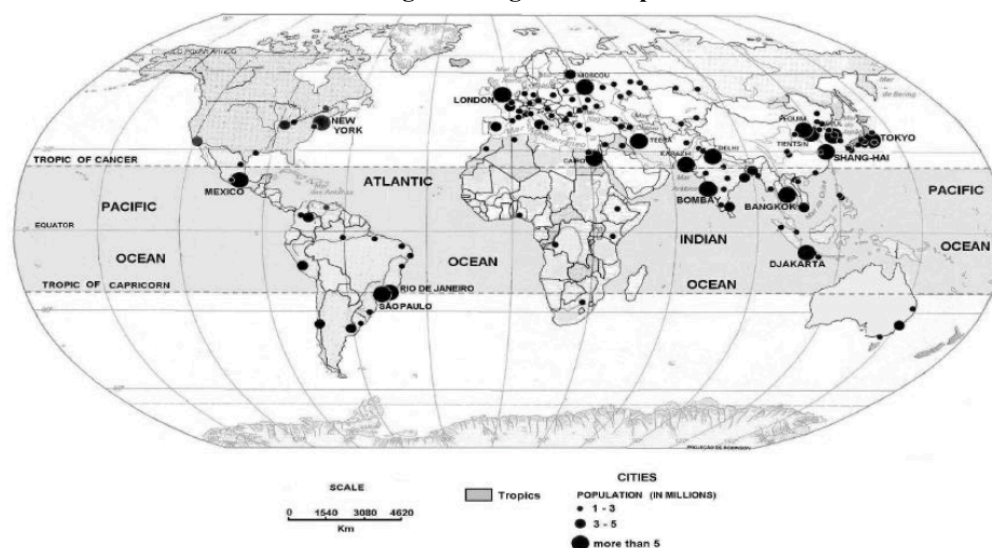
Los problemas relacionados con la infraestructura y la urbanización son causados por uno a más factores, los cuales han incrementado en las últimas décadas, estos son:

- Las poblaciones que migran hacia las ciudades normalmente son de baja renta por lo que tienden a invadir áreas públicas o comprar áreas inseguras. Esto produce una urbanización informal ya que no poseen una infraestructura adecuada y son áreas con riesgo de inundaciones y deslizamientos.
- Existe un déficit de empleo en el país y el precio de renta y vivienda es alto.

- Legislaciones relacionadas al control del espacio urbano con un mal enfoque.
- Crisis económica en el país.
- Las municipalidades tienen poco control de las áreas con valor medio-alto, relacionado a la reglamentación de uso del suelo.

El planeamiento urbano inadecuado y la infraestructura informal trae consigo problemas relacionados con la infraestructura de agua, en el cual el clima juega un papel muy importante. La región del trópico se encuentra desde el trópico de Cáncer y el trópico de Capricornio. En toda esta región se presenta un clima bastante húmedo, el cual se caracteriza debido a que en algunos países tienen alrededor de siete meses de lluvia al año y promedios altos de temperatura cada mes del año. Además, pueden tener precipitaciones mayores a los 2,000 mm al año. (Tucci, Urban Drainage in Humid Tropics, 201)

**Imagen 2: Región del trópico**



Fuente: (Tucci, Urban Drainage in Humid Tropics, 201)

Como se observa en la imagen anterior en la región del trópico se encuentran países desde México hasta Brasil, de los cuales muchos aún son países en vías de desarrollo. La alta tasa de desarrollo urbano, falta de sistemas de drenaje y tratamientos de agua inadecuados y un clima que presenta mucha precipitación en el año trae consigo efectos devastadores cuando llega una fuerte tormenta.

Algunos de los principales problemas relacionados con la infraestructura de agua en las áreas urbanas son:

- Falta de tratamiento de drenajes: gran parte de las ciudades de esta región del trópico, no poseen un tratamiento adecuado de drenajes y lanzan los efluentes a la red de agua pluvial que luego se trasladan hasta los ríos urbanos.

- Ocupación de áreas de riesgo con problemas de inundaciones frecuentes.
- Aumento de la carga de residuos sólidos y disminución de la calidad del agua pluvial sobre los ríos aledaños a las zonas urbanas.
- Degradación de las zonas urbanas debido a la erosión y la sedimentación.
- Deterioro de la calidad del agua debido a la falta de tratamiento de los efluentes, por lo que se generan riesgos potenciales al abastecimiento de la población ya que ponen en riesgo la salud.

El crecimiento demográfico es uno de los principales problemas que afectan la planificación de los recursos hídricos. La falta de agua potable es cada vez mayor debido principalmente a:

- Aumento de la demanda de agua debido al crecimiento de la población.
- Degradación del agua (acuíferos y ríos) causada por contaminación.

Para los países en desarrollo, los costos para el saneamiento del agua son de los retos más importantes. La falta de cobertura de saneamiento es uno de los indicadores de la pobreza urbana, ya que la sobrepoblación y las malas condiciones de vida en los sectores pobres de los países en desarrollo contribuyen a la degradación del agua debido a la falta de sistemas adecuados para la eliminación de los desechos humanos.

**Tabla 1: Problemas y soluciones relacionadas con el agua en países en desarrollo**

Water	Alternatives	Main issues
Sources	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Surface flow</li> <li>• Groundwater</li> </ul>	Contamination from domestic, industrial and agriculture waste
Water supply	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Treatment plants and water supply network;</li> <li>• Well supply with some treatment</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Water losses due to network leak;</li> <li>• water contamination by chemical compounds</li> </ul>
Sanitation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Network and major treatment plants</li> <li>• Condominium waste treatment</li> <li>• Well disposal without treatment</li> <li>• Network and disposal without treatment</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sewer networks without waste treatment;</li> <li>• Groundwater contamination</li> <li>• Lack of waste treatment</li> </ul>
Drainage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Separate sewer</li> <li>• Combined sewer</li> <li>• No storm sewer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Overflow of combined sewers;</li> <li>• In separate systems part of the sewage flow is linked into the storm sewers;</li> <li>• Lack of flow control when urbanization increases</li> </ul>
Flood hazard	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Structural</li> <li>• Non-structural</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flood valley occupation with urbanization;</li> <li>• Lack of Law enforcement in flood zoning</li> </ul>

Fuente: (Tucci, Urban Drainage in Humid Tropics, 201)

En estudios recientes concluyeron que, en los países en desarrollo los proyectos enfocados al saneamiento generalmente son ineficientes o no se llevan a cabo debido a que no se toman en cuenta las necesidades de los usuarios, las inversiones resultan ser malas y se obtienen en su mayoría pérdidas económicas. Así mismo se presenta una falta de desarrollo, por lo que el financiamiento se vuelve difícil, existe poco contacto con los clientes y las soluciones únicamente son centralizadas. Por último, el funcionamiento y mantenimiento de los sistemas no suelen ser adecuados por lo que se obtiene un mal rendimiento.

En la mayoría de los países desarrollados, los aspectos cuantitativos del drenaje urbano no presentan dificultad alguna por lo que se obtiene un mayor control a lo que respecta la calidad del agua. En los países en desarrollo el saneamiento sigue siendo un problema importante, al no contar con un tratamiento adecuado para la eliminación de los desechos, se está disminuyendo la cantidad de agua potable para las nuevas generaciones.

A continuación, se muestra una tabla que compara los servicios de agua entre los países desarrollados y en desarrollo.

**Tabla 2: Infraestructura sanitaria entre países desarrollados y en desarrollo.**

<b>Infraestructura urbana</b>	<b>Países desarrollados</b>	<b>Países en vías de desarrollo</b>
Abastecimiento de agua	Resuelto, cobertura total	Gran cobertura; tendencia de reducción de la disponibilidad debido a la contaminación de las fuentes; gran cantidades de pérdidas en la red
Saneamiento	Gran cobertura en la colecta y tratamiento de los efluentes	Falta de red y estaciones de tratamiento; las que existen no consiguen colectar las cloacas proyectadas;
Drenaje Urbano	Los aspectos cuantitativos están controlados; Gestión de la calidad del agua	Impactos cuantitativos sin solución; Impactos debido a la calidad del agua no fueron identificados.
Inundaciones Ribereñas	Medidas de control no estructurales como seguro y zoneamiento de inundación	Grandes perjuicios por la falta de política de control

Fuente: (Tucci, Gestión de Inundaciones Urbanas, 2006)

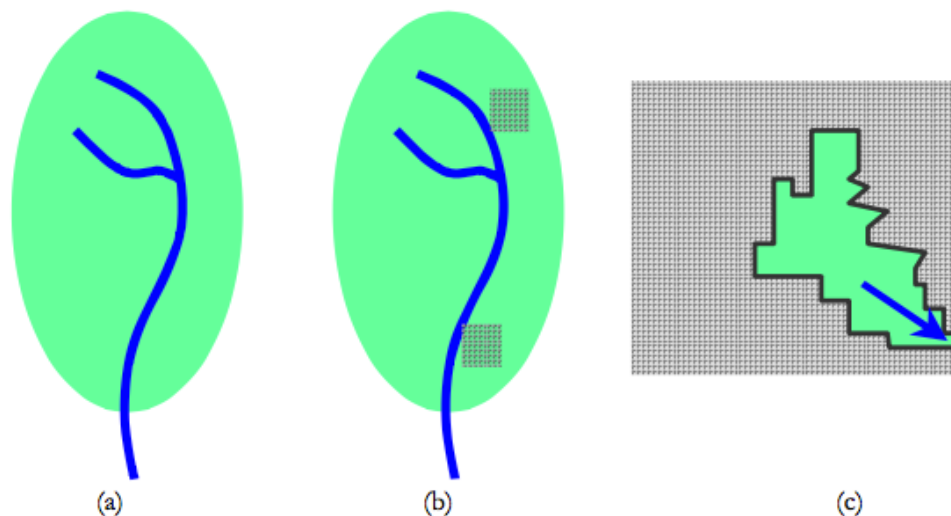
Como se observa en la tabla, el control cuantitativo del agua en el drenaje es limitado en los países en desarrollo. Por lo que la calidad del agua sigue siendo muy pobre en estos países. También se observa que las inundaciones ribereñas en los países en desarrollo tienen un impacto grande ya que las municipalidades aún no han establecido políticas de desarrollo para los asentamientos ilegales, además que se realiza una mala inversión en soluciones estructurales.

#### D. Hidrología básica

Se denomina cuenca hidrográfica a la porción de la superficie del terreno que recolecta agua de lluvia, la cual es conducida por una red de drenaje de un punto a otro. Las cuencas hidrográficas se delimitan por medio de una línea divisoria de agua, la cual se define como un trazo imaginario que separa una cuenca de la otra. En áreas urbanas donde ya existe una infraestructura los caminos, canales o el sistema de drenaje también actúan como divisorias de agua. (Global Water Partnership, 2002)

La urbanización de es uno de los principales factores que afectan las redes de drenaje naturales que posee la cuenca, en la siguiente imagen se muestra un esquema de la cuenca con su cauce natural (a), seguido de un proceso de urbanización (b) y por ultimo una cuenca dentro del área urbana (c).

**Imagen 3: Desarrollo de una cuenca hidrográfica**



Fuente: (Global Water Partnership, 2002)

Como se mencionó anteriormente las líneas divisorias también son las encargadas de separar las precipitaciones que caen en otras cuencas. La divisoria une las cotas más grandes entre cuencas, así mismo los terrenos de una cuenca son delimitados por dos tipos de divisorias: las topográficas y las freáticas. La divisoria topográfica normalmente se utiliza para definir el área de la cuenca, en el caso de una freática establece los límites de los embalses del agua subterránea. (Monsalve, 1999)

La clasificación de los cursos de agua de una cuenca se divide en tres: Perennes, Intermitentes y Efímeros. Cada uno de ellos se define dependiendo de la constancia de la esorrentía que transportan.

- **Perennes:** Son las que contienen corriente todo el tiempo, el nivel de agua subterránea mantiene un suministro continuo y nunca desciende por debajo del manto freático.
- **Intermitentes:** La corriente escurre en época de lluvia y al momento de llegar el verano estos se secan, por lo que el nivel de agua subterránea se conserva por encima del nivel de lecho en época lluviosa. En el verano el escurrimiento cesa y solo se produce después de una tormenta.
- **Efímeros:** Son las corrientes de agua que existen únicamente durante o inmediatamente después de una precipitación y solo transportan escurrimiento superficial. El nivel freático se encuentra por debajo del lecho del río por lo que no existe escurrimiento subterráneo. (Monsalve, 1999)

Las características físicas y morfológicas de una cuenca tienen una gran influencia sobre la respuesta hidrológica ya que proporcionan información para conocer la variación de los elementos hidrológicos. Entre las cuales se pueden destacar:

**1. Tipos de cuenca según su tamaño y salida.** La cuenca hidrográfica puede clasificarse según su tamaño:

- **Cuenca:** áreas mayores a  $700\text{km}^2$ .
- **Subcuenca:** se encuentran dentro de una cuenca y poseen un área entre los 100 y  $700\text{ km}^2$ .
- **Microcuenca:** es un área de escurrimiento superficial dentro de una subcuenca, tiene una extensión menor a  $100\text{ km}^2$ .

Ahora bien, las cuencas se pueden denominar como:

- **Exorreicas:** Conducen sus aguas hacia otra cuenca o hacia el mar.
- **Endorreicas:** Sus aguas desembocan en lagos o lagunas dentro de la misma cuenca.
- **Arreicas:** Las aguas se evaporan o se filtran en el terreno.

**2. Área de la cuenca.** Área de drenaje: Se le conoce así al área plana encerrada por la divisoria topográfica.

**3. Forma de la cuenca.** La forma de la cuenca es importante ya que se relaciona con el tiempo que tarda el agua para transportarse desde el punto más alto hasta la salida de la cuenca. Existen algunos factores que ayudan a comprender el comportamiento del agua según la forma de la cuenca, uno de ellos es el índice de compacidad  $K_c$  el cual relaciona el perímetro de la cuenca y la circunferencia de un círculo que tenga un área igual a la de la cuenca, se calcula de la siguiente manera:

**4. Factor de compacidad (Kc):**

$$K_c = \frac{0.28P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

P: es el perímetro de la cuenca en km.

A: el área de la cuenca en km<sup>2</sup>.

Mientras más cercano a 1 sea el resultado más regular es la cuenca por lo que tendrá una mayor tendencia a las crecientes. (Monsalve, 1999)

**5. Factor de forma (Kf):** Es la relación entre el ancho medio y la longitud del cauce principal el cual se mide desde la cabecera más lejana de la cuenca hasta la desembocadura, se calcula de la siguiente manera:

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

L: longitud del cauce principal en km.

A: el área de la cuenca en km<sup>2</sup>.

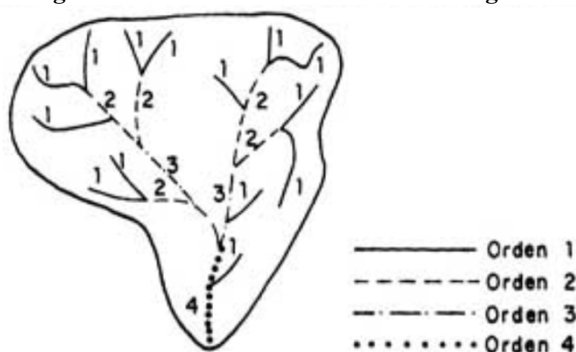
Una cuenca con un factor de forma bajo está menos sujeta a crecientes que otra del mismo tamaño, pero con mayor factor de forma. (Monsalve, 1999)

**6. Red de drenaje.** Las cuencas poseen un sistema de drenaje el cual está constituido por el río principal y sus ramificaciones, representa la forma y la trayectoria de los cauces de las corrientes naturales. La red de drenaje manifiesta la eficiencia del sistema de drenaje en el escurrimiento ya que, dependiendo de la topografía, el tipo de cuenca y el uso del suelo se determina la forma de drenaje.

El orden de la corriente refleja el grado de ramificaciones de la red de drenaje en una cuenca. La clasificación de los cauces de una cuenca se realiza de la siguiente manera:

- Corrientes de primer orden: Son los que no tienen tributarios
- Corrientes de segundo orden: cuando dos corrientes de primer orden se unen
- Corrientes de tercer orden: cuando dos corrientes de segundo orden se unen

**Imagen 4: Desarrollo de una cuenca hidrográfica**



Fuente: (Monsalve, 1999)

No obstante, cuando una corriente se une con otra corriente de orden mayor, el orden resultante de corriente aguas abajo retiene el mayor de los órdenes, además el orden de la cuenca es el mismo de su cauce principal a la salida.

**7. Densidad de drenaje (Dd):** Es la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca y su área total. Se calcula de la siguiente manera:

$$D_d = \frac{L}{A}, \text{ en } \frac{\text{km}}{\text{km}^2}$$

Donde:

L: longitud total de las corrientes de agua, en km.

A: área total de la cuenca, en  $\text{km}^2$ .

La densidad de drenaje (Dd) puede estar entre los valores de 0.5 para cuencas con un drenaje pobre y hasta los 3.5 para cuencas con un buen drenaje. Estos valores son indicadores de la posible naturaleza de los suelos existentes en la cuenca y el grado de cobertura que existe. Un valor alto para la densidad de drenaje indica que la cuenta posee una pendiente alta, la cobertura vegetal es escasa, los suelos son más impermeables y se erosionan fácilmente.

**8. Tiempo de concentración de aguas.** Determina el tiempo que tarda un evento de precipitación que cae en la parte alta de la cuenca y la respuesta que tendrá en la parte baja.

$$t_c = \frac{10L^{1.155}}{513H^{0.385}}, \text{ en min}$$

Donde:

L: longitud del cauce principal, en m.

H: Diferencia entre las alturas máxima y mínima del cauce principal, en m.

**9. Pendiente de la cuenca.** La pendiente de la cuenca controla la velocidad con que se da la escorrentía superficial por lo tanto afecta el tiempo que tarda el agua lluvia para concentrarse las corrientes que constituyen a la red de drenaje de la cuenca. Existen varios métodos para determinar la pendiente de una cuenca el más completo consiste en determinar la distribución porcentual de las pendientes del terreno por medio de una muestra estadística de las pendientes y las curvas de nivel.

#### **E. Evaluación de la calidad de los componentes hídricos urbanos:**

**1. Contaminación de los manantiales.** La rapidez del desarrollo urbano al pasar los años ha producido un ciclo de contaminación, ocasionado por los efluentes (residuos líquidos con desechos sólidos) de la población urbana como los drenajes industriales, domésticos y pluviales.

La contaminación se produce debido a:

- Descarga de efluentes sin tratamiento en los ríos, lo cual los contamina lentamente. Estos problemas se deben a la falta de inversión en los sistemas sanitarios y plantas de tratamiento.
- Descarga de flujos pluviales los cuales transportan contaminación orgánica y de metales que llegan a los ríos en época de invierno.
- Contaminación de aguas subterráneas debido a descargas industriales y domésticas, fosas sépticas cercanas al acuífero y pérdida de los sistemas de líquidos cloacales y pluviales.
- Rellenos sanitarios que contaminan las aguas superficiales y subterráneas.
- Ocupación del suelo urbano sin concientización de su impacto en el sistema hídrico.

Mientras la población aumenta el abastecimiento y la calidad del agua disminuye, además que se necesita mayor tratamiento químico del agua para que sea suministrada a la población. Es importante a hacer énfasis en dichos problemas ya que el impacto para futuras generaciones puede ser mayor. Actualmente los reservorios y manantiales se ven afectados ya que alrededor de ellos se desarrollan urbanizaciones irregulares o clandestinas. Al no poseer un sistema de drenaje adecuado, los desechos llegan directamente al reservorio contaminándolo e imposibilitando su uso debido a la concentración de toxinas.

Los acuíferos principalmente se contaminan debido a:

- Rellenos sanitarios que contaminan las aguas subterráneas debido a la infiltración de lixiviado.
- Fosas sépticas, las cuales contaminan la parte superior del acuífero.

- Los drenajes pluviales que no fueron diseñados adecuadamente o que no han presentado mantenimiento pueden contaminar el suelo debido a pérdidas de agua contaminada.

**2. Abastecimiento de agua y saneamiento.** La implementación de una infraestructura de abastecimiento y saneamiento adecuada es esencial para el desarrollo urbano. Inicialmente cuando la ciudad tiene una pequeña densidad se utilizan las fosas sépticas para el depósito de desechos, a medida que crece la ciudad las municipalidades de los países en desarrollo no invierten en sistemas adecuados, por lo que los líquidos residuales son combinados a la red de drenaje pluvial el cual no posee ningún tratamiento y que luego llegan a desembocar a ríos.

La inversión en sistemas de saneamiento algunas veces presenta problemas que dificulta llevar a cabo su labor. En ciertos casos al implementar la red de drenaje, algunas veces no se estima adecuadamente la posible conexión de nuevas edificaciones o viviendas, por lo que los drenajes no colectan el flujo proyectado debido a que las estaciones de saneamiento no tienen la capacidad adecuada para tratarla el volumen de agua que ingresa. En otros casos las inversiones públicas son realizadas de forma inadecuada, ya que únicamente solucionan las necesidades de las empresas que ejecutan la obra y no favorecen en nada a la sociedad.

**3. Residuos sólidos.** Los residuos sólidos es la suma de los residuos de las residencias, industrias y comercio más el total recolectado en las calles a los drenajes. Cuando la colecta y limpieza de calles son ineficaces, el volumen de los residuos que llegan a los drenajes aumenta, por lo que aumentan los costos al momento de darles mantenimiento y así evitar la obstrucción de los drenajes. Cuando comienza el desarrollo urbano, existen algunas etapas para los residuos sólidos.

- Primera etapa: ocurre cuando existe alguna modificación en la cobertura vegetal de la cuenca, por lo que el suelo queda expuesto y la erosión aumentaría en la época de lluvias. Un ejemplo sería la lotificación de un terreno en el cual existen movimientos de tierra, por lo que el escurrimiento transportaría sedimentos. La producción de basura es mínima.
- Segunda etapa: existe ya una población, pero las construcciones aún existen. Aumenta la producción de basura y la de sedimentos se mantiene.
- Tercera etapa: la superficie está completamente ocupada por urbanización, los sedimentos son mínimos.

El volumen total de basura que llega al drenaje depende de la cobertura de recolección de basura, la frecuencia con que limpian las calles, el reciclaje, la forma en que la población se deshace de su basura y la precipitación del lugar. Mientras más desarrollo urbano hay, se da un incremento de la basura ya que no hay concientización para reciclar los desechos. Esto representa un gran impacto ambiental debido

a que los drenajes se obstruyen, la basura llega a ríos y lagos y se transportan sedimentos que contaminan las aguas pluviales.

#### **F. Inundaciones urbanas:**

Son las inundaciones que ocurren en el drenaje urbano debido a la canalización del escurrimiento, obstrucción de escurrimiento y la impermeabilidad del suelo (Tucci, 2006). La frecuencia y magnitud de estas inundaciones ha aumentado considerablemente en los últimos años. Estos ocurren en los sectores más bajos de calles y/o avenidas. Cuando estas inundaciones son constantes, su causa se debe por mal diseño de la capacidad de los drenajes, ubicación inadecuada, tragantes insuficientes y por la pavimentación de calles que aumenta la escorrentía.

Algunas veces se debe a la falta de mantenimiento de drenajes ya que estos pueden estar obstruidos por sedimentos o basura. Estructuras como pilas de puentes, canales terraplenes, rellenos sanitarios, drenajes inadecuados, entre otros aumentan estas inundaciones. (Global Water Partnership, 2002)

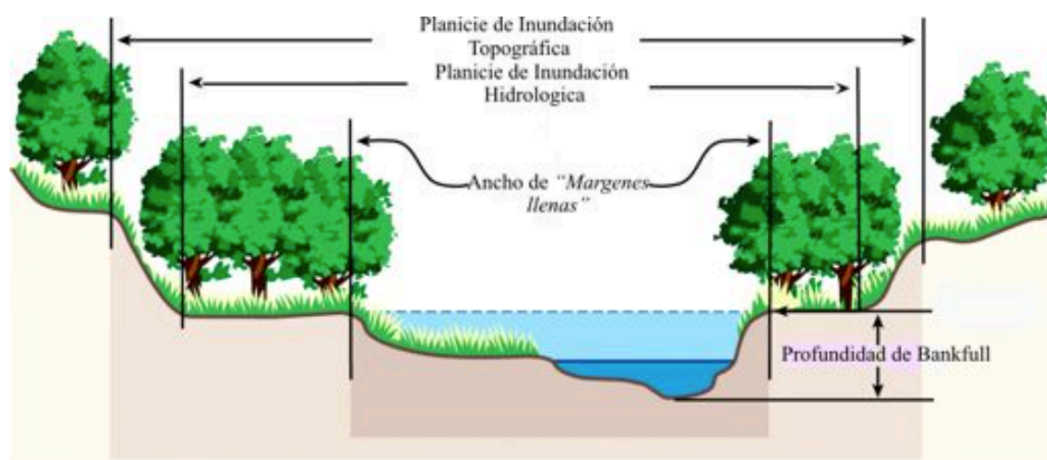
A medida que la ciudad se urbaniza, ocurren ciertos problemas:

- Aumento de los caudales máximos y la frecuencia debido a la impermeabilización de las superficies y la baja capacidad de escurrimiento a través de drenajes y canales.
- Aumento de la producción de sedimentos debido a la producción de desechos sólidos y por las superficies sin vegetación.
- Contaminación del agua superficial y subterránea debido al lavado de las calles, las cuales transportan materiales sólidos y tienen contacto con aguas servidas y pluviales.

#### **G. Inundaciones ribereñas:**

Las inundaciones ribereñas muchas veces se asocian a la urbanización indebida en áreas inundables que están cerca de un río, los daños materiales y pérdidas humanas pueden ser grandes. El cauce de un río está compuesto por el lecho menor y mayor. El lecho menor es ocupado por el río en su mayor parte del tiempo el dependerá del periodo de retorno, la crecida máxima es ocupada por el mismo. El lecho mayor de los ríos de los ríos es ocupado por aguas con una recurrencia mayor.

**Imagen 5: Esquema de lecho menor y mayor**



Fuente: (Global Water Partnership, 2002)

Estas inundaciones ocurren normalmente a:

- Falta de normas sobre la ocupación de áreas con alto riesgo de inundación.
- No existen alternativas para que la población de bajos recursos pueda adquirir lotes baratos.
- Invasión por parte de población de escasos recursos en áreas pertenecientes al estado.

La inundación ocurre cuando el escurrimiento alcanza niveles superiores al lecho menor. Las cotas del lecho mayor identifican la magnitud de la inundación y el posible riesgo. Una inundación ocurre cuando ocurre cuando el área de riesgo es ocupada por personas. La inundación del lecho mayor es un proceso natural que se da por el ciclo hidrológico. (Global Water Partnership, 2002)

Estas inundaciones producen impactos en sobre la población con:

- Pérdidas materiales y humanas.
  - Déficit de actividad económica en las áreas inundadas.
  - Aumentan las enfermedades relacionadas a la contaminación hídrica.
  - Contaminación de agua debido al arrastre de materiales tóxicos, desechos sólidos y sedimentos.
- (Global Water Partnership, 2002)

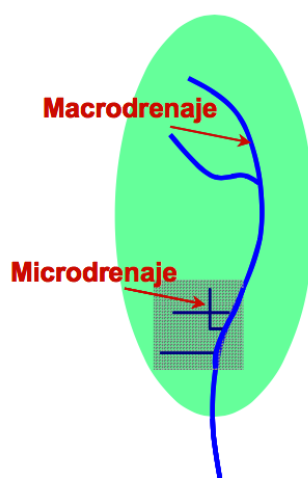
## **H. Drenaje urbano:**

Existen dos niveles de drenajes para la planificación, construcción y operación de un sistema de drenaje urbano, estos pueden ser: Macro y micro drenaje.

El sistema macro incluye los cursos de agua definidos por la topografía natural de la cuenca, aun si el río es efímero. Este sistema de drenaje desagüa áreas mayores a  $5\text{km}^2$ , que dependen del tamaño y relieve de la región. Debe ser capaz de eliminar o reducir los daños por lluvias severas con un periodo de recurrencia de 25 y 100 años.

El sistema micro drenaje abarca todas las áreas de drenaje realizadas en lugares donde el escurrimiento natural suele no estar definido, siendo determinado por la ocupación del suelo. En el área urbana el micro-drenaje incluye el trazado de calles, cunetas, reposaderas y los sistemas de drenajes subterráneos hasta el macro drenaje. Debe diseñarse para que pueda operar sin ningún inconveniente en periodos de lluvia con un retorno de 2 a 25 años. Ver Imagen 6.

**Imagen 6: Esquema de los sistemas macro y micro drenaje**



Fuente: (Global Water Partnership, 2002)

**1. Desagües.** Los desagües pueden ser combinado en los que se unen aguas servidas y pluviales en un mismo conducto, o bien pueden ser separativos. Es recomendable que el sistema sea separado, pero debido a las conexiones clandestinas y escasas redes de drenaje se vuelven combinados. El problema de los drenajes combinados se da en época de verano e invierno, ya que en sequías por el calor el olor puede ser molesto si no se tiene un buen diseño. En época de invierno durante las inundaciones se puede ocasionar desbordes y puede llegar a contaminar los suelos y proliferar enfermedades. (Tucci, 2006)

Así mismo existen ciudades en las que se enfocan únicamente en la red de aguas servidas, pero no en las pluviales por lo que sufren inundaciones constantemente. Es por ello que idealmente se debe de buscar una solución para recolectar y tratar las aguas servidas, así como la retención y tratamiento del escurrimiento pluvial. Originalmente el saneamiento urbano era considerado para evacuar de manera rápida las aguas pluviales y las servidas, pero esta filosofía ha sido la principal causa del incremento de inundaciones aguas abajo. Actualmente la tendencia es retener o almacenar temporalmente el agua de lluvia. (Global Water Partnership, 2002)

Es por ello que las poblaciones hacen presión por la búsqueda de soluciones inmediatas hacia la falta de atención de los problemas con los drenajes urbanos, ya que en proyectos anteriores se dio un mal asesoramiento técnico a nivel político, algunas obras civiles quedaron incompletas o no cumplieron con el objetivo previsto. Por lo que el peligro y los daños persisten.

Dependiendo de la hidrología, las medidas de control del escurrimiento se pueden clasificar como:

- Distribuidas: Se utilizan en viviendas, plazas y paseos
- Concentradas: actúa en micro drenajes para una o varias viviendas y macro drenajes como control de los principales cursos urbanos

Las medidas de control dependiendo de la acción hidráulica son:

- Obras de infiltración y percolación: crear mejores condiciones para aumentar la infiltración y percolación.
- Obras de almacenamiento: utilización de reservorios que son desde uso domiciliario hasta el tamaño para un macro drenaje. Lo que se busca es retener parte del escurrimiento superficial, así reducir el caudal.
- Obras para conducir el escurrimiento: se utilizan conductos y canales, para drenar áreas inundadas. El problema es que trasfiere el problema hacia aguas abajo, aunque es muy útil si se utiliza con un reservorio.
- Diques y estaciones de bombeo: es la solución cotidiana para las crecidas en áreas urbanas con bastante desarrollo. (Global Water Partnership, 2002)

## **I. Manejo y control de inundaciones urbanas:**

Como se mencionó anteriormente las inundaciones se producen cuando el río se desborda, el cual es un proceso natural relacionado con la intensidad de la lluvia y las condiciones físicas de la cuenca. Las inundaciones naturales pueden ser causadas principalmente por intensas lluvias, tipo de suelo y cobertura vegetal de la cuenca, morfología de la cuenca como por ejemplo el área, la longitud y pendiente del río. Así mismo los cambios artificiales en la cuenca aumentan el riesgo de inundación como, por ejemplo, cambios en la agricultura, deforestación, urbanización, embalses, entre otros. La combinación de todos y cada uno de estos factores producen grandes pérdidas al momento de una inundación. (Cap-Net, 2011)

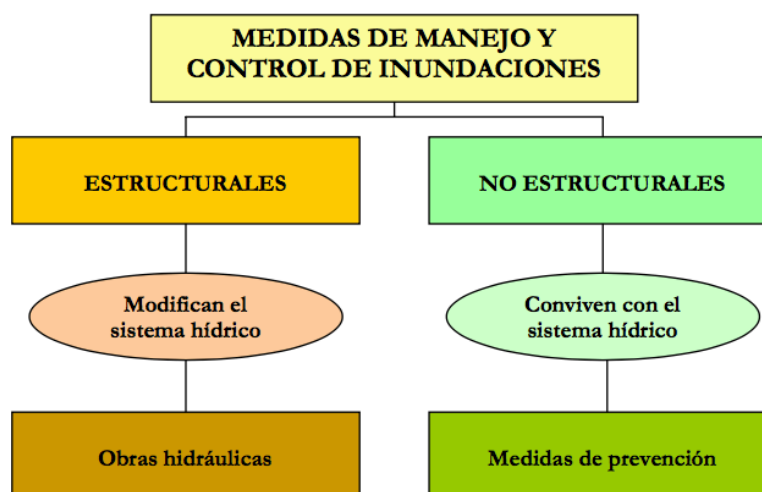
**1. Evaluación de la inundación.** El nivel del agua y el caudal de los ríos se estima de dos formas: el primero se conoce como Pronóstico del Flujo. El cual está relacionado con la evaluación de flujo en un tiempo determinado. Se estima a corto plazo (horas o días) y a largo plazo (periodo de invierno), con un límite máximo de nueve meses. El pronóstico de las crecidas se realiza durante la temporada de inundaciones al momento que se active una alerta de emergencia, lo que podría ser una crecida de río, cambio de clima o fuertes lluvias. El pronóstico de las crecidas también puede ser clasificado en base al tiempo de concentración de aguas de la cuenca. (Cap-Net, 2011)

El segundo es la Predicción del Flujo es la probabilidad de ocurrencia de inundaciones basado en registros históricos del flujo. No se puede especificar cuándo ocurrirá la inundación, pero sí indica la posibilidad de que ocurra en un año determinado. Se utiliza para la evaluación de escenarios de riesgo de inundación. La predicción se calcula en base a datos estadísticos tomando en cuenta registros históricos o acontecimientos de inundación en un lugar. (Cap-Net, 2011)

Existen dos tipos de medidas para el manejo y control de inundaciones, las cuales son las estructurales y no estructurales. Las medidas estructurales se relacionan con la fabricación de obras hidráulicas (diques, presas, canales) los cuales pueden ser ejecutados en la cuenca hidrográfica como sobre los cursos de agua, que actúan como drenaje principal del sistema. (Global Water Partnership, 2002)

Las medidas no estructurales son de tipo preventivas como por ejemplo planes de alerta y zonas inundables. Las medidas estructurales por lo general están propensas a ser muy costosas a comparación de los no estructurales. La mejor forma de controlar o mitigar una inundación es combinando los dos para obtener los mejores resultados. (Global Water Partnership, 2002)

**Imagen 7: Manejo de inundaciones**



Fuente: (Global Water Partnership, 2002)

Las medidas estructurales son utilizadas para:

- Desviar el escurrimiento: el uso de canales cuando se sobrepasa el caudal máximo.
- Acelerar el escurrimiento: sistemas drenaje subterráneo, diques laterales de contención, disminución de la rugosidad, cortes de meandros o aumentar la pendiente.
- Retardar el escurrimiento: micro embalses de retención en sistemas de conductos
- Reducir el escurrimiento: mediante superficies filtrantes y conductos drenaje que permiten una filtración controlada. Deben de ser superficies porosas ya que los en áreas pastosas los sedimentos obstruyen el paso de agua.

(Global Water Partnership, 2002)

**2. Aumento de infiltración.** La capacidad de infiltración depende mucho de las características del suelo y del estado de humedad de la capa superior del suelo, conocida como la zona no saturada. Existen ventajas y desventajas de tener un suelo que permitan una mayor infiltración, la ventaja es que generar condiciones de recarga hídrica al acuífero más cercano, ayudan a la preservación de la flora, reducen contaminación en los ríos, disminuyen los caudales máximos aguas abajo. El problema es que, si no existe un mantenimiento adecuado, el nivel freático puede aumentar y causar problemas en las construcciones cercanas, la capacidad de infiltración se reduce si se drenan sedimentos. (Global Water Partnership, 2002)

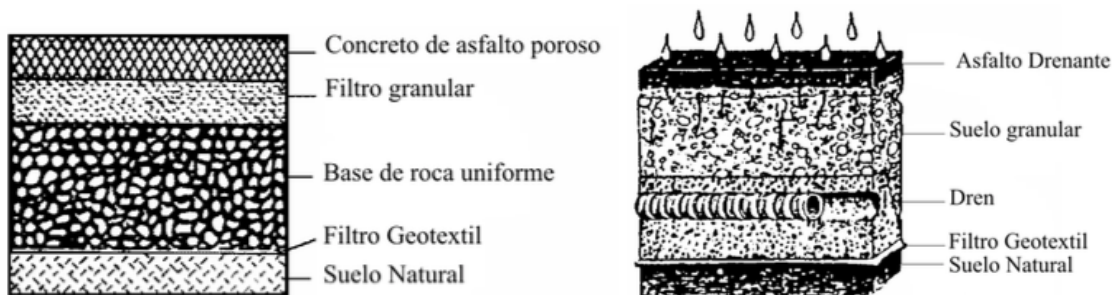
Para aumentar la infiltración se puede utilizar

- Planos de infiltración: parqueos abiertos que reciben la precipitación e un área impermeable. Se hace uso de trincheras de infiltración.
- Depresiones de infiltración: drenaje lateral ubicado paralelamente a las calles, caminos y estacionamientos.
- Cuencos de percolación: es un dispositivo de percolación dentro de los lotes, es necesario el uso de un material geotextil para retener los materiales finos.
- Pavimentos permeables: se utilizan en estacionamientos, áreas deportivas y calles de poco tráfico. Pueden ser de hormigón o asfalto y se construyen de la misma forma que un pavimento tradicional, con la diferencia que el material fino es retirado de la mezcla.

(Global Water Partnership, 2002)

En la siguiente imagen se muestra un esquema y las partes de un pavimento permeable de concreto poroso y asfalto.

**Imagen 8: Asfaltos permeables**



Fuente: (Global Water Partnership, 2002)

**3. Dispositivos de almacenamiento.** Comúnmente se utilizan en países desarrollados, el reservorio puede ser superficial o subterráneo y se pueden ubicar en techos, patios y parques.

- El almacenamiento en techos: exige un refuerzo en la estructura ya que consiste en la construcción de una canaleta de grandes dimensiones para recolectar el escurrimiento de los techos. La ventaja es que drenan por gravedad.
- Almacenamiento en lote: se utiliza para almacenar el escurrimiento para luego utilizarlo para abastecer agua, riego de jardines y lavado de carros o superficies. Pueden ser drenados por infiltración, por bombeo o gravedad si la topografía lo permite. (Global Water Partnership, 2002)

El objetivo de almacenar el agua es para minimizar los impactos hidrológicos que se dan debido al aumento de la escorrentía. Los reservorios pueden ser de retención, es decir que mantienen agua todo el tiempo o bien de detención, los cuales almacenan agua únicamente en época de lluvias para luego utilizarla para otro propósito. Una ventaja de los reservorios de detención es que se utilizan en parques o paseos ya que permiten un ambiente de recreación. Además de retener agua también pueden llegar a retener material sólido el cual no solo puede llegar a los drenajes y colapsarlos, sino también puede llegar a contaminar cuerpos de agua como ríos o lagos.

Los reservorios pueden ser de concreto o suelo natural. A pesar que los de concreto son más costosos, permiten poder levantar paredes verticales y así aumentar el volumen de almacenamiento. Cuando el área es muy pequeña el reservorio puede ser subterráneo pero su costo es elevado, pero permite otros usos en la parte superior de este. El reservorio puede estar conectado con el sistema de drenaje o sino el escurrimiento puede ser conducido hacia otro lado. El volumen del reservorio dependerá del nivel de precipitación y al escurrimiento debido a la urbanización de la cuenca.

**Imagen 9: Reservorio superficial**



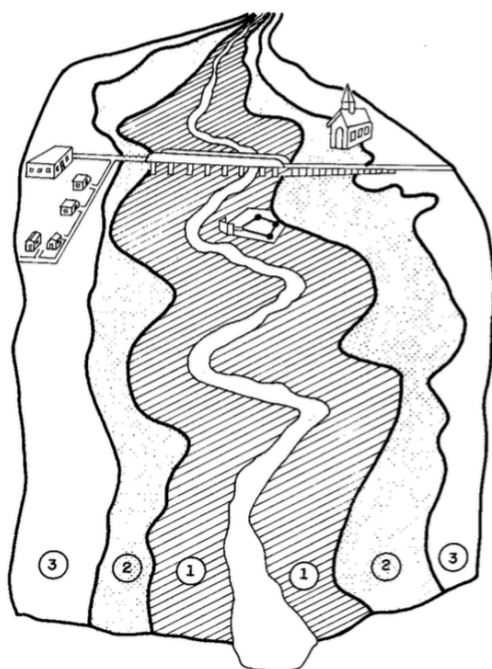
Fuente: (Global Water Partnership, 2002)

Para el manejo y el control de macro drenajes muchas veces es útil hacer uso de estructuras como canales, reservorios y diques. Hacer uso de canales con mayor capacidad de caudal puede solucionar problemas actuales, que a su vez son combinados con reservorios. El uso de diques puede utilizarse para evitar inundaciones aguas abajo, aunque están propensas a sufrir crecidas que pueden ocasionar una mayor catástrofe dependiendo de la altura de la defensa.

Las medidas no estructurales pueden ser la distribución de áreas inundables, por lo que debe de existir una reglamentación sobre dónde y que edificaciones corren riesgo. Además, se debe de tomar en cuenta las cotas mínimas, tipos de obras que se realizaran para minimizar los daños, entre otros.

La distribución de áreas puede dividirse en tres partes:

1. Lecho menor: cualquier construcción en esa área reducirá el escurrimiento, elevando los niveles aguas arriba de dicha sección por lo que esta zona debe de estar totalmente desalojada.
2. Zona de ocupación restringida: es una zona en la cual puede ser ocupada bajo ciertas restricciones ya que puede inundarse frecuentemente.
3. Zona de bajo riesgo: es la parte que posee menos probabilidad de inundarse, pero puede darse el caso que lleguen a ser alcanzadas dichas cotas. La población debe estar informada para prevenir los daños.

**Imagen 10: Zonificación de áreas inundables**

Fuente: (Global Water Partnership, 2002)

Como medida no estructural es posible implementar cierta reglamentación la cual dependerá de las características del escurrimiento, la topográfica y la ocupación de cada zona. Para las áreas ya ocupadas, se debe establecer un programa para que la población convenga con los eventos frecuentes. (Global Water Partnership, 2002)

Los sistemas de alerta son otro tipo de medida no estructural, utilizada en ciudades ubicadas en áreas con riesgo de inundación. Las alertas tienen la función de prevenir en un corto plazo, reduciendo las pérdidas humanas al posibilitar la evacuación de la población. El sistema de alerta es de suma importancia para eventos que suceden raras veces, en los que el nivel del agua alcanza zonas muy altas donde se encuentra la población. (Global Water Partnership, 2002)

Por último, otra medida no estructural sería establecer impuestos relacionados con el drenaje urbano, como por ejemplo incrementar el impuesto inmobiliario para terrenos en zonas inundables o aumentar los derechos e impuestos de construcciones para las obras que estén fuera del plan de ordenamiento territorial. Para elegir la mejor medida de protección es necesario definir cada caso dependiendo las características del río, del beneficio que traerá y el impacto social que tendría una inundación. Como se mencionó anteriormente es necesario combinar las medidas estructurales como las no estructurales para obtener mejores resultados. (Global Water Partnership, 2002)

Comúnmente se está desarrollando una solución para evitar las inundaciones urbanas, la cual consiste en reducir la escorrentía. Cuando establece un proyecto de vivienda, normalmente se piensa que el drenaje debe de cumplir las necesidades del sector y no consideran el aumento del caudal aguas abajo. Cuando no se controlan las urbanizaciones o no existe un mantenimiento del sistema de drenaje para aumentar su capacidad, ocurren las inundaciones y por ello existen pérdidas. La preservación del medio ambiente no ha generado ayuda alguna, por lo que es necesario divulgar las causas de las inundaciones para concientizar a la población. A medida que aumenta el perímetro de las ciudades las soluciones se vuelven más complejas y caras. (Global Water Partnership, 2002)

La solución es minimizar e impedir el aumento del caudal en zonas urbanas, es necesario identificar el impacto que tendrá el aumento de la urbanización sobre el escurrimiento, además de establecer normas para el uso del suelo. (Global Water Partnership, 2002)

## **J. Enfermedades relacionadas con el agua:**

Muchas de estas enfermedades están relacionadas con el saneamiento del agua y su baja cobertura, como la diarrea y el cólera; otras están relacionadas con la inundación, como la leptospirosis, la malaria y el dengue. Existen algunas enfermedades las cuales se transmiten a través del contacto con el agua. Estas enfermedades pueden ser clasificadas de la siguiente manera.

- Enfermedades debido a la contaminación del agua: el agua reacciona como un vehículo pasivo por el agente de infección, la cólera, salmonela, diarrea y la leptospirosis (se desarrolla durante inundación cuando el agua se mezcla con heces y orines de ratón).
- Enfermedades debido a la falta de higiene: depende de la educación de la población y la disponibilidad de agua limpia. Normalmente se relaciona con infecciones del oído, piel y ojos.
- Enfermedades relacionadas con el agua: el agente utiliza el agua para desarrollarse, como es el caso del dengue, malaria y la esquistosomiasis.  
(Tucci, Gestión de Inundaciones Urbanas, 2006)

Las enfermedades transmitidas a través del consumo del agua preocupan, debido principalmente a lo siguiente:

- Carga doméstica: el exceso de nutrientes ha producido eutroficación de los lagos, aumentando las algas que generan toxicidad, la cual puede quedar soluble en el agua o depositarse en el fondo de los ríos y los lagos. Esto puede afectar el hígado de la persona generando cirrosis o incluso cáncer.

- Cargas industriales: los efluentes industriales presentan los más distintos compuestos, ya que diariamente son producidos en grandes cantidades. La falta de normas y leyes en algunos países agrava dicho problema.
- Cargas difusas: las cargas difusas provenientes de áreas agrícolas traen compuestos de pesticidas anualmente. La carga difusa del área urbana fue mencionada anteriormente y pueden actuar de manera acumulativa sobre el organismo de la persona.  
(Tucci, Gestión de Inundaciones Urbanas, 2006)

## V. ANÁLISIS DE LA MICROCUENCA

### A. Situación actual de la microcuenca

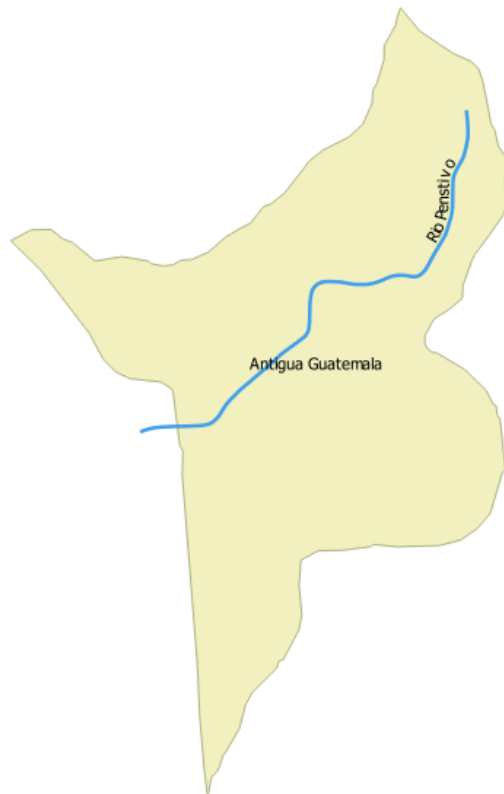
Desde que la ciudad de Antigua Guatemala fue fundada en 1524 se vio afectada por diversas catástrofes naturales, entre los principales las inundaciones provocadas por las crecidas del río Pensativo. Las pérdidas materiales que han ocasionado dichas inundaciones ponen en peligro el patrimonio cultural que dicha ciudad representa. Es por ello que se realizará un análisis de la cuenca del río pensativo para poder solucionar o mitigar las inundaciones, para ello se hará uso del software Qgis el cual es un sistema de información geográfica con el cual se pueden diseñar mapas y analizar datos espaciales.

El agua que drena la cuenca hasta el río pensativo proviene principalmente de los municipios de Santa Lucía Milpas Altas, Antigua Guatemala y Magdalena Milpas Altas. El cauce principal del río comienza a unos 2,051 msnm y desciende hasta 1,554 msnm hasta el puente Matasano, que se ubica en la entrada de Antigua Guatemala, desciende 497 metros en aproximadamente 6.142km. El área que ocupa la microcuenca es muy quebrada, y se encuentra mayormente plana en el suroeste, donde se encuentra ubicada La Antigua Guatemala.

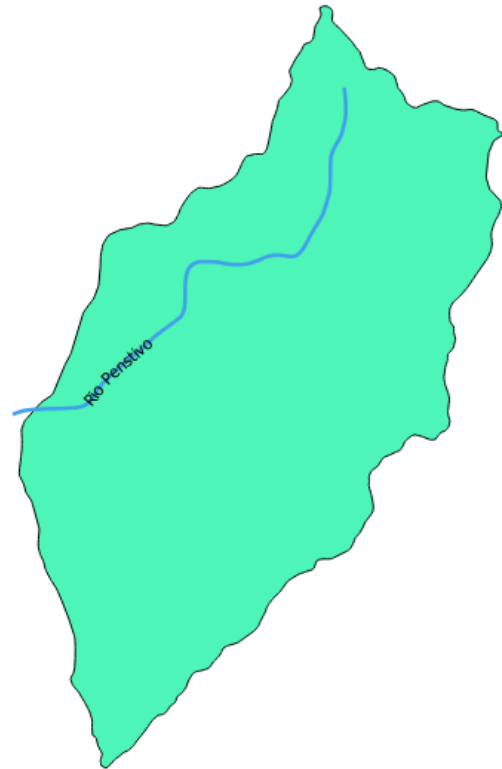
**1. Topografía.** Los accidentes topográficos que tienen mayor altura son los cerros El Piñón, El astillero, El Hato, El Narizón y las Minas, los cuales tienen elevaciones entre los 2,017 msnm hasta los 2,480 msnm. (Lopez, 1988)

La elevación máxima de la microcuenca se encuentra a 3,760 msnm, altura a la cual se encuentra situado el volcán de agua y la elevación mínima es de 1,517 msnm en Ciudad Vieja. (Ver Anexo 1 y 2)

**2. Morfología de la cuenca.** La dirección del flujo principal proviene del norte con dirección al suroeste, el área de la microcuenca es aproximadamente de 82.81 km<sup>2</sup>, con un perímetro de 43.18 km, posee un ancho medio de 5.02 km y tiene una longitud transversal de 16.51km. El orden del cauce principal es 1, el cual posee una longitud de 11.292 km y su pendiente media es del 5%. El río pensativo es intermitente ya que la mayor parte del tiempo el agua se encuentra subterránea y el nivel de agua sube al momento que comienza la época de lluvias. Algo importante de resaltar es que el centroide de la microcuenca del río pensativo se encuentra aproximadamente a 2.619 km de la entrada hacia la ciudad de Antigua Guatemala.

**Mapa 1: Mapa de Antigua Guatemala**

Fuente: Elaboración propia

**Mapa 2: Microcuenca río Pensativo**

Fuente: Elaboración propia

El factor de compacidad  $K_c$  se obtuvo de 1.33, y el factor de forma  $K_f$  es de 0.65. Los cuales se calcularon de la siguiente manera:

$$k_f = \frac{A}{L^2} = \frac{82.81 \text{ km}^2}{(11.29 \text{ km}^2)} = 0.65$$

$$k_c = \frac{0.28P}{\sqrt{A}} = \frac{0.28 * (43.18 \text{ km})}{\sqrt{82.81 \text{ km}^2}} = 1.33$$

En el caso del factor de compacidad se obtuvo que la cuenca tiene forma de oval redonda a oval oblonga, esto quiere decir que tiende a concentrar una buena cantidad del volumen del escurrimiento. Según el resultado obtenido en el factor de forma la cuenca es moderadamente achatada, al ser un valor alto indica que la cuenca tiene tendencia a la formación de crecidas.

Así mismo se realizó el cálculo del tiempo de concentración de la siguiente manera:

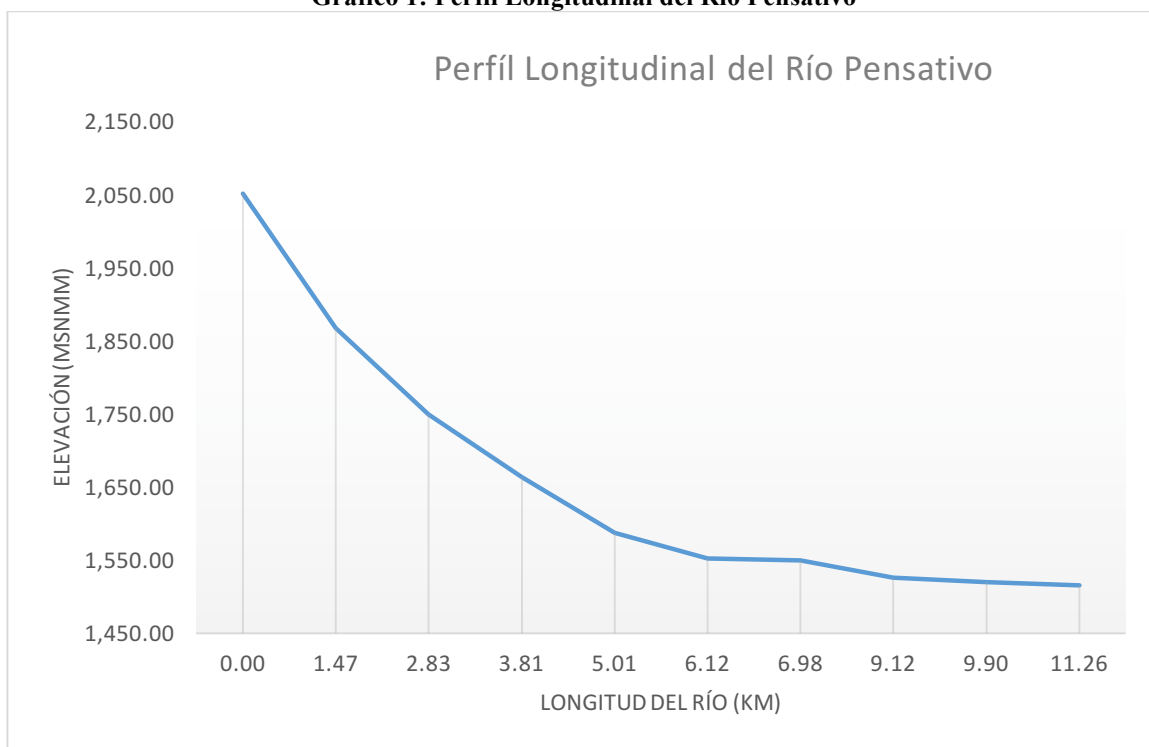
$$t_c = \frac{10L^{1.155}}{513H^{0.385}} = \frac{10(6,089)^{1.155}}{513(499)^{0.385}} = 41.90 \text{ min}$$

Tabla 3: Tiempo de concentración

	Longitud (m)	$\Delta H$ (m)	Tc en minutos	Tc en horas
<b>Hasta Antigua Guatemala</b>	6,089.00	499.00	41.90	0.70
<b>Hasta la Desembocadura</b>	11,292.20	536.00	83.20	1.39

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 1: Perfil Longitudinal del Río Pensativo



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en el gráfico anterior la pendiente del río tiene un cambio brusco al momento de llegar al puente Matasano, es por ello que el material erosionado en la parte superior, se sedimenta en las partes más bajas del río ya que la velocidad del agua disminuye. La densidad de drenaje ( $D_d$ ) es de 0.14, el cual se obtuvo de la siguiente forma:

$$D_d = \frac{L}{A} = \frac{11.29 \text{ km}}{82.81 \text{ km}^2} = 0.14$$

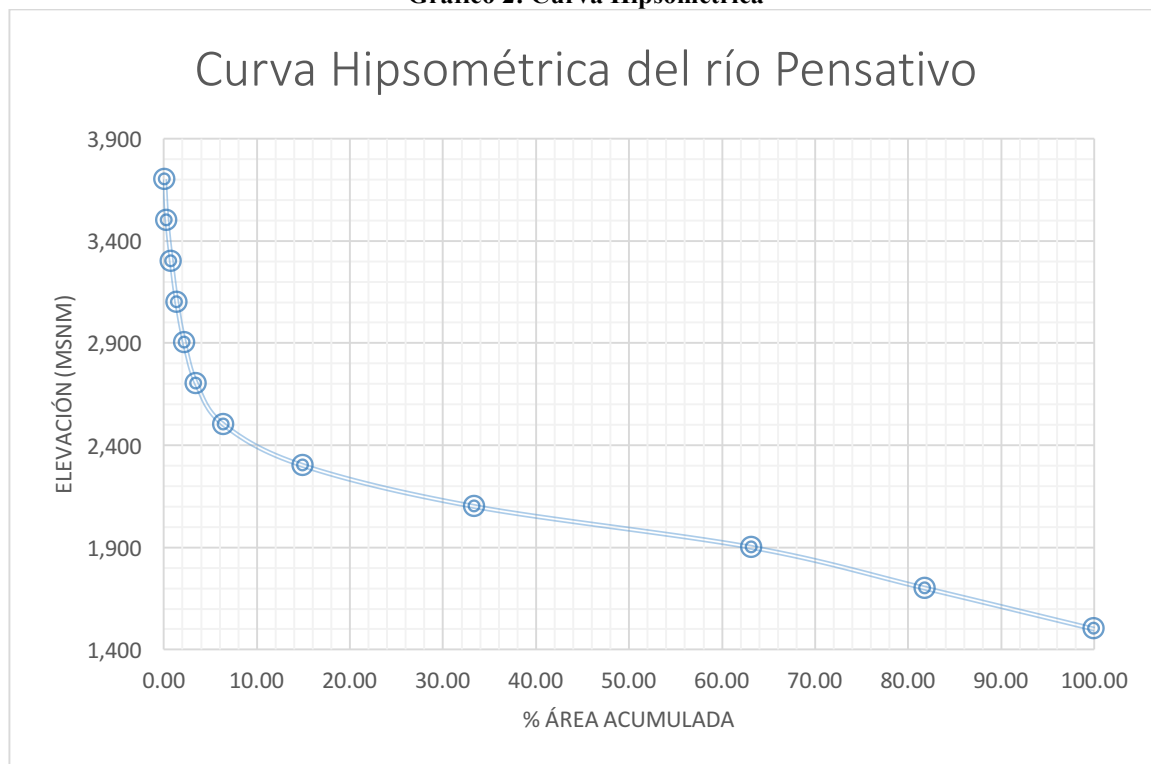
El valor es bajo lo que indica posee una baja eficiencia de transporte de material, por lo que la velocidad de transporte de sedimentos es baja.

**Tabla 4: Datos para el cálculo de Curva Hipsométrica**

Intervalo Entre Curvas de Nivel (m)	Cota Media (m)	Área (km <sup>2</sup> )	Área/Área Total (%)	Porcentaje Acumulado
3800 a 3600	3,700	0.07	0.08	0.08
3600 a 3400	3,500	0.20	0.25	0.33
3400 a 3200	3,300	0.39	0.48	0.81
3200 a 3000	3,100	0.47	0.58	1.39
3000 a 2800	2,900	0.68	0.83	2.22
2800 a 2600	2,700	1.06	1.29	3.51
2600 a 2400	2,500	2.39	2.92	6.43
2400 a 2200	2,300	6.99	8.55	14.98
2200 a 2000	2,100	15.04	18.39	33.37
2000 a 1800	1,900	24.37	29.80	63.17
1800 a 1600	1,700	15.27	18.67	81.84
1600 a 1400	1,500	14.86	18.16	100.00

Fuente: Elaboración propia

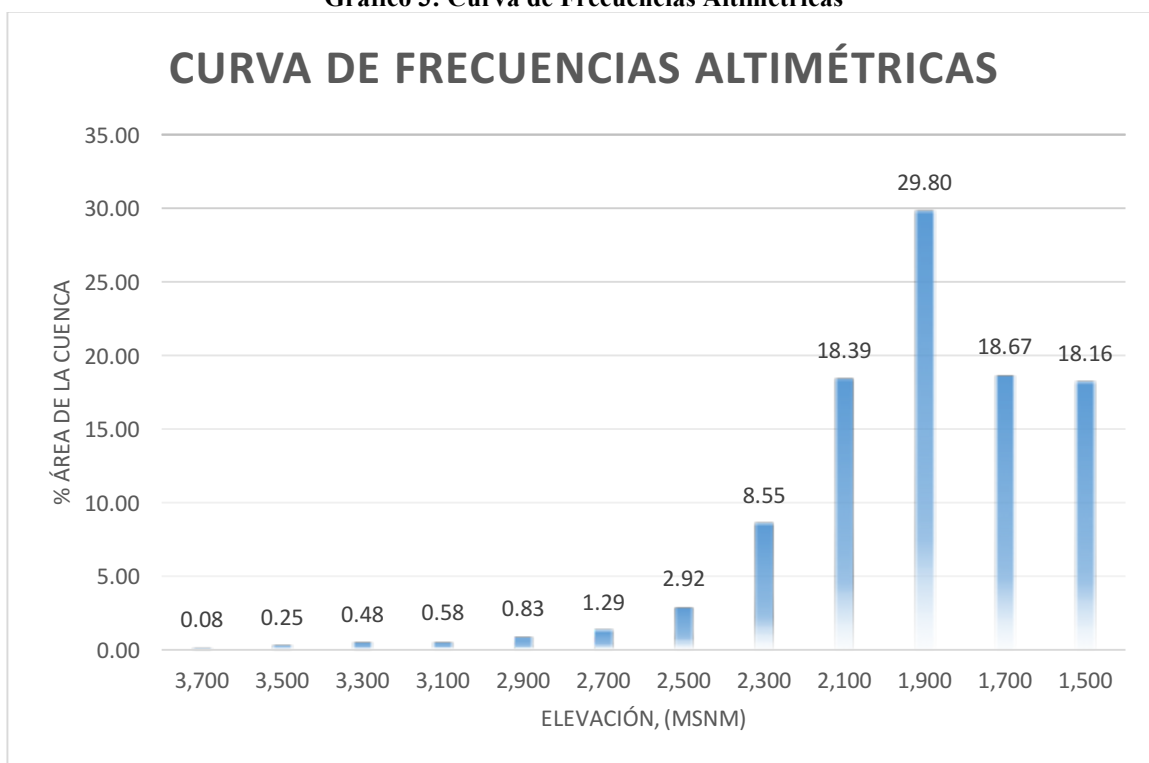
**Gráfico 2: Curva Hipsométrica**



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en el Gráfico 2, debido al resultado obtenido en la curva hipsométrica se considerar que la cuenca se encuentra en una etapa de madurez, quiere decir que aún existen áreas erosionables. Por lo que el transporte de material hacia la parte baja de es inminente y continuara por mucho más tiempo.

**Gráfico 3: Curva de Frecuencias Altimétricas**



Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, el Gráfico 3 se puede concluir que la mayor parte del área de la cuenca se encuentra en alturas desde los 2,100 a 1,500 msnm, el cual se ve reflejado en la curva hipsométrica.

Con base en los resultados obtenidos de la morfología de la cuenca, indica que es una zona montañosa. Debido a esto, es muy probable que, en la parte superior donde inicia el cauce del río se produce un socavamiento debido a la pendiente. Por ello es posible que exista erosión del material, el cual será arrastrado hacia la parte baja, es decir en el valle de la Antigua Guatemala.

**3. Geología.** La mayor parte de las formaciones geológicas que se encuentran en la cuenca son de origen volcánico. Se encuentran rocas volcánicas del cuaternario y Mio-Plioceno, como tobas, coladas de lava y material lahárico. Los aluviones cuaternarios están constituidos por material erosionado que se deposita en el valle de la Antigua Guatemala, como piedra pómez, arena y gravas. Las primeras dos formaciones constituyen la parte alta de la cuenca. (Lopez, 1988; Global Water Partnership, 2002)

- Qv: está formado por rocas ígneas y metamórficas del periodo cuaternario incluyendo coladas de lava, material lahárico, tobas y edificios volcánicos.
- Tv: está formado por rocas ígneas y metamórficas del periodo terciario, compuesto por rocas volcánicas. Predomina el mio-plioceno con tovas volcánicas, coladas de lava, material lahárico y sedimentos volcánicos.
- Qa: formada por rocas sedimentarias de aluviones del periodo cuaternario.  
(SEGEPLAN, 2010)

**Mapa 3: Distribución geográfica de Antigua Guatemala**



Fuente: Elaboración propia; MAGA 2002

4. **Fisiografía.** La Antigua Guatemala se encuentra localizada en la provincia fisiográfica denominada Tierras Altas Volcánicas dentro de los cuales los dos paisajes más grandes son el Abanico Aluvial de Antigua Guatemala y el Volcán de Agua.

**Mapa 4: Fisiografía de Antigua Guatemala**



Fuente: Elaboración propia; MAGA, 2002

**Tabla 5: Fisiografía de Antigua Guatemala**

Región Fisiográfica	Porcentaje de área	Nomenclatura en Mapa
Montañas Volcánicas del Centro del País	57.18%	3.2.1
Abanico Aluvial de Antigua Guatemala	23.82%	3.2.3
Volcán de Agua	18.99%	4.2.5

Fuente: MAGA, 2002

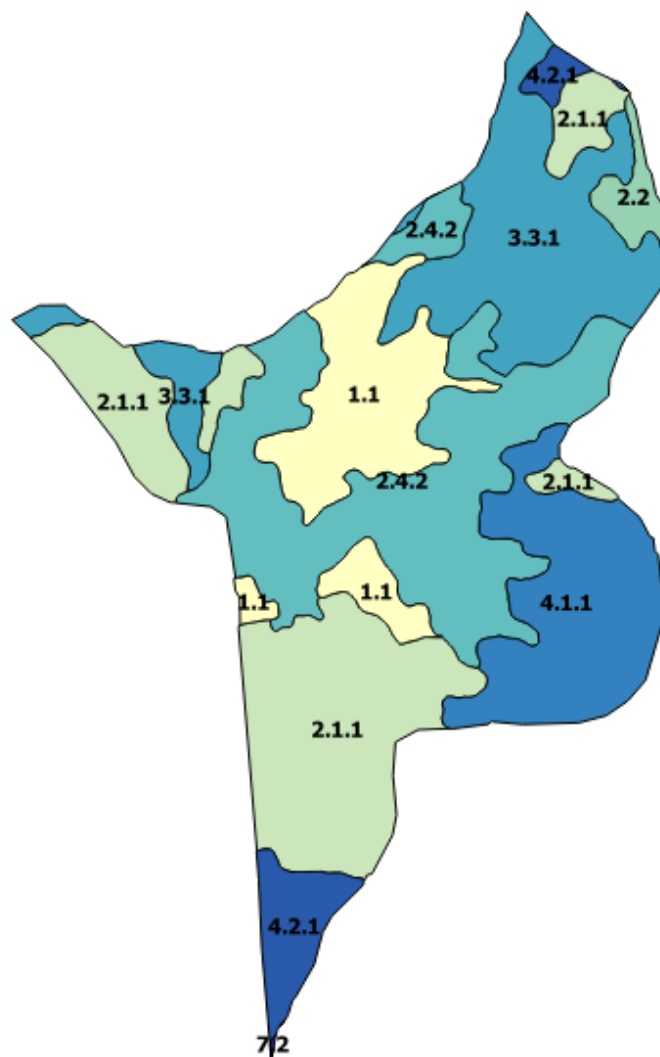
5. **Uso de la tierra.** A continuación, se muestra información sobre la cobertura vegetal y el uso de la tierra en el municipio de Antigua Guatemala. Cabe destacar que la mayor parte del área es ocupada por bosques y la agricultura la cual es constituida por los cultivos temporales y permanentes. El total de urbanización únicamente representa el 14.38% de todo el territorio.

**Tabla 6: Uso de la tierra en Antigua Guatemala (Actualización 2015)**

Municipio	Leyenda	Área (ha)	Área (%)
Antigua Guatemala	<b>Total Antigua Guatemala</b>	<b>6,886.18</b>	<b>100.0000</b>
	<b>1. Territorios artificializados</b>	<b>990.24</b>	<b>14.3801</b>
	1.1. Zonas Urbanizadas		
	1.1.1. Tejido urbano continuo	829.38	12.0441
	1.1.2. Lotificaciones	108.36	1.5736
	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación		
	1.2.1. Zonas industriales		
	1.2.1.1. Agroindustria	1.88	0.0273
	1.2.1.2. Beneficios	20.34	0.2954
	1.2.2. Comercios y servicios		
	1.2.2.2. Hospital	6.82	0.0990
	1.2.2.4. Instalación educativa	1.11	0.0161
	1.2.2.6. Cementerio	7.56	0.1098
	1.2.5. Áreas turísticas, arqueológicas	1.41	0.0205
	1.3. Minas, escombreras y zonas en construcción		
	1.3.1. Zonas de extracción minera (canteras)	3.34	0.0485
	1.4. Zonas verdes artificiales, no agrícolas		
	1.4.2. Instalación deportiva y recreativa	10.04	0.1458
	<b>2. Territorios agrícolas</b>	<b>2,633.52</b>	<b>38.2436</b>
	2.1. Cultivos anuales		
	2.1.1. Granos básicos (maíz y frijol)	1,060.73	15.4038
	2.1.3. Hortalizas		
	2.1.3.2. Otras hortalizas (papa, cebolla, repollo, zanahoria, lechuga, etc.)	63.39	0.9205
	2.2. Cultivos permanentes		
	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos		
	2.2.2.1. Café	1,151.79	16.7261
	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos		
2.2.3.7. Aguacate	12.47	0.1811	
2.2.3.13. Otros cultivos permanentes arbóreos	326.18	4.7367	
2.3. Pastos			
2.3.2. Pasto natural	18.96	0.2753	
<b>3. Bosques y medios seminaturales</b>	<b>3,262.42</b>	<b>47.3763</b>	
3.1. Bosques			
3.1.1. Bosque latifoliado	411.59	5.9770	
3.1.2. Bosque de coníferas	17.59	0.2554	
3.1.3. Bosque mixto	2,160.29	31.3714	
3.2. Otras tierras forestales			
3.2.1. Plantaciones forestales			
3.2.1.1. Plantación de conífera	0.68	0.0099	
3.2.1.2. Plantación de latifoliada	1.94	0.0282	
3.3. Medios con vegetación arbustiva y/o herbácea			
3.3.1. Vegetación arbustiva baja (matorral y /o guamil)	670.33	9.7344	

Fuente: MAGA, 2015

Mapa 5: Uso de tierras en Antigua Guatemala



Fuente: Elaboración propia; MAGA, 2002

Tabla 7: Uso total del suelo en Antigua Guatemala

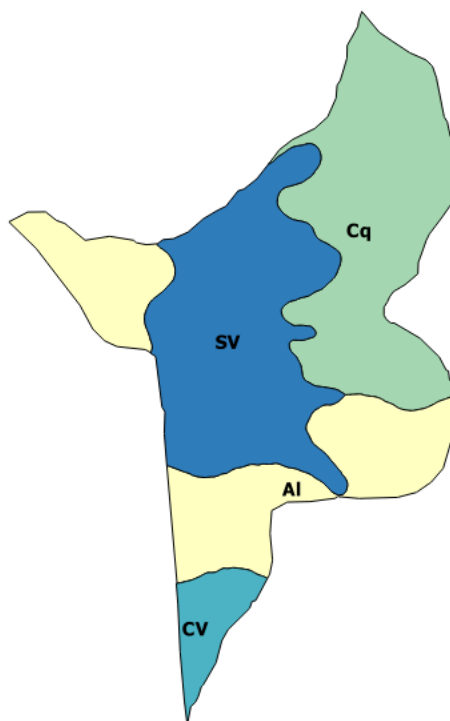
Uso de tierra	Nomenclatura del Mapa
Áreas urbanas	1.1
Horticultura y ornamentales	2.2
Agricultura limpia anual	2.1.1
Cultivo de café	2.4.2
Pastos naturales (arbustos con altura de 1.5 a 5m)	3.3.1
Latifoliadas	4.1.1
Coníferas	4.2.1
Coladas de ceniza	7.2

Fuente: MAGA, 2002

**6. Clasificación de suelos de Guatemala de Simmons.** Las series de suelos presentes en el municipio de Antigua Guatemala son los siguientes:

- Cima Volcánica (CV): son suelos pertenecientes a conos volcánicos de reciente formación, con una pendiente aproximada del 65%. No posee cobertura vegetal, agrícola, ni forestal.
- Serie Alotenango (Al): Son suelos excesivamente drenados, presentes en lugares muy inclinados, de color café oscuro y muy oscuro. Posee una consistencia suelta, de textura franca arenosa y es muy erosionable. Este suelo tiene un espesor de profundidad entre los 25 y 50 cm.
- Serie Cauqué (Cq): Ceniza volcánica pomácea de color claro, pertenecen a relieves ondulados a fuertemente inclinados, posee buen drenaje. Son de color café muy claro de textura franco arcillosa y profundidad de 75 cm.
- Serie Suelos de los valles (SV): Pertenecen a suelos misceláneos no diferenciados caracterizado por ser uno de los tipos de suelos más productivos de la región.  
(SEGEPLAN, 2010)

**Mapa 6: Clasificación de suelos de Antigua Guatemala**



Fuente: Elaboración propia; MAGA, 2002

**Tabla 8: Serie de suelos en Antigua Guatemala**

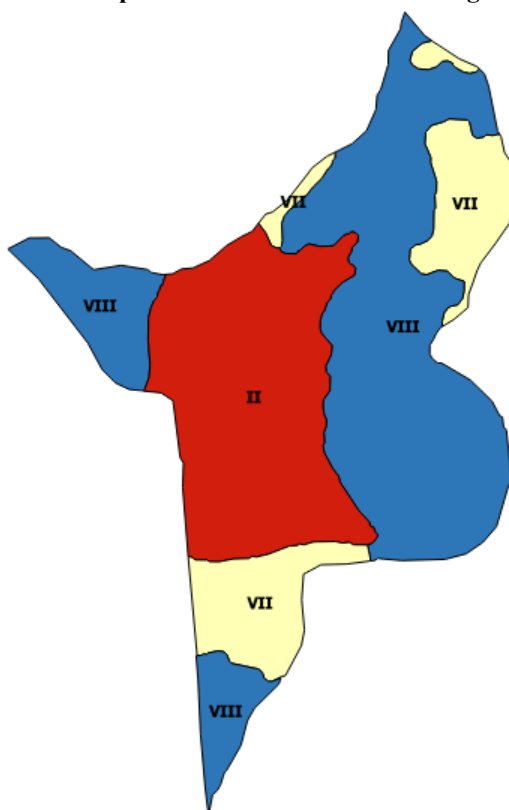
Simbología	Serie de Suelos	Porcentaje de cobertura (%)
<b>Al</b>	Serie Alotenango	27.98
<b>Cq</b>	Serie Cauqué	33.36
<b>CV</b>	Serie Cimas Volcánicas	5.48
<b>SV</b>	Serie Suelos de los Valles	33.18

Fuente: (MAGA, 2002)

**7. Clasificación para el uso de la tierra según USDA.** Para el municipio de Antigua Guatemala se marcan tres clases agrológicas de suelos:

- Clase II: Tierras cultivables con poca limitación, son aptas para el cultivo con relieve plano, aplicables bajo riego. Posee buen nivel de manejo y con alta productividad.
- Clase VII: Tierras no cultivables, aptas únicamente reforestación o áreas protegidas. Tienen un relieve quebrado con pendiente muy pronunciado.
- Clase VIII: Tierras no aptas para cultivos, solamente para parques nacionales o de conservación, recreación y conservación de la vida silvestre. Se consideran zonas de protección de cuencas hidrográficas con relieve escarpado.

**Mapa 7: Clasificación para el uso de la tierra en Antigua Guatemala**



Fuente: Elaboración propia; MAGA, 2002

**Tabla 9: Clasificación para el uso de la tierra**

Categoría USDA	Porcentaje (%)
<b>Clase II</b>	32.32
<b>Clase VII</b>	17.15
<b>Clase VIII</b>	50.53

Fuente: (MAGA, 2002)

**8. Clima.** Según la clasificación climática de Thornwhite, la antigua Guatemala posee

- BB'2: Bosque Húmedo Templado
- BB'3: Bosque Húmedo Semifijo

Según el sistema Köppen:

- Cwbig: Templado subhúmedo con invierno benigno, presencias de lluvias en verano,
- verano fresco, isoterma, con marcha de la temperatura tipo Ganges.

En Sacatepéquez están presentes tres zonas de vida, las cuales son:

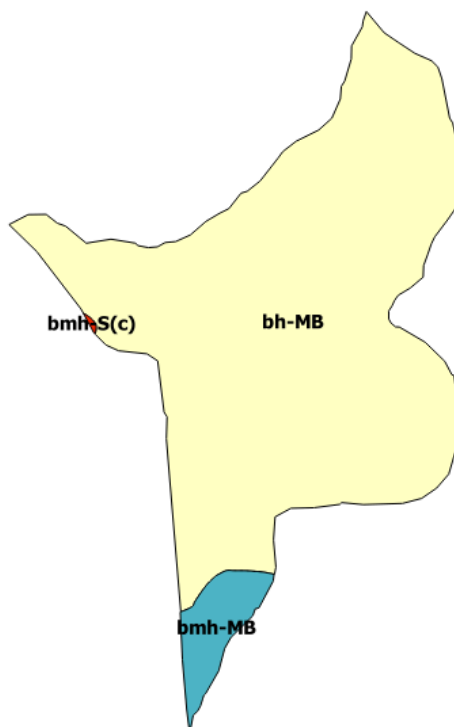
- bh-MB: Bosque húmedo montano bajo subtropical
- bmh-S(c): Bosque muy húmedo Subtropical Cálido
- bmh-MB: Bosque muy húmedo Montano Bajo Subtropical.

(MAGA, 2002)

**Tabla 10: Zonas de vida en Antigua Guatemala**

Región fisiográfica	Nombre	Porcentaje de área
<b>bh-MB</b>	Bosque húmedo montano bajo subtropical	94.43%
<b>Bmh-MB</b>	Bosque muy húmedo Montano Bajo Subtropical	5.45%
<b>Bmh-S(c)</b>	Bosque muy húmedo Subtropical Cálido	0.11%

Fuente: MAGA, 2002

**Mapa 8: Zonas de vida en Antigua Guatemala**

Fuente: (Elaboración propia; MAGA, 2002)

A continuación, se presenta una base de datos con información climatológica del departamento de Sacatepéquez.

**Tabla 11: Base de datos climatológica de la estación “Suiza Contenta”**

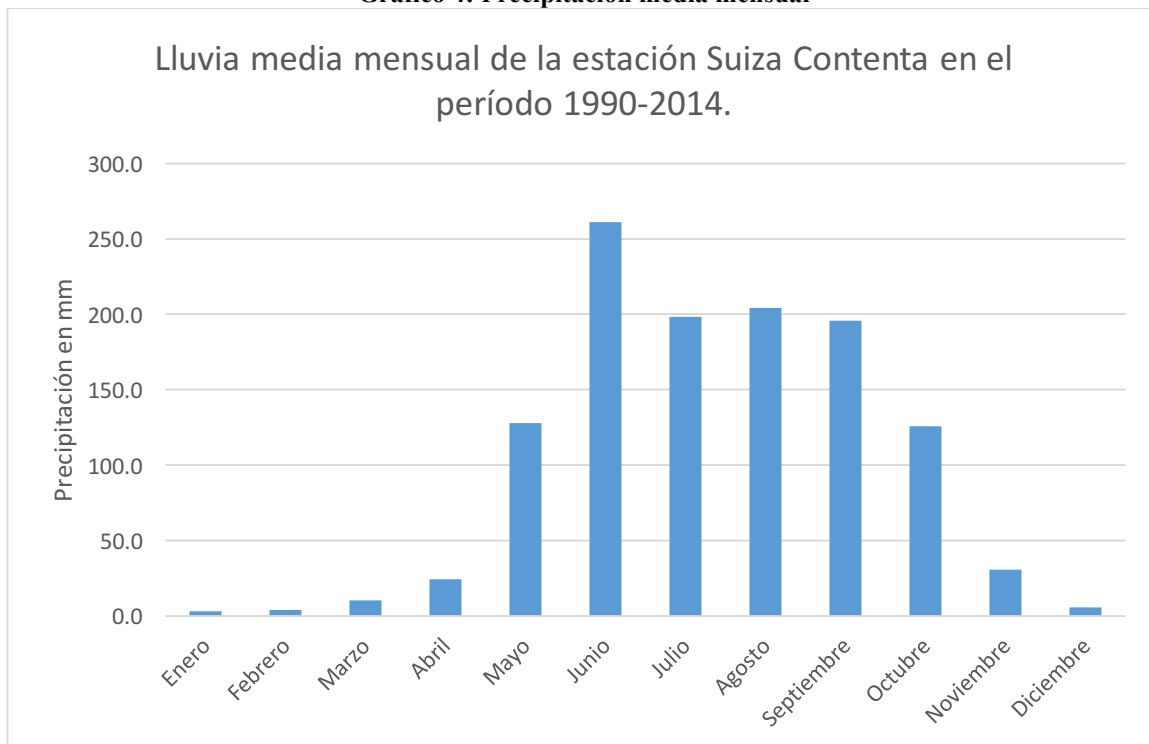
Precipitación Media (2014)	Temperatura Máxima (2014)	Temperatura Mínima (2014)	Humedad Relativa (2014)	Velocidad de Viento (2014)
1,240 mm	27 °C	0.5 °C	74 %	1.2 km/h

Fuente: (INE, 2014)

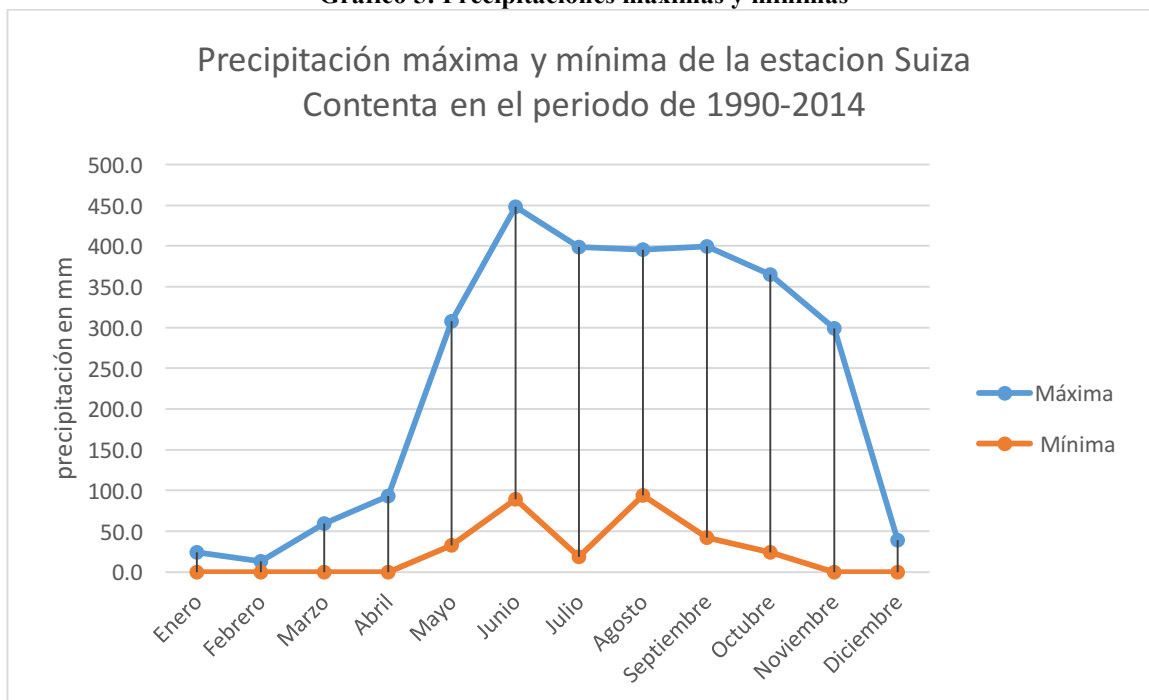
La temporada de lluvias durante el año se puede dividir de la siguiente manera:

- enero a marzo: no hay presencia de lluvias
- abril: pequeñas lloviznas
- mayo a septiembre: se presenta el invierno
- octubre: finaliza el invierno
- noviembre a diciembre: época fría sin lluvias.

(SEGEPLAN, 2010)

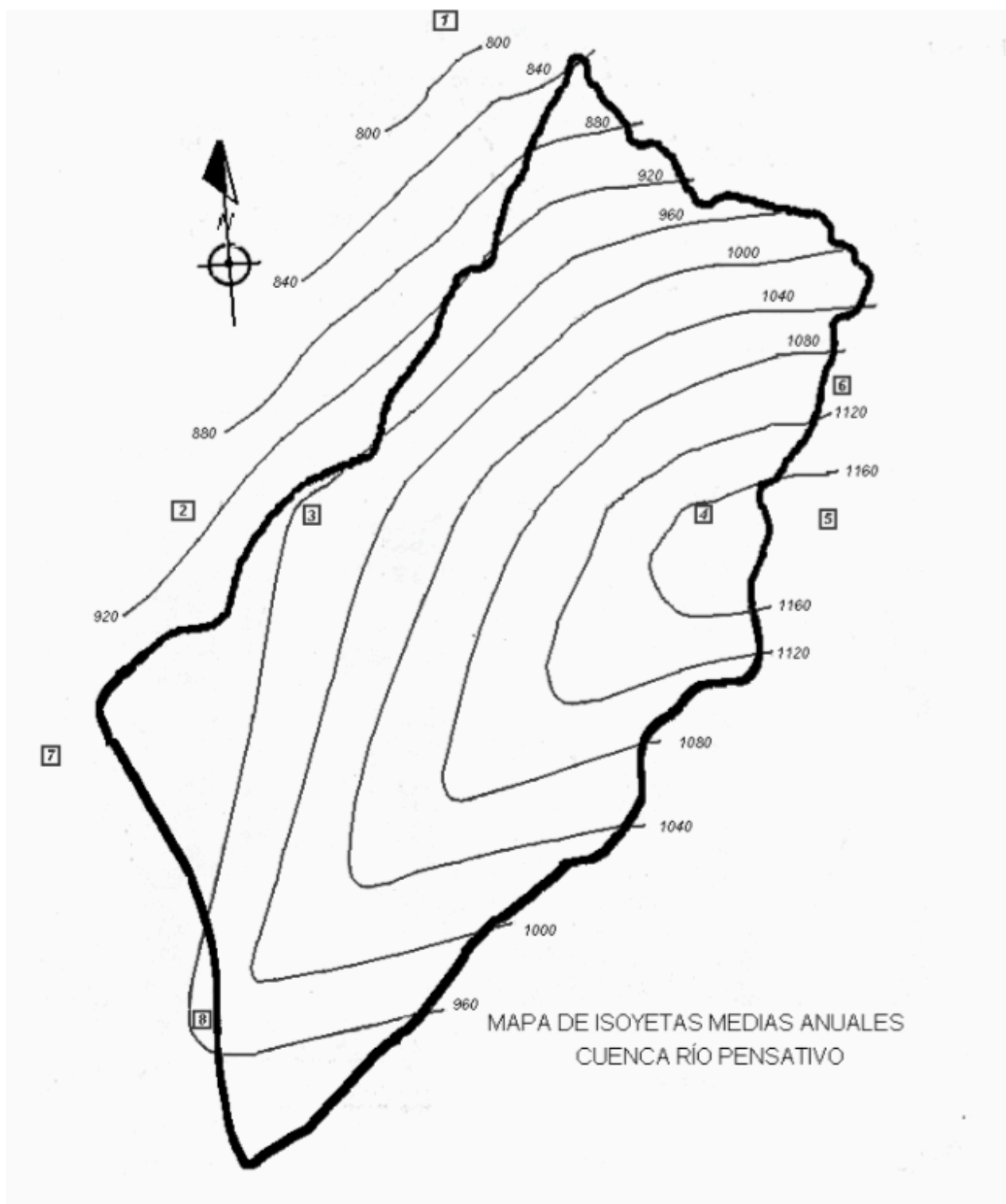
**Gráfico 4: Precipitación media mensual**

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 5: Precipitaciones máximas y mínimas**

Fuente: Elaboración propia

Imagen 11: Mapa de isoyetas medias anuales de la micro cuenca



Fuente: (INSIVUMEH, 1988)

**9. Demografía del municipio de Antigua Guatemala.** La población total del municipio de Antigua Guatemala es de 46,275 habitantes. La mayor parte de ellos se encuentra en la ciudad con un 34.66% del total (SEGEPLAN, 2009). Según la localización el 78.40% se encuentra en el área urbana y el 21.60% en el área rural (INE,2002). Según datos de la INE el crecimiento poblacional del municipio es de 0.9% y decrece en un 1.54% a la tasa departamental. (INE, 2002). La esperanza de vida del municipio de Antigua Guatemala se estima que es igual al del departamento, es decir 67 años y el promedio de vida es de 70.16 años. (CELADE, 2008)

En el año 2002, se estimó que la población joven fue de un 46.95%, para la población en edad productiva las estimaciones representan el 48.38%, por lo que la población restante que corresponde al 4.67% está compuesta por adultos mayores. Así mismo el porcentaje de hombres sería de 48.61% y 51.38% para mujeres, según las estimaciones del INE para el año 2010. El 92.08% de los habitantes del municipio es no indígena y solo 7.92% lo es. (INE, 2002).

Así mismo posee una densidad poblacional de 526 hab/km<sup>2</sup>, registrado en censo del 2002 (INE, 2002). A lo que corresponde con las condiciones de vida relacionada a la calidad de vida de los habitantes de la Antigua Guatemala, en el cual se mide el bienestar, felicidad y satisfacción, el municipio se encuentra ubicado en el puesto 325 a nivel nacional. (SEGEPLAN, 2008).

**10. Educación en el municipio de Antigua Guatemala.** El municipio cuenta con 166 centros de estudio, que cubren desde la preprimaria hasta el diversificado.

En el sector público se encuentran:

- 20 centros a nivel de preprimaria
- 24 centros a nivel de primaria
- 7 centros a nivel básicos
- 4 centros a nivel diversificado

En el sector privado se encuentran:

- 34 centros a nivel de preprimaria
- 34 centros a nivel de primaria
- 38 centros a nivel básicos
- 4 centros a nivel diversificado

(MINEDUC, 2008)

La tasa de analfabetismo en el municipio es de 7.93%, en el cual únicamente se consideran a personas con edad igual o mayor a los 15 años que no sabe leer ni escribir. (CONALFA, 2008)

**11. Salud.** La cobertura en la salud en el municipio según el Ministerio de Salud, en el año 2008 fue de 23,990 pacientes, lo cual corresponde al 53% de la población. El problema es que no se cuenta con personal y medicamento necesario en el centro de salud y en el hospital nacional. El resto de la población recibe su atención medica por parte de hospitales privados o en el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS). (SEGEPLAN, 2010)

En el 2008 se estableció que las tres primeras causas de morbilidad son las infecciones respiratorias agudas, infección del tracto urinario y parasitismo intestinal. Las tres primeras causas de mortalidad en el municipio son por vejes, insuficiencia respiratoria y renal. (SIGSA, 2008)

**12. Servicios básicos en la Antigua Guatemala.** En la Antigua Guatemala el principal material de construcción en las viviendas es el block en un 54.12%, seguido de madera, lepa y techo de lámina con un 18.64%

**Tabla 12: Materiales de construcción**

Material	Total	Urbana	Rural
Adobe	10.17	69.17	30.82
Ladrillo	2.99	66.19	33.81
Bajareque	0.5	18.33	81.66
Block	54.12	73.68	26.31
Lepa	18.64	67.6	32.39
Madera	7.7	56.89	43.1
Concreto	1.64	70.44	21.55
Lámina metálica	2.7	66.7	33.29

Fuente: (DMP, 2009)

**13. Servicio de agua.** El servicio de agua en La Antigua Guatemala es abastecido por 15 nacimientos y 9 pozos mecánicos. 6,661 viviendas conforman un 72,28% de los hogares que poseen servicio de agua. El resto no posee agua potable y son abastecidos con agua entubada sin tratamiento o no poseen dicho servicio. (SEGEPLAN, 2010)

**14. Servicio sanitario.** El 77% de las viviendas paga el servicio de recolección y conducción de aguas servidas de tipo combinado. El resto no posee dicho servicio por lo que ocasiona niveles de contaminación. (SEGEPLAN, 2010; INE,2002)

**15. Desechos sólidos.** En Antigua Guatemala existen alrededor de 14 basureros clandestinos y 22 vehículos recolectores de basura para más de 8,000 viviendas. No existe un manejo tecnificado para el tratamiento de desechos sólidos, por lo que el tren de aseo es ineficiente. La mayor parte de la basura se acumula en el basurero “Choconal”, existen botaderos de basura en los alrededores del casco urbano

y en las aldeas del municipio. En el censo del año 2002, se determinó que únicamente 746 hogares utilizan el servicio municipal, 469 la tiran en cualquier lado, 1,743 hogares la queman y 5,081 pagan un servicio privado. (SEGEPLAN, 2010; INE, 2002)

**16. Servicio de alumbrado.** En el municipio existe un total de 8,261 viviendas que poseen el servicio de energía eléctrica. Esto representa que un 81.35% de la población tiene acceso al servicio, el resto de las viviendas no lo posee. (SEGEPLAN, 2010)

**17. Saneamiento ambiental.** En el año 2009 se estimó que la cobertura del sistema de drenajes en el municipio es del 97.3% en la parte central, pero en el interior es menor. Actualmente no existe planta de tratamiento de aguas servidas ni desechos sólidos. Hoy por hoy es un tema sin abordarse por lo que las condiciones de deterioro del medio ambiente siguen estando presentes y con el pasar del tiempo este se puede complicar. Es necesario comprometerse al manejo de la cuenca, ya que se pone en peligro a todos los ecosistemas que dependen de ella, incluyendo a las personas. (SEGEPLAN, 2010)

## **B. Diagnóstico de daños**

Actualmente la Antigua Guatemala sigue teniendo pérdidas económicas no solo con el desborde del río Pensativo cuando las lluvias son muy fuertes, sino también se ve afectado por el colapso de los drenajes en época de invierno. Cuando se producen estas inundaciones hay que tomar en cuenta los daños y pérdidas materiales que sufren estas personas, además que estos problemas afectan la salud de los habitantes de la ciudad de Antigua Guatemala.

Económicamente la Antigua Guatemala se puede ver afectada debido derrumbes y calles inundadas que imposibiliten el paso de vehículos lo que impide el transporte de visitantes dentro y fuera de la Antigua, así como el traslado de productos como el café, textiles, cerámica y muebles. La falta de mantenimiento de obras civiles puede llegar a ocasionar grandes pérdidas a la municipalidad, como por ejemplo:

- Derrumbes en las carreteras
- Hundimiento de calles y terrenos debido a la erosión del suelo
- Colapso total de los drenajes debido al aumento del caudal
- Caída de árboles y ramas en la carretera
- Daños en obras civiles
- Desbordamiento de ríos

Al producirse inundaciones la escorrentía se contamina y puede llegar a desembocar a los ríos cercanos y/o a los acuíferos, si no se tiene un control adecuado en el saneamiento del agua, esto afectaría la salud de la población con enfermedades respiratorias, diarrea, cólera, dengue, zika y chikungunya. Cabe mencionar que la Antigua Guatemala no cuenta con ninguna planta de tratamiento y desde hace algún tiempo sufre de escases de agua potable.

**Imagen 12: Desborde del río Pensativo en San Pedro las Huertas**



Fuente: (Bomberos de Antigua Guatemala, 2010)

**Imagen 13: Desborde del río Pensativo en San Pedro el Panorama**



Fuente: (Prensa Libre, 2011)

**Imagen 14: Cauce del río Pensativo en temporada de lluvia**



Fuente: (Día a Día News, 2015)

Actualmente los daños y pérdidas se deben a factores que constantemente se producen en la Antigua Guatemala, como por ejemplo:

- Aumento en la deforestación río arriba
- Manejo inadecuado del uso de la tierra
- Problemas de contaminación ya que los desechos sólidos llegan al río y/o drenajes y se producen inundaciones
- Falta de mantenimiento en el cauce del río
- Aumento de la escorrentía y caudal del río debido al mal drenaje de la carretera.

**Imagen 15: Cauce del río Pensativo**



Fuente: Elaboración propia

En la imagen anterior se observa la sedimentación de partículas en el río Pensativo, las cuales provienen aguas arriba del cauce. Esta se acumula poco a poco, por lo que al no darse el mantenimiento adecuado se produce el desborde del río.

**Imagen 16: Trabajos de limpieza del río Pensativo**



Fuente: Elaboración propia

**Imagen 17: Desechos sólidos en el río Pensativo**



Fuente: Elaboración propia

**Imagen 18: Cauce del río Pensativo con obstrucción vegetativa**



Fuente: Elaboración propia

**Imagen 19: Cauce del río Pensativo**



Fuente: Elaboración propia

En las imágenes 16 y 17 se observa que la limpieza del río se está realizando con personas y no se utiliza maquinaria pesada lo que hace que el trabajo sea demasiado lento y los resultados obtenidos no sean muy buenos. Estas personas no están ampliando la sección del río, sino que únicamente quitan la basura, ramas y sedimentos que están obstruyendo el paso del agua; solamente lo hacen a un lado, por lo que en una fuerte tormenta esto se lava y se puede acumular aguas abajo causando una obstrucción en el cauce y puede llegar a producir una inundación.

Si se comparan las imágenes 17 y 18 el río presenta cambios en su sección por lo que en secciones pequeñas está más propenso al desbordarse. Además de esto se observa la falta de mantenimiento del cauce ya que en algunos puntos del trayecto del río se presenta una gran cantidad maleza la cual contribuye a que se obstaculice el cauce.

### C. Historial de inundaciones y daños causados

**Tabla 13: Historial de inundaciones en debido al río Pensativo**

Año	Día	Mes	Descripción
1881	6	octubre	La temporada de invierno ocasiona pérdidas de puentes, fincas cafetaleras y pequeños derrumbes.
1896	29	septiembre	Debido a dos días de lluvia fuerte se inundaron varios lugares en Antigua Guatemala. El río Pensativo se desbordó afectando fincas por que atraviesa, las pérdidas son considerables.
1898	28	septiembre	Nuevamente el río Pensativo afecta a fincas aledañas debido a fuertes lluvias. Varias viviendas inundadas
1929	14, 15 y 16	septiembre	El río Pensativo afecta a ciudad vieja
1933	8, 11, y 17	septiembre	Antigua Guatemala se inunda por corriente del río Pensativo
1933	18	septiembre	Se desborda nuevamente el río pensativo
1933	23	septiembre	El río Pensativo ocasiona daños en Sacatepéquez
1933	9	octubre	Antigua Guatemala queda inundada por dos corrientes del río Pensativo
1944	1	septiembre	Desborde del río Pensativo sobre el barrio de Chipilapa
1949	30	septiembre	Antigua Guatemala se inunda nuevamente
1950	28	septiembre	Se envía señal de alerta debido a la amenaza de inundación por parte del río Pensativo.
1951	8	septiembre	Peligroso desborde del río pensativo; arrolla puente de acero.
1951	20	septiembre	Se desborda nuevamente el río Pensativo, se inundaron varias calles y avenidas.
1953	9	octubre	Desborde del río Pensativo debido a un fuerte aguacero, calles arrasadas por la fuerte corriente
1969	6	septiembre	50 personas murieron y 100 personas fueron heridas debido a las inundaciones en Antigua Guatemala.
1979	30	julio	Se inundan varias casas, calles y avenidas debido a una fuerte lluvia, lo que causo el desborde del río Pensativo.
1985	-	-	Se desborda el río Pensativo.

Fuente: (INSIVUMEH, 1988; Lopez, 1988)

Hasta el día de hoy siguen existiendo no solo inundaciones debido al desborde del río Pensativo, sino debido al colapso de los drenajes los cuales ya no se dan abasto en época de lluvia. Cabe mencionar que los meses en los que más se presentan dichas inundaciones son en el mes de septiembre.

**Tabla 14: Días de lluvia en el mes de septiembre**

Año	Mes	Días de lluvia
2007	Septiembre	23
2008	Septiembre	21
2009	Septiembre	13
2010	Septiembre	24
2011	Septiembre	23
2012	Septiembre	18
2013	Septiembre	25

Fuente: INE, 2014

Como se observa en la tabla anterior en los últimos años en el mes de septiembre se presentan los días con más lluvias en el año. Por lo que es en este mes que la población debe estar preparada para cualquier circunstancia. A pesar que el río Pensativo es intermitente, puede presentar su desborde si aumenta la precipitación considerablemente.

**Imagen 20: Cauce del río Pensativo bajo el puente Matasano**



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra un listado de algunos puentes que se encuentran actualmente o que desaparecieron debido a las inundaciones.

- I. El arco del Matasano, ubicado en la entrada de Antigua Guatemala
- II. El arco de las monjas desapareció debido a una inundación
- III. El arco de la Cruz del Milagro desapareció debido a una inundación
- IV. El arco de Santa Lucía, el puente original desapareció, pero en la actualidad hay uno nuevo que se encuentra uno a 50 metros después del antiguo puente.
- V. No se ha identificado su nombre, pero se encontraba frente al callejón de mariposas (también desaparecido)
- VI. Arco de la Santa Cruz también desapareció
- VII. Arco de la Cochera, su nombre proviene debido a que se encontraba cerca de un rastro de ganado también desaparecido.
- VIII. Arco de Matates o de Carranza. El puente actual se encuentra a 2.66 m sobre el nivel el cauce, debajo de este se encuentran los restos del puente anterior el cual estaba a 2.16 m sobre el cauce. Lo que quiere decir que el río ha llegado a dichas alturas
- IX. Arco de los Remedios. El puente se encuentra a 2.78 m sobre el nivel que tiene cauce actualmente
- X. Sin identificación, desaparecido
- XI. Sin identificación, desaparecido
- XII. El arco del Capacho está localizado a la altura del rastro municipal. Esta construido sobre el antiguo, actualmente el puente se encuentra a 2.83 m sobre el nivel del río. (Maúl & Johnston, 2001)



#### D. Bases para sustentar el plan de protección

Guatemala cuenta con uno de los PIB más altos de Centroamérica, con un valor de 46.100 millones de dólares el cual lo ha mantenido durante los años 2009 al 2013. Así mismo Guatemala se ha convertido en un destino accesible para países como Estados Unidos, Canadá y Europa. Muchos turistas seleccionan el departamento de Sacatepéquez debido a los pequeños municipios que circulan la ciudad de Antigua, en el cual se estima que el 31.9% del total de los turistas internacional que vienen a Guatemala visitan dicha ciudad. Este porcentaje representa aproximadamente un total de 638,040 personas al año. La ciudad de Antigua Guatemala es visitada por excursionistas internacionales como nacionales, en temporada alta el índice de ocupación es del 40%, con una pernoctación que oscila de 1.8 a 2.7 noches dependiendo el origen del turista. (Oddone & Alarcón, 2016)

Las visitas de los turistas son tan importantes para la Antigua Guatemala ya que, si el índice de ocupación aumentara un 10% más, con un gasto promedio de 75 dólares diarios por cada uno de los visitantes, aumentaría a 24 millones de dólares al año los ingresos para la ciudad. Es por ello que es de suma importancia promover el turismo en la Antigua y los diferentes municipios que están alrededor de esta, ya que trae muchos beneficios para el país. (Oddone & Alarcón, 2016)

**Tabla 15: Principales actividades de la población económicamente activa**

	Primera Actividad	Segunda Actividad	Tercera Actividad
Antigua	Industria manufacturera	Comercio, restaurantes y hoteles	Servicios comunales, sociales y personales

Fuente: (Oddone & Alarcón, 2016)

Se tiene información que un 58% de los guatemaltecos realiza viajes al interior del país, los habitantes de la ciudad de Guatemala este valor aumenta a un 60% en los meses de marzo y abril. El 11.2% de las personas que viajó al interior visitó el departamento de Sacatepéquez, y un 11% de ese total su destino fue Antigua Guatemala. Entre todos los municipios que se visitaron en el año 2013 a 2014 Antigua Guatemala obtuvo el segundo lugar de las visitas con un 12%, se tiene un promedio que las personas que visitan Antigua Guatemala son en grupos de 3.6 personas y que permanecen alrededor de 2.2 noches. (Oddone & Alarcón, 2016)

En el caso de excursionistas, la ciudad de Antigua Guatemala es uno de los principales destinos con un 40% del total. En época de Semana Santa la Antigua es el lugar con mayor cantidad de vistas, según el registro del año 2014, la ciudad fue visitada por 300,176 personas (INGUAT, 2014). Durante la Semana Santa el 86% de los visitantes son guatemaltecos, el 14% restante son extranjeros los cuales el 52% de ellos son de origen centroamericano, un 18% provienen de Europa y por último un 17% son estadounidenses (Solórzano, 2013)

La semana santa es la visita más popular e importante de la ciudad, ya que relaciona elementos de arte, cultura y religiosidad los cuales se combinan con el escenario patrimonial que posee la ciudad de Antigua Guatemala. En el año 2011 esta celebración tuvo un impacto económico de alrededor de los 672.7 millones de quetzales, este valor es generado únicamente en una semana (desde domingo de ramos hasta el domingo de resurrección). (Solórzano, 2013). Esto lleva a pensar el potencial económico que tendría la antigua Guatemala si se lograra invertir en promover el turismo de una manera sostenible para no elevar la capacidad de carga de la Antigua Guatemala sino también promover actividades en los municipios aledaños, pero con el hospedaje en la Antigua.

La ciudad de Antigua Guatemala tiene su origen en la conquista y colonización española en el valle de Panchoy en el siglo XVI. Esta ciudad debido a su ubicación geográfica ha sufrido varios desastres naturales como por ejemplo sismos, inundaciones y erupciones volcánicas, debido a estos acontecimientos se motivó a trasladarse al valle de la Ermita, donde actualmente se encuentra la ciudad de Guatemala. Esto permitió que se conservara la arquitectura colonial de la mayoría de las edificaciones, es por ello que en 1969 se creó el Decreto Ley 60-69 que se relaciona con la Ley de Protección de la Antigua Guatemala. (Oddone & Alarcón, 2016)

Diez años después la ciudad es declarada Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO, fue incluida en la lista de la “Convención del Patrimonio Cultural Mundial” con el numero 65, ya que cumplía con ciertos criterios para su inscripción. Mediante el decreto mencionado anteriormente se estableció el Consejo Nacional para la protección de Antigua Guatemala (CNPAG), dicho consejo busca la conservación del patrimonio inmueble, por lo que se establecieron lineamientos sobre la construcción y se prohíben modificaciones que alteren el estilo colonial. (Oddone & Alarcón, 2016)

En la última medición que se realizó en el año 2002, la ciudad es visitada por alrededor de 6,500 vehículos durante los fines de semana, en su mayoría automóviles. Esto se debe especialmente a que muchas personas llegan a disfrutar algún tiempo de comida (en especial almuerzos y cenas) o debido a que se realizan celebraciones como casamientos, fiestas de 15 años y bautismos. (Oddone & Alarcón, 2016)

## **E. Medidas de tratamiento de tierras**

Como se observó en el Gráfico 2 de la curva hipsométrica, se clasifico la cuenca en una etapa de madurez, es decir que el río seguirá transportando sedimentos durante muchos años más. Este río posee una alta deposición en su parte más baja, lugar donde se encuentra ubicado Antigua Guatemala. La velocidad con la que se acumulan los sedimentos será proporcional a la velocidad con que se erosionen los terrenos. Algunas de las inundaciones que fueron originadas por el desborde del río pensativo fueron causadas por la acumulación de sedimentos en las partes más bajas, esto pudo provocar que la sección del río se redujera y a su vez disminuyendo la velocidad del cauce por lo que los objetos (ramas de árboles y/o basura) arrastrados por el río quedarán atascados y se obstruyera el paso del agua, provocando así un desastre natural.

El manejo y tratamiento de tierras está relacionado con el aumento o disminución de la erosión del suelo, ya que actividades como la construcción y la agricultura pueden aumentar la producción de desechos los cuales en época de lluvia pueden lavarse y llegar al cauce del río aumentando así los sedimentos. A consecuencia de esto es importante identificar de donde proviene el sedimento. Para ello sería necesario realizar un recorrido por todo el cauce del río Pensativo.

Primero sería necesario identificar la deforestación de la cuenca, ya que al reducir la vegetación esto aumenta la escorrentía y tiende a existir una mayor erosión. Según datos estadísticos proporcionados por la INE, indica que Antigua Guatemala sufre una deforestación del 1.1% anual según los registros del año 2010, por lo que sería importante promover la reforestación de la cuenca.

Es importante también la realización adecuada de taludes, así como su debida protección, ya que algunas veces en época de lluvia debido a la saturación del suelo este se desprende y cae en las carretas. El problema es que muchas veces el material suelto se hace a un lado para liberar paso, al momento que comience otra lluvia el material puede trasportarse por los drenajes y llegar hacia el río.

Por ultimo sería importante promover las normas conocidas como “Buenas Prácticas Agrícolas” establecidas por la FAO en las fincas cafetaleras por las que atraviesa el río pensativo, así como en los cultivos que estén cerca del río como lo es San Mateo Milpas Altas en donde se realiza la cosecha de algunas hortalizas como papa, cebolla, zanahoria, etc. Dichas normas promueven que las cosechas se realicen de manera sostenible. Estas normas no solo buscan ayudar al agricultor sino también protegen la salud y bienestar del ser humano, los animales y el medio ambiente. La norma presenta once elementos diferentes que corresponden a distintas disciplinas o lineamientos que ayudan optimizar los recursos naturales. Como elemento principal se tiene el suelo, por lo que esta norma busca reducir la pérdida del suelo a consecuencia de la erosión eólica o hídrica, así mismo dicha gestión busca proteger la vegetación natural que rodea los cultivos.

## F. Simulación de inundación

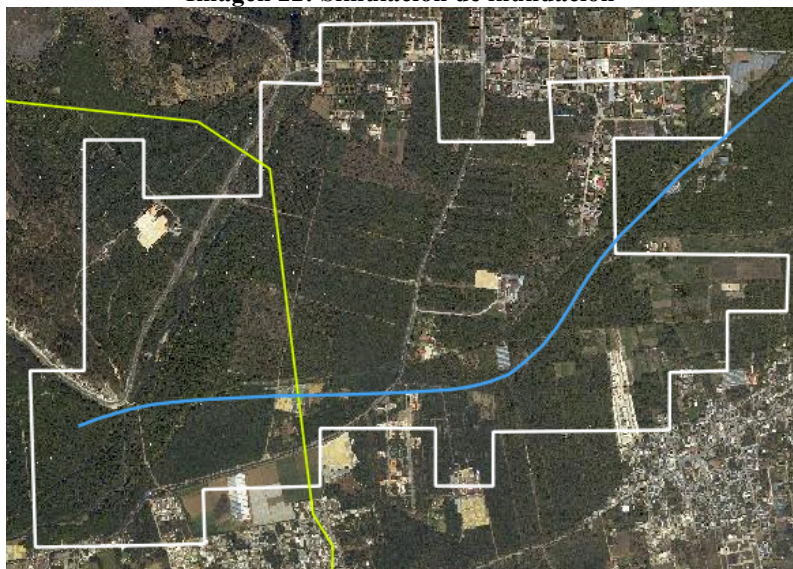
Para tener una idea clara del nivel de daño que ocasionaría el desbordamiento de un río, es necesario utilizar herramientas digitales para realizar simulaciones y determinar los posibles daños si dicho acontecimiento sucediera. En este caso se utilizó nuevamente el software Qgis y con la ayuda de la herramienta Grass Gis, la cual se utiliza para el análisis de datos geospaciales. Lo que se buscó fue elevar el cauce del río Pensativo e identificar el área afectada y lo que representaría en pérdidas dicho acontecimiento.

Para realizar dicho análisis, primero se identificó el lugar en el cual se simulará la inundación. Por lo tanto, se escogió uno de los puntos más bajos del municipio de Antigua Guatemala, dicho lugar se encuentra a 1518 msnm y se encuentra a pocos kilómetros del límite entre Ciudad Vieja y la Antigua. La mayor parte de los daños en un río se dan en las partes más bajas del cauce, este punto debido a su altura es más propenso a la deposición de material ya que la velocidad del cauce disminuye debido a la baja pendiente como se puede observar en el perfil longitudinal del río Pensativo.

La simulación consistió en aumentar el lecho del río hasta una altura determinada, toda el área de terreno que se encuentre menor o igual a dicha altura sería cubierta por agua. La altura que se seleccionó fue la mencionada anteriormente, además que en dicha ubicación se encuentra un puente cuyo nombre es desconocido que pasa sobre el cauce del río Pensativo.

La siguiente imagen es una ortofoto de la Antigua Guatemala que muestra los lugares afectados por la simulación de la inundación. La línea amarilla representa el límite de la ciudad de Antigua, la línea azul representa el cauce del río Pensativo y por ultimo todo lo que está dentro de la línea blanca es el área afectada por la inundación.

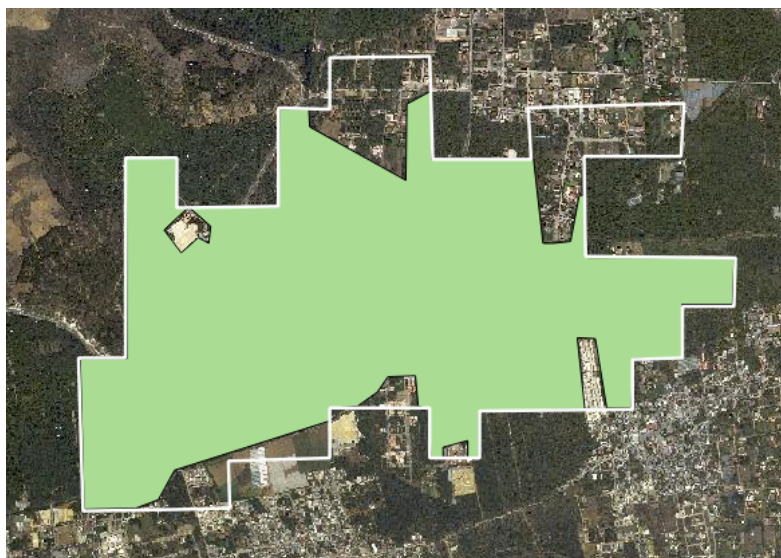
**Imagen 22: Simulación de inundación**



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la imagen anterior, la gran parte del área afecta está ocupada por fincas cafetaleras (Ver Anexo 3), esto quiere decir que si el desastre natural sucediera las pérdidas de producto serían grandes. La siguiente imagen muestra el área de cultivos de café que se vería afectada debido a una inundación.

**Imagen 23: Área de café afectada**



Fuente: Elaboración propia

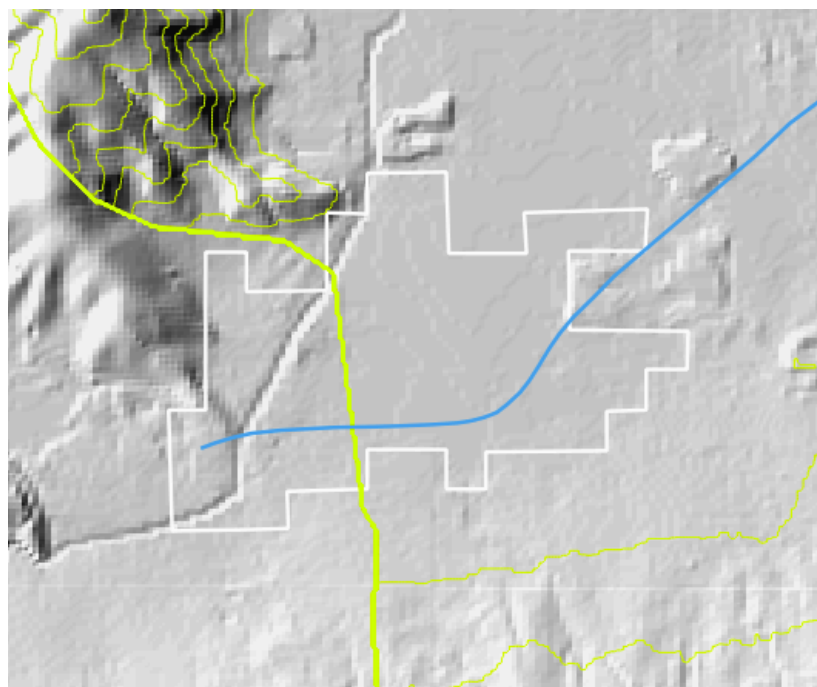
La cuantificación de las pérdidas se puede realizar utilizando el rendimiento del producto, el cual se encuentra publicado en el documento del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA): “El Agro en Cifras 2015”

El rendimiento del café proyectado en el 2015 fue de 14.90 quintales por cada manzana. La Organización Internacional del Café indica que el precio promedio de dicho producto para el mes de abril de 2016 es de 114.34 dólares por cada quintal. El área de café afectada tiene un tamaño de 2.15 km<sup>2</sup> con estos valores se puede estimar las pérdidas económicas que se tendrían si la inundación dañara dichos cultivos.

$$2.15 \text{ km}^2 * \frac{100 \text{ ha}}{1 \text{ km}^2} * \frac{1 \text{ mz}}{0.6988 \text{ ha}} * \frac{14.90 \text{ qq}}{\text{mz}} * \frac{114.34 \text{ US}}{1 \text{ qq}} = 524,167.42 \text{ dólares}$$

El impacto económico que tendría este desastre sería muy fuerte para la Antigua Guatemala ya que el café es la producción agrícola más importante del municipio. Además, que dicho producto es exportado al extranjero por medio de la asociación ANACAFE. Se tienen registros que la Antigua Guatemala produce alrededor de 76,255 quintales de café al año, es una de las fuentes de trabajo más importantes y además es una atracción turística. (SEGEPLAN, 2010)

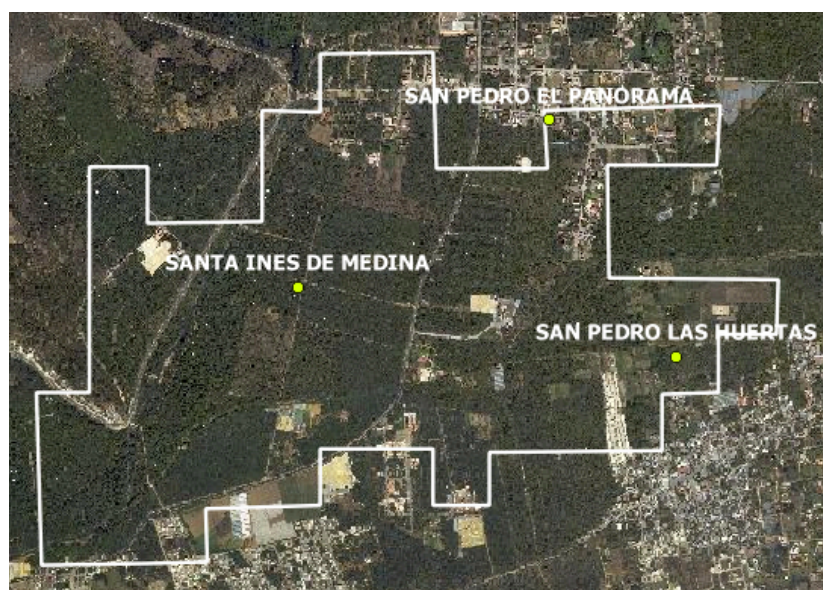
**Imagen 24: Relieve del terreno afectado por inundación.**



Fuente: Elaboración propia

En la imagen anterior se puede observar que el área de café afectada se encuentra en una parte plana por la cual el río atraviesa. La simulación también nos muestra las poblaciones que pueden estar en riesgo debido a la inundación, dichos lugares son San Pedro el Panorama, San Pedro las Huertas y Santa Inés de Medina. El total de personas que se encuentran en riesgo sería de 4,662, según la base de datos del censo del 2002.

**Imagen 25: Lugares poblados afectados por simulación de inundación**



Fuente: Elaboración propia

Es importante resaltar que San Pedro las Huertas y San Pedro el Panorama constantemente sufren inundaciones debido al desbordamiento del río cuando las lluvias aumentan por lo que es un indicador de que si existe un riesgo en dichos lugares. Debido a los resultados obtenidos en la simulación es necesario realizar una lista de las posibles alternativas de protección que se podrían llevar a cabo para reducir los daños y que las pérdidas y los riesgos sean los mínimos.

## **G. Alternativas de protección**

La ciudad de Antigua Guatemala se encuentra localizada exactamente en el cauce natural del río Pensativo. Según algunos registros históricos hasta el año de 1773 el río cruzaba por medio de un túnel, situado exactamente por debajo de la ciudad. Después de un terremoto en ese mismo año el túnel quedó completamente destruido, por lo que se tomó la decisión de desviarlo artificialmente. Debido al desarrollo urbano y agrícola, se fue delimitando cada vez más el desarrollo natural del río, ya que actualmente en al menos cuatro fincas cafetaleras atraviesa el río.

Las inundaciones se deben a que la Antigua Guatemala se encuentra a un nivel más bajo del lecho del río. Al haber canalizado el río alrededor de la ciudad, provocó la disminución de la pendiente del cauce, lo que produce la sedimentación de material que es erosionado aguas arriba.

A continuación, se hará un listado con algunas medidas preventivas que pueden implementarse para reducir o mitigar las inundaciones debido al desborde del río.

### **Medidas preventivas:**

- Protección de los cortes en las carretas o taludes en áreas susceptibles a deslaves, para evitar que el material se desprenda cuando el suelo se sature y sea arrastrado hacia los drenajes que desfogan en el río, así evitando que el material se sedimente.
- Mantenimiento adecuado de cunetas y drenajes para evitar que desechos sólidos lleguen al río.
- Con el apoyo de la Municipalidad de Antigua Guatemala se debe de promover la reforestación para aumentar la cobertura forestal que poco a poco ha disminuido y puede ser la causante del aumento de material erosionable.
- Nuevamente con el apoyo de la municipalidad se debe de promover una campaña para la recolección de desechos sólidos, ya que el actualmente el tren de aseo es ineficiente. Esto ayudaría a evitar que la basura llegue al río y reduzca la sección del mismo.
- Instalación de una estación hidrológica para identificar crecidas, además de mejorar el registro meteorológico de la cuenca, con la finalidad de obtener mayor información y que las soluciones sean más concretas y acertadas.

- Implementación de un sistema de alerta temprana para desalojar a las personas que se encuentren en amenaza debido a la crecida del río Pensativo. Requeriría un monitoreo adecuado del caudal del río en época de lluvia por lo que sería necesario la estación hidrológica.

**Medidas correctivas:**

- Realizar dragado del río Pensativo, el cual debería de ser programado en los meses de noviembre hasta abril, logrando así aumentar la sección del canal. Es necesario identificar un lugar adecuado para la deposición del material para evitar que sean transportados por el río nuevamente.
- Construcción de disipadores de energía para reducir la velocidad de desfogue de los drenajes de la carretera. Ya que los drenajes al estar a gran altura erosionan el suelo.
- Mejorar los puentes existentes para aumentar su capacidad hidráulica. Estos puentes se construyeron únicamente para satisfacer la necesidad de trasladarse de un punto al otro. Al momento de existir una crecida del río, estos puentes se encuentran en peligro de ser arrastrados por la corriente.

## **VI. Conclusiones.**

Se determinó que las causas de las inundaciones en el municipio se deben a la ubicación geográfica de la ciudad, ya que esta se ve afectada por la tendencia de inundaciones en época de lluvia. La alteración del cauce natural del río agravó los problemas de sedimentación aguas abajo. El cambio de uso de tierras es uno de los factores por los cuales ha aumentado la escorrentía y la erosión del suelo debido a la disminución de la cobertura forestal. En el mes de septiembre la precipitación no es fuerte, pero sí constante por lo que el suelo se satura y pierde su capacidad de infiltración lo que produce un aumento de la escorrentía y a su vez un aumento en el caudal del río.

Las alternativas de protección que pueden desarrollarse a corto y mediano plazo son la reforestación para aumentar la cobertura forestal, mejorar la recolección de los desechos sólidos en todo el casco urbano, la programación de dragados en el río Pensativo para aumentar la pendiente y la sección del canal. Por lo que por medio de los lineamientos presentados anteriormente es necesario implementar los sistemas de alerta temprana para proteger y resguardar a las personas que se encuentren en amenaza debido a una crecida del río.

El impacto económico que provocaría una inundación se determinó por medio del rendimiento del café el cual es de 14.90 qq/mz. El área afectada de café sería de 2.15 km<sup>2</sup> por lo que la pérdida sería de 524,167.42 dólares. Las pérdidas económicas para la ciudad serían fuertes ya que el cultivo del café es la producción agrícola más importante del municipio.

La curva hipsométrica indica que la cuenca se encuentra en una etapa de madurez por lo que el proceso de erosión provocado por la escorrentía seguirá afectando a la ciudad. La densidad de corriente de la cuenca es de 0.14, el valor es bajo e indica que la velocidad de transporte de material es lenta y es por ello que se sedimenta en la parte baja. El tiempo de concentración hasta la desembocadura es de 83 minutos, esto se debe a la disminución de la pendiente al momento de llegar al puente Matasano.

## VII. Recomendaciones.

- Es importante la instalación de una o varias estaciones hidrológicas y meteorológicas, ya que ayudarían a obtener mayor información del comportamiento de la cuenca y del río Pensativo.
- Si se desea estudiar el comportamiento del río y sus crecidas sería necesario instalar un limnógrafo, el cual ayudaría a determinar si existe una amenaza y de esta forma se podrían activar los sistemas de alerta temprana si en caso fuera necesario.
- La alternativa de protección más adecuada sería el dragado del río Pensativo debido a que el mayor problema que tiene la cuenca es la sedimentación en las partes bajas. De esta forma se podría aumentar la sección del cauce.
- Los proyectos de dragado deben de llevarse a cabo en los meses de noviembre a abril, ya que es el período de tiempo en los que hay menos lluvia en Guatemala. De esta forma el proyecto podría trabajarse de manera segura y efectiva.
- Los proyectos de reforestación, disminución de la basura en el cauce del río e implementación de uso adecuado de tierras, ayudaría a reducir el mantenimiento del cauce. Estos proyectos deben ser administrados por la municipalidad.
- La municipalidad así mismo debería de realizar un estudio del impacto social y económico que tendría una inundación en el casco urbano de la Antigua Guatemala, si el puente Matasano llegara obstruirse debido a su baja capacidad hidráulica.

## VIII. Bibliografía.

Cap-Net. (2011). *Integrated Urban Flood Management*. Manual, International Network for Capacity Building in Integrated Water Resources Management.

Global Water Partnership. (2002). *Gestión de Inundaciones en Áreas Urbanas* (1ª edición ed.). (C. Tucci, Ed., & A. Nespolo, Trad.) Buenos Aires, Argentina.

INSIVUMEH. (1988). *Informe Hidrológico Preliminar del Río Pensativo*. Informe Técnico, Ministerio de Comunicaciones, Transporte y Obras Públicas, Guatemala.

Lopez, F. (1988). *Análisis Hidrológico Preliminar de las Crecidas del Río Pensativo*. Informe Técnico, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Guatemala.

Maúl, A., & Johnston, R. (2001). *Arqueología e Historia del Río Pensativo*. Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Mexico.

Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la Ingeniería* (2ª ed.). (E. C. Ingeniería, Ed.) Mexico: Alfaomega.

Oddone, N., & Alarcón, P. (2016). *Fortalecimiento de la cadena de turismo de Antigua Guatemala y de los municipios rurales del Departamento de Sacatepéquez*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Mexico: Naciones Unidas.

SEGEPLAN. (2010). *Plan de Desarrollo La Antigua Guatemala*. Informe Técnico, Consejo Municipal de Desarrollo, Sacatepéquez.

Solórzano, J. (2013). Valor Económico De La Semana Santa En La Antigua Guatemala. (B. Castillo, Ed.) *Patrimonio Cultural y Turismo Cuadernos*, 209.

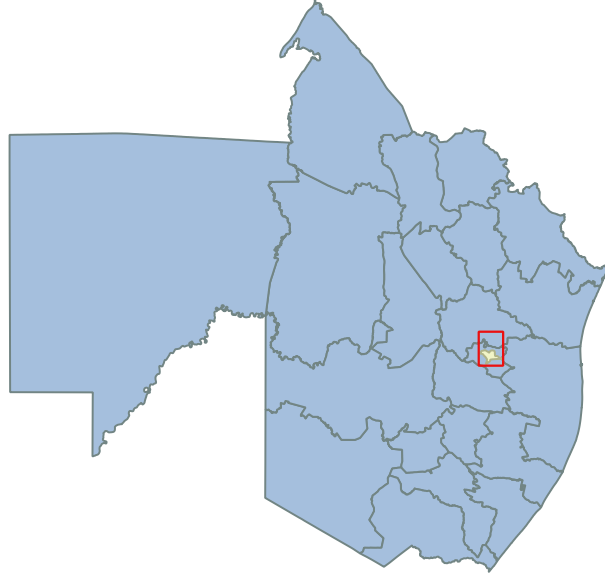
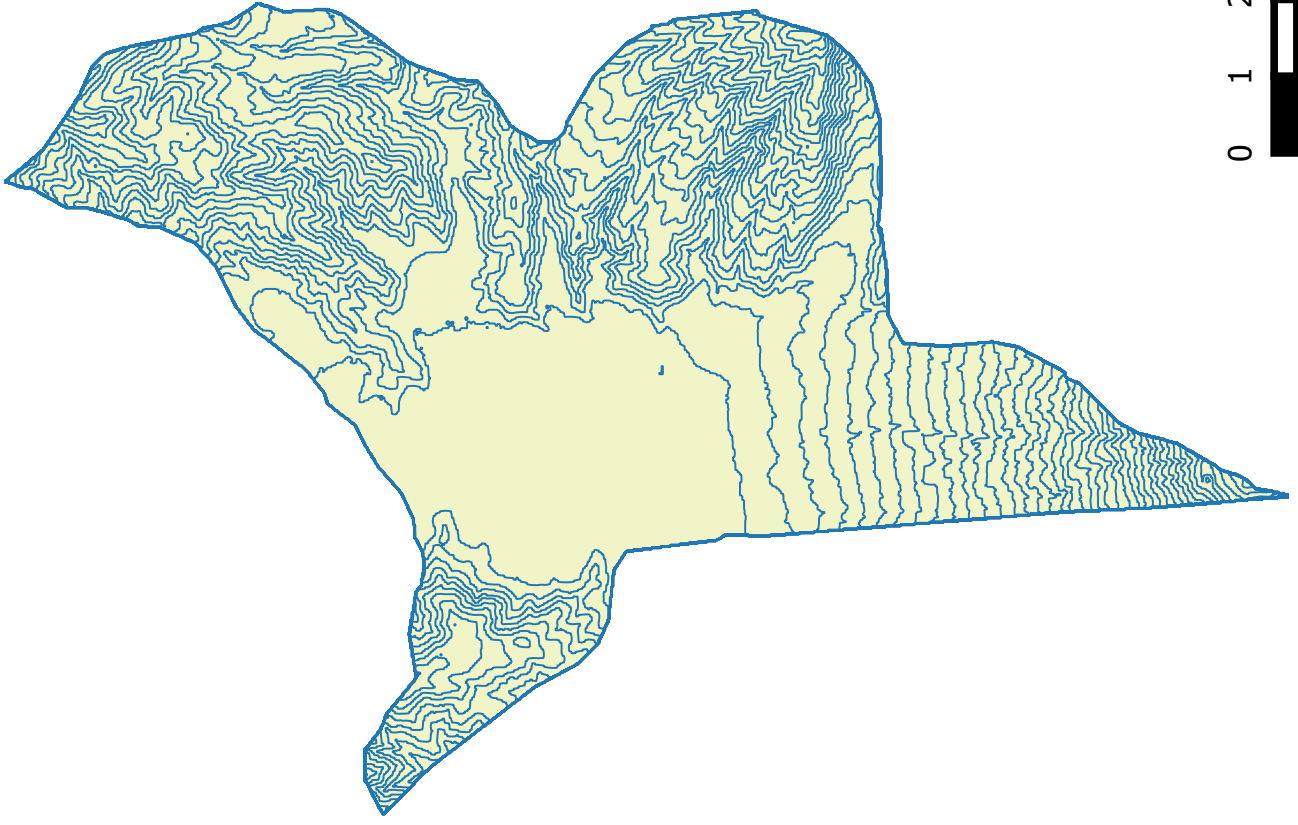
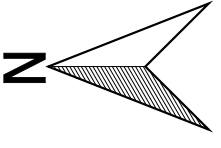
Tucci, C. (2006). *Gestión de Inundaciones Urbanas* (1ª ed.). Porto Alegre, Brasil; Evangraf.

Tucci, C. (201). *Urban Drainage in Humid Tropics* (Vol. 1). (C. Maksimovic, Ed.) Paris, Francia: UNESCO.

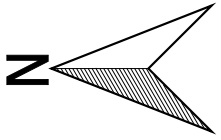
## **IX. Anexos.**



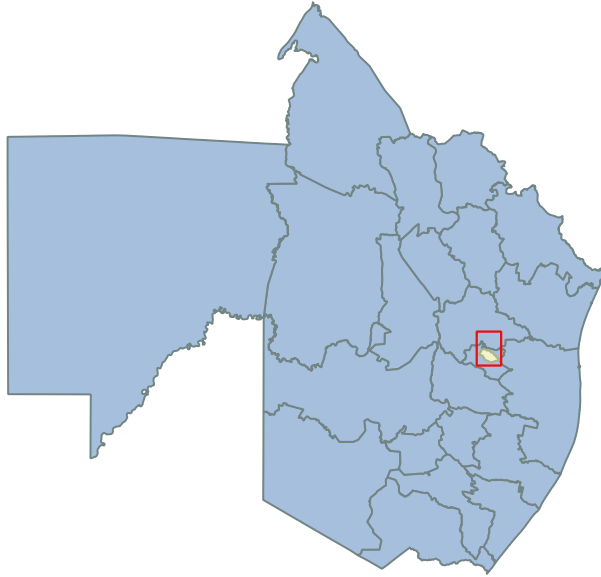
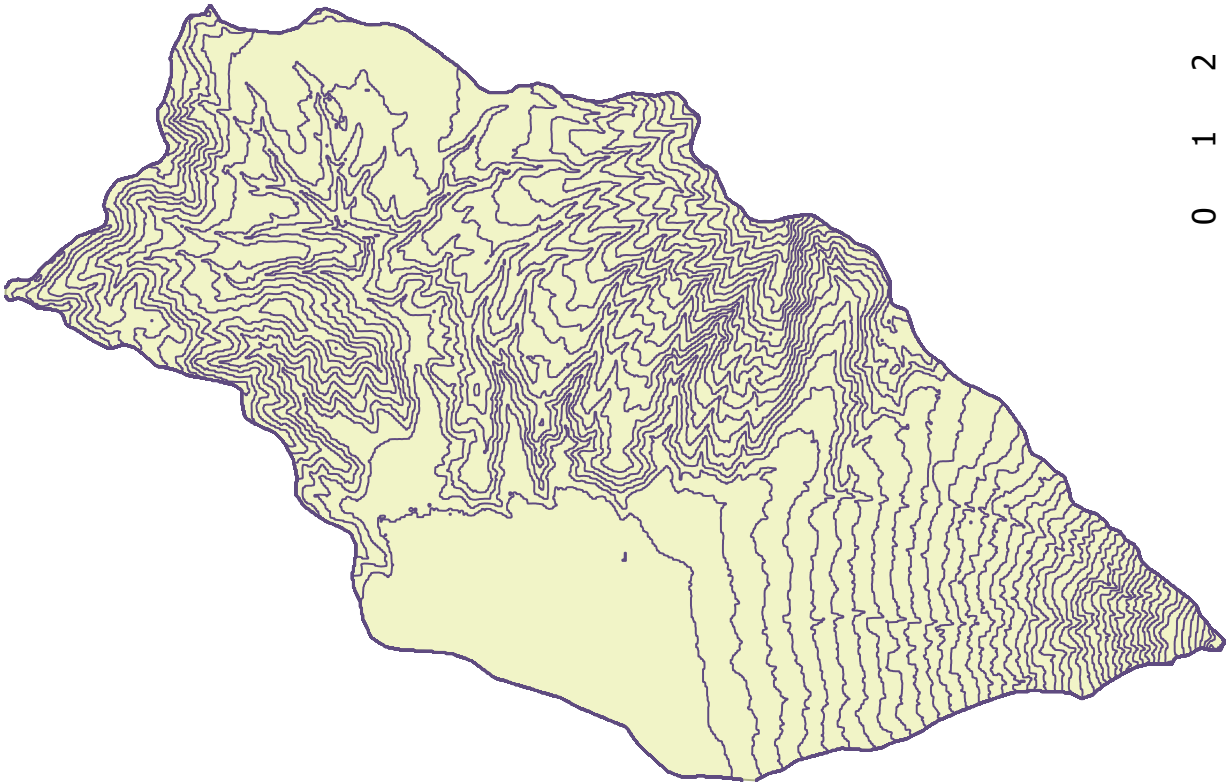
*Excelencia que trasciende*  
**DE VALLE**  
GRUPO EDUCATIVO



Juan Carlos Velasquez Tobar	12120
Inundaciones en Antigua Guatemala	Hoja: 1/2
Curvas de nivel a cada 50m para el municipio de Antigua Guatemala	
Guatemala 25 de octubre de 2016	



*Excelencia que trasciende*  
**DE VALLE**  
GRUPO EDUCATIVO



Juan Carlos Velasquez Tobar

12120

Inundaciones en Antigua  
Guatemala

Hoja: 2/2

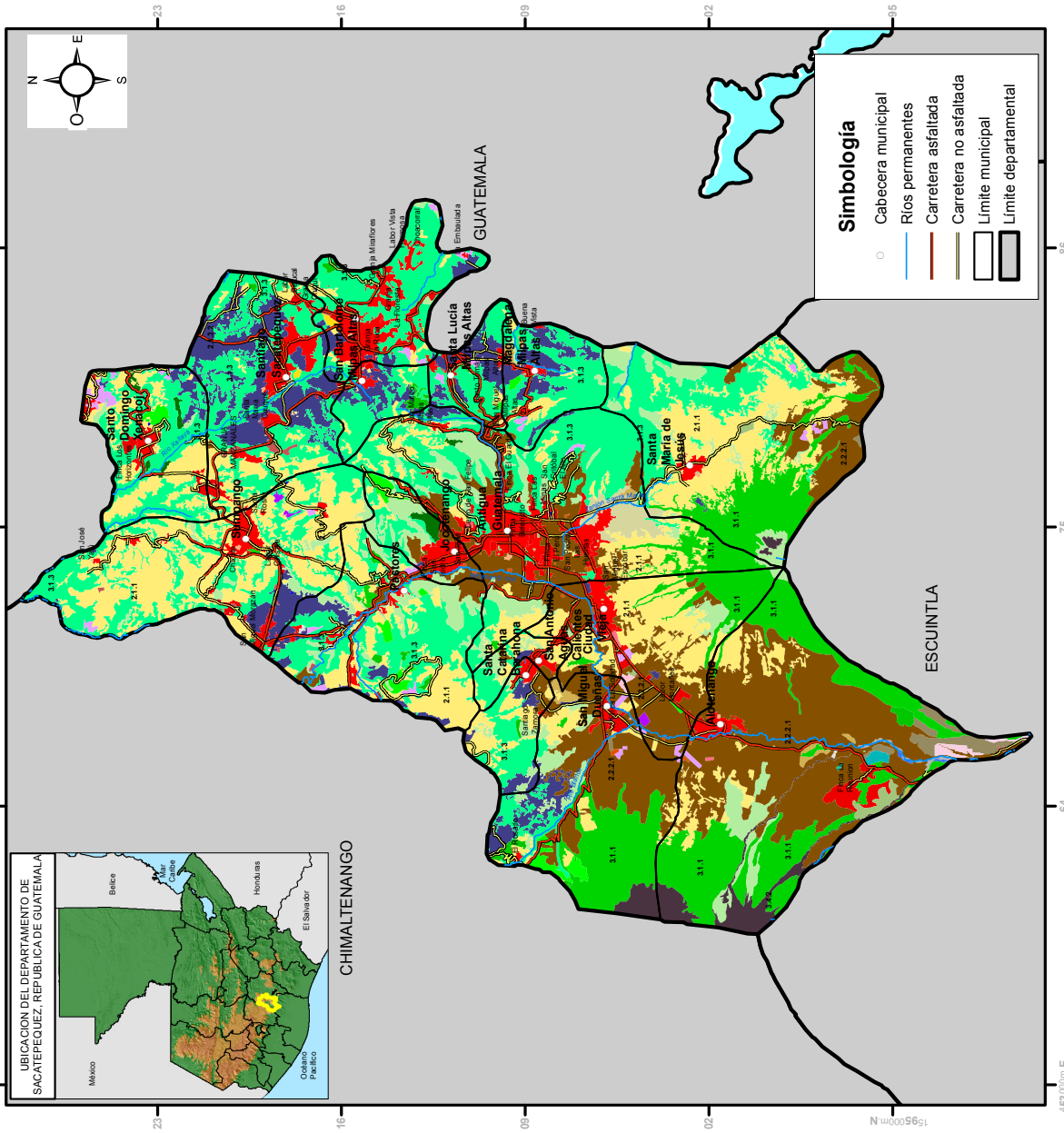
Curvas de nivel a cada 50m para la microcuenca del  
rio pensativo

Guatemala 25 de octubre de 2016

0 1 2 3 4 5 km



Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra del departamento de Sacatepéquez Año 2,010



COBERTURA VEGETAL Y USO DE LA TIERRA		SACATEPEQUEZ	
LEYENDA			
Clase	Descripción	Área (ha)	%
1.1	Zona urbana	3,909.95	7.242
1.1.1	Tráfico urbano continuo	3,325.68	6.205
1.1.2	Utilizaciones	584.06	1.097
1.2	Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	208.50	0.386
1.2.1	Zonas industriales	154.07	0.2874
1.2.1.1	Agropecuaria	97.88	0.1805
1.2.1.2	Beneficios	48.76	0.0908
1.2.1.3	Industria	8.43	0.0156
1.2.2	Centros comerciales	0.96	0.0017
1.2.2.1	Hospital	6.62	0.0123
1.2.2.2	Instalación educativa	9.60	0.0179
1.2.2.3	Cementerio	33.59	0.0608
1.2.2.4	Otros comercios y servicios	1.61	0.0030
1.2.2.5	Industria	0.00	0.0000
1.3	Miudad, escombrera y zonas en construcción	26.29	0.048
1.3.1	Zonas de extracción minera (canteras)	20.86	0.0391
1.3.2	Escombrera, vertederos o muelles sanitarios y	5.33	0.0099
1.4	Zonas verdes artificiales, no agrícolas	452.81	0.838
1.4.1	Parques	27.40	0.051
1.4.2	Instalación deportiva y recreativa	16,992.24	31.52
2.1	Cultivos anuales (Maíz y frijol)	16,992.24	31.52
2.1.1	Maíz	15,982.26	29.78
2.1.2	Frijol	1,009.98	1.74
2.1.3	Herbajos	3,582.26	6.680
2.1.3.1	Tomate	19.83	0.0370
2.1.3.2	Otros hortalizas (papa, cebolla, repollo, zanahoria, lechuga, etc.)	3,562.43	6.643
2.2	Cultivos permanentes	30,252.28	55.92
2.2.1	Cultivos permanentes herbáceos	11,111.11	20.5
2.2.1.1	Café	211.11	0.394
2.2.1.2	Caña de azúcar	10,900.00	20.106
2.2.1.3	Alfalfa	9,350.00	17.509
2.2.2	Cultivos permanentes maderables	9,353.28	17.4502
2.2.2.1	Café	31.71	0.0592
2.2.2.2	Mora	582.89	1.0975
2.2.2.3	Cultivos permanentes arbóreos	9,318.68	17.343
2.2.2.3.1	Frutales deciduos	151.26	0.282
2.2.2.3.2	Frutales perennifolios	36.07	0.067
2.2.2.3.3	Otros	21.26	0.0397
2.2.3	Macadamia	347.50	0.6491
2.2.3.1	Otros cultivos permanentes arbóreos	79.23	0.1460
2.2.3.2	Cultivos permanentes de plantas o tallos	146.27	0.273
2.2.3.3	Caño de azúcar	465.00	0.865
2.3	Pastos	303.68	0.56
2.3.1	Pasto cultivado	158.22	0.2952
2.3.2	Pasto natural	145.46	0.2658
3.1	Bosques	18,359.75	34.118
3.1.1	Bosque latifoliado	5,811.43	10.8422
3.1.2	Bosque de coníferas	141.49	0.2659
3.1.3	Otros bosques	12,396.83	23.0101
3.2	Otros bosques forestales	1,082.11	2.01
3.2.1	Plantaciones forestales	579.51	1.0813
3.2.1.1	Plantación de coníferas	217.53	0.4056
3.2.1.2	Plantación de latifoliada	361.98	0.6753
3.3	Medios con vegetación arbustiva y/o herbácea	3,162.26	5.9109
3.3.1	Vegetación arbustiva (matanza 7/0/sumil)	3,162.26	5.9109
3.4	Espacios abiertos, sin campo de vegetación	52.74	0.098
3.4.1	Terrenos baldíos	202.65	0.378
3.4.2	Bosques o balsas	202.65	0.378
5.1	Agua continental	10.84	0.0202
5.1.1	Río	10.84	0.0202
Total general		59,600.00	100.000

Estudio elaborado por:  
 Dirección de Información Geográfica, Estratégica y Gestión de Riesgos  
 del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación  
 Con la colaboración de: ANACAFE, CEMEC-CONAP, FEWS NET,  
 FUNDAECO, IARN-URL, ICC, IGN, INAB, MOSCAMED Y UVG  
 Realizado sobre la base cartográfica del IGN.

Escala de trabajo: 1:50,000.  
 Escala de impresión: 1:220,000.

0 1 2 4 6 8  
 Kilómetros

Proyección del Mapa: Transversal de Mercator - 3M - GTM.  
 Cuadrícula del Mapa: Guatemalteca Transversal de Mercator - GTM.

**Gobierno de Guatemala**  
 Ministerio de Agricultura  
 Ganadería y Alimentación

**Simbología**

- Cabecera municipal
- Ríos permanentes
- Carretera asfaltada
- Carretera no asfaltada
- Límite municipal
- Límite departamental