

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



Elaboración de una guía de la metodología GASS (Gestión de  
Agua y Saneamiento Sostenible) para la cuenca del Río  
Ocosito, Quetzaltenango, Guatemala

Trabajo de graduación presentado por Ximena Eva María Vargas Pérez  
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Civil

Guatemala,

2019







**Elaboración de una guía de la metodología GASS (Gestión de  
Agua y Saneamiento Sostenible) para la cuenca del Río  
Ocosito, Quetzaltenango, Guatemala**



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



Elaboración de una guía de la metodología GASS (Gestión de  
Agua y Saneamiento Sostenible) para la cuenca del Río  
Ocosito, Quetzaltenango, Guatemala


Trabajo de graduación presentado por Ximena Eva María Vargas Pérez  
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Civil

Guatemala,

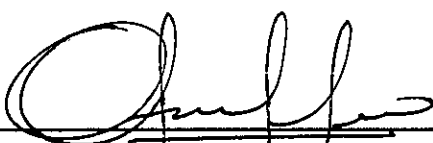
2019




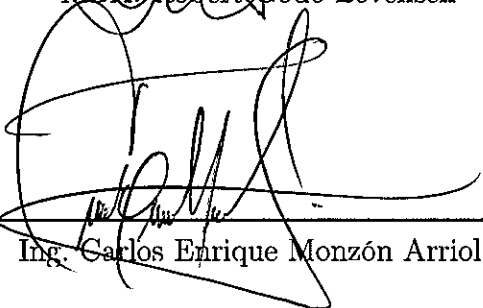
Vo.Bo.:

(f)   
Ing. Otoniel Echeverría

Tribunal Examinador:

(f)   
Ing. Otoniel Echeverría

(f)   
MBA. Robert Godo Levensen

(f)   
Ing. Carlos Enrique Monzón Arriola

Fecha de aprobación: Guatemala, 4 de diciembre de 2019.



Agradezco a mis papás, amigos y hermanos por el apoyo y estar siempre pendientes de mi y mis estudios. A Diego por acompañarme y apoyarme siempre incondicionalmente.

Asimismo, a mi asesor Otoniel Echeverría y a Al Moshe Asturias por su ayuda. También a Erick y a Santiago por el apoyo y paciencia durante la elaboración del proyecto.



<b>Prefacio</b>	<b>v</b>
<b>Lista de figuras</b>	<b>xii</b>
<b>Lista de cuadros</b>	<b>xiii</b>
<b>Resumen</b>	<b>xv</b>
<b>Abstract</b>	<b>xvii</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Objetivos</b>	<b>3</b>
2.1. Objetivo general . . . . .	3
2.2. Objetivos específicos . . . . .	3
<b>3. Marco teórico</b>	<b>5</b>
3.1. Cuenca hidrográfica . . . . .	5
3.2. Cuenca hidrogeológica . . . . .	6
3.3. Cuenca hidrológica . . . . .	6
3.4. División y partes de una cuenca hidrográfica . . . . .	7
3.4.1. Subcuenca . . . . .	7
3.4.2. Microcuenca . . . . .	7
3.4.3. Quebradas . . . . .	7
3.5. Características de la cuenca . . . . .	7
3.5.1. Tamaño . . . . .	7
3.5.2. Forma . . . . .	8
3.5.3. Drenaje . . . . .	8
3.5.4. Pendiente . . . . .	8
3.5.5. Bifurcación . . . . .	8
3.6. Sistema de información geográfica . . . . .	9
3.7. Seguridad hídrica . . . . .	9
3.8. Clasificación de cuencas por sistema de drenaje . . . . .	9

3.9.	Zonas de funcionamiento hídrico . . . . .	10
3.9.1.	Zonas de cabecera . . . . .	10
3.9.2.	Zonas de captación o de transporte . . . . .	10
3.9.3.	Zonas bajas o de emisión . . . . .	10
3.10.	Delimitación cuenca . . . . .	11
3.11.	Metodología de Gestión de Agua y Saneamiento Sostenibles (GASS) . . . . .	11
3.12.	Saneamiento sostenible . . . . .	12
3.13.	Manejo de cuencas . . . . .	12
3.13.1.	Manejo integral de cuencas . . . . .	12
3.13.2.	Gestión integral de cuencas . . . . .	12
3.14.	Cogestión de cuencas . . . . .	12
3.15.	Riqueza y pobreza hídrica . . . . .	13
3.15.1.	Poca o ninguna escasez de agua . . . . .	13
3.15.2.	Próximo a la escasez física . . . . .	13
3.15.3.	Escasez económica de agua . . . . .	13
3.15.4.	Escasez física de agua . . . . .	13
3.16.	Enfoques y elementos básicos de la gestión de cuencas . . . . .	14
3.16.1.	La cuenca como sistema . . . . .	14
3.16.2.	El enfoque socioambiental . . . . .	16
3.16.3.	Cuenca como unidad de planificación y de evaluación de impactos . . . . .	16
3.16.4.	El agua como recurso integrador de cuenca . . . . .	16
3.16.5.	Manejo de recursos naturales como reducción de la vulnerabilidad y riesgos de desastres . . . . .	16
3.17.	El ciclo de gestión de cuencas . . . . .	17
3.17.1.	Etapas preliminar . . . . .	17
3.17.2.	Organización de la gestión . . . . .	17
3.17.3.	Etapas de caracterización y diagnóstico de la cuenca . . . . .	17
3.18.	Metas objetivo 6 desarrollo sostenible Naciones Unidas . . . . .	18
3.19.	El papel del agua en los objetivos de desarrollo sostenible . . . . .	19
3.20.	Problemática y justificación . . . . .	20
3.20.1.	Problema institucional . . . . .	20
3.20.2.	Problemática y oportunidades ambientales . . . . .	21
3.20.3.	Problemática y oportunidades de la GASS . . . . .	21
3.20.4.	Problemática de la gestión de riesgo . . . . .	22
3.21.	Estrategias de intervención . . . . .	22
3.21.1.	Recopilación de información y acercamiento a comunidad . . . . .	23
3.21.2.	Aprovechamiento múltiple del agua . . . . .	23
3.21.3.	Regulación natural y artificial del agua . . . . .	23
3.21.4.	Manejo de las aguas residuales y pluviales en el área urbana . . . . .	23
<b>4.</b>	<b>Marco metodológico</b>	<b>25</b>
4.1.	Enfoques y lineamientos de la GASS . . . . .	25
4.1.1.	Enfoques transversales . . . . .	25
4.1.2.	Lineamientos de la GASS . . . . .	26
4.2.	Resumen ejecutivo . . . . .	27
4.3.	Marco de análisis de contexto . . . . .	27
4.4.	Identificación de actores clave . . . . .	27
4.5.	Caracterización morfométrica . . . . .	28

4.6.	Zonificación territorial . . . . .	30
4.7.	Línea base . . . . .	30
4.8.	Líneas de acción y horizonte temporal . . . . .	30
4.9.	Objetivos del plan . . . . .	30
4.10.	Estructura del plan . . . . .	30
4.11.	Organización para la gestión y la implementación del plan . . . . .	31
4.12.	Evaluación de zonas de riesgo . . . . .	31
<b>5.</b>	<b>Guía de aplicación de la metodología en la cuenca del Río Ocosito</b>	<b>33</b>
5.1.	Resumen ejecutivo . . . . .	33
5.2.	Marco de análisis de contexto . . . . .	34
5.2.1.	Problemática y justificación . . . . .	34
5.3.	Identificación de actores clave . . . . .	36
5.4.	Caracterización morfométrica . . . . .	36
5.4.1.	Ubicación . . . . .	36
5.4.2.	Morfometría e hidrología . . . . .	37
5.5.	Caracterización biofísica . . . . .	43
5.5.1.	Características climáticas . . . . .	43
5.5.2.	Fisiografía . . . . .	45
5.5.3.	Topografía . . . . .	46
5.5.4.	Geología . . . . .	46
5.5.5.	Erosión . . . . .	47
5.5.6.	Biodiversidad . . . . .	47
5.6.	Caracterización socio-económica . . . . .	48
5.6.1.	División política . . . . .	48
5.6.2.	Población . . . . .	49
5.6.3.	Etnias . . . . .	50
5.6.4.	Nivel de ingresos económicos . . . . .	50
5.6.5.	Educación . . . . .	51
5.6.6.	Idiomas . . . . .	51
5.6.7.	Tenencia de la tierra . . . . .	52
5.6.8.	Servicio de agua y saneamiento básico . . . . .	53
5.6.9.	Servicio y sanidad pública . . . . .	54
5.6.10.	Servicio de desechos sólidos . . . . .	55
5.6.11.	Organización social . . . . .	56
5.7.	Zonificación territorial . . . . .	56
5.7.1.	Zonas de vida . . . . .	56
5.7.2.	Lugares poblados . . . . .	57
5.7.3.	Uso de la tierra . . . . .	57
5.7.4.	Zonas de riesgo por inundación y deslizamientos . . . . .	58
5.8.	Línea base . . . . .	58
5.9.	Propuesta de estructura del plan y horizonte temporal . . . . .	59
5.10.	Organización para la gestión y la implementación del plan . . . . .	61
5.10.1.	Creación del comité de cuencas . . . . .	61
5.10.2.	Organigrama del comité de cuencas . . . . .	62
<b>6.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>65</b>

<b>7. Recomendaciones</b>	<b>67</b>
7.1. Estudiantes . . . . .	67
7.2. Entidades encargadas . . . . .	67
<b>8. Bibliografía</b>	<b>69</b>
<b>9. Anexos</b>	<b>73</b>
<b>10. Glosario</b>	<b>87</b>

---

## Lista de figuras

---

1.	Cuenca hidrográfica . . . . .	5
2.	Mapa de Cuencas Hidrográficas República de Guatemala . . . . .	6
3.	Organización datos SIG . . . . .	9
4.	Zonificación de la cuenca . . . . .	10
5.	Delimitación de una cuenca . . . . .	11
6.	Riqueza y pobreza hídrica global . . . . .	13
7.	Diagrama de clasificación de cuenca como sistema . . . . .	15
8.	Objetivo 6 desarrollo sostenible Naciones Unidas . . . . .	18
9.	Distribución familiar en función de la persona responsable de colectar agua, por región, por zona rural o urbana . . . . .	26
10.	Herramienta recorte shapes . . . . .	28
11.	Herramienta recorte raster . . . . .	29
12.	Mapa de inundaciones . . . . .	34
13.	Mapa de deslizamientos . . . . .	35
14.	Mapa de ubicación cuenca Ocosito . . . . .	37
15.	Curva hipsométrica . . . . .	42
16.	Mapa de estaciones hidrométricas . . . . .	43
17.	Mapa de precipitación . . . . .	44
18.	Mapa de fisiografía . . . . .	45
19.	Mapa de topografía . . . . .	46
20.	Mapa de áreas protegidas . . . . .	47
21.	Mapa de etnias . . . . .	50
22.	Mapa de uso de la tierra . . . . .	51
23.	Mapa de lugares poblados . . . . .	57
24.	Comité de cuencas . . . . .	63
25.	Guía de la metodología GASS para la cuenca del Río Ocosito . . . . .	73
26.	Mapa de temperatura . . . . .	74
27.	Mapa de geología . . . . .	75
28.	Mapa de aguas subterráneas . . . . .	76
29.	Mapa de estaciones meteorológicas . . . . .	77

30.	Mapa de erosión . . . . .	78
31.	Mapa de zonas de vida . . . . .	79
32.	Mapa de cuerpos de agua . . . . .	80
33.	Mapa de municipios y cabeceras . . . . .	81
34.	Mapa de centros educativos . . . . .	82
35.	Mapa de tipos de suelo . . . . .	83
36.	Mapa de base de cuenca Ocosito . . . . .	84
37.	Mapa de red vial . . . . .	85

---

## Lista de cuadros

---

1.	Balance hidrológico de la cuenca del Río Ocosito (millones de $m^3$ ) . . . . .	21
2.	Ubicación cuenca y características generales . . . . .	36
3.	Longitud media de corrientes . . . . .	37
4.	Longitud acumulada de corrientes . . . . .	38
5.	Densidad de corrientes . . . . .	38
6.	Densidad de drenaje . . . . .	38
7.	Radio de longitud medio . . . . .	39
8.	Radio de bifurcación medio . . . . .	39
9.	Pendiente media del cauce principal . . . . .	40
10.	Razón de elongación . . . . .	40
11.	Factor de forma de Horton . . . . .	40
12.	Índice de compacidad . . . . .	41
13.	Pendiente media . . . . .	41
14.	Altura media . . . . .	42
15.	División política cuenca Ocosito . . . . .	48
16.	Población cuenca Ocosito . . . . .	49
17.	Índice de Gini . . . . .	52
18.	Servicio de agua y saneamiento básico . . . . .	53
19.	Mortalidad en Guatemala . . . . .	54
20.	Servicio de desechos sólidos . . . . .	55
21.	Líneas base . . . . .	58



Este trabajo de investigación tuvo como objetivo principal la elaboración de una guía basada en los enfoques de Gestión de Agua y Saneamiento Sostenible (GASS). Esta guía fue creada para su aplicación en la cuenca del Río Ocosito situada entre los departamentos de Quetzaltenango y Retalhuleu. La herramienta utilizada se fundamenta en la necesidad de analizar al ciclo del agua desde una perspectiva integral, estudiando el punto de inicio, el centro del ciclo y el punto final [1]. Para lograr este objetivo, se eligió una cuenca en la que pudiera implementarse la guía. Posteriormente, se recopilaron archivos tipo shape (formato de archivos informáticos estándar para análisis de información geográfica) en INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología), IGN (Instituto Geográfico Nacional) y MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación) para generar análisis y diagnóstico de la cuenca [2].

Con la información recopilada se realizó la caracterización morfométrica de la cuenca de estudio y se crearon mapas temáticos de la zona para generar un diagnóstico de la región de interés. Asimismo, se identificaron lugares poblados dentro de la cuenca para conocer zonas críticas que requieren más uso de agua y determinar a los actores que influyen en la funcionalidad de la cuenca.

Se identificaron las etapas para la implementación de la metodología GASS y así se generó la guía para plantear una posible solución de gestión y saneamiento sostenible por medio de proyectos integrales. Los proyectos sugeridos para la cuenca del Río Ocosito, toman en cuenta factores sociales, económicos y políticos. Esto con el fin de garantizar el bienestar de los actores que viven dentro de la cuenca, impulsar agricultura con el fin de mejorar condiciones socio-económicas de la población. Durante todo el procedimiento se tomaron en cuenta políticas y acuerdos gubernamentales en materia del uso y manejo del agua.



The aim of this research project was the development of a guide based on the approaches of Sustainable Sanitation and Water Management (GASS). This guide was created to be used in the Ocosito River Basin located between the departments of Quetzaltenango and Retalhuleu. The tool that was chosen to meet the research objective is based on the need to analyze the water cycle from an integral perspective, studying the starting point, the middle of the cycle and the end point [1]. The Ocosito River Basin was chosen because of the feasibility of applying the guide. Subsequently, shapefiles (standard computer file format for geographic information analysis) were collected at INSIVUMEH (National Institute of Seismology, Volcanology, Meteorology and Hydrology), IGN (National Geographic Institute) and MAGA (Ministry of Agriculture, Livestock and Food) for analysis purposes and diagnosis of the basin [2].

Take into account social, economic and political factors. This in order to guarantee the well-being of the actors that live within the basin, promote agriculture in order to improve socio-economic conditions of the population. Throughout the procedure, government policies and agreements regarding water use and management were taken into account.

With the data that was collected, the morphometric characterization of the basin was carried out. In addition, thematic maps of the area were created to generate a diagnosis of the region of interest. Populated areas within the basin were identified to understand critical areas that require more intensive water use and determine the actors that influence the basin's functionality.

The stages for the implementation of the GASS methodology were researched and studied thereby creating the guide to propose a possible sustainable management and sanitation solution through comprehensive projects. The suggested projects for the Ocosito River Basin take into account social, economic and political factors. This in order to guarantee the well-being of the actors that live within the basin, to promote agriculture in order to improve the socio-economic conditions of the population. Throughout the study, government policies and agreements regarding water use and management were taken into account.



El acceso al agua potable es fundamental para cumplir con necesidades fisiológicas. Sin embargo, en Guatemala, son tratadas únicamente el 5 % de las aguas residuales recolectadas y el resto son vertidas en cuerpos de agua sin ningún tratamiento previo. Debido a que únicamente existen acuerdos gubernativos y ministeriales, pero no una ley de aguas, no hay sanciones para industrias y particulares que contaminan cuerpos de agua. En los últimos años no se ha presentado un mejoramiento significativo en el tratamiento de aguas residuales, según el reporte "Agua Limpia y Saneamiento: por qué es importante" publicado en el 2015 por Naciones Unidas. Estudios realizados por el INSIVUMEH en el año 2013 revelan datos preocupantes de presencia de cadmio, plomo y cromo en aguas superficiales.

La contaminación de los cuerpos de agua del país provocada por descargas de aguas residuales sin tratamiento afecta gravemente la salud de muchos guatemaltecos, debido a que un alto porcentaje de la población se abastece de agua sin previo saneamiento, siendo tomada directamente de cuerpos de agua (ríos, lagos). A pesar de que el país cuenta con una disponibilidad hídrica alta, esta no representa necesariamente bienestar y acceso para la toda la población.

Por los problemas anteriormente mencionados, existe "escasez económica" la cual se define cuando el capital humano, institucional y financiero limitan la disposición de agua, a pesar de que en la naturaleza está disponible a nivel local. En estas ocasiones los recursos del agua son abundantes, pero se aprovecha menos del 25 % para consumo humano. En muchos lugares del país no hay aprovechamiento de agua de lluvia, y la mayoría de los cuerpos de agua están gravemente contaminados. Según la ONU (Organización de las Naciones Unidas), el agua libre de impurezas y accesible para todos es un factor esencial. Actualmente existe la cantidad suficiente de agua dulce en el mundo para lograr este objetivo, pero por el incorrecto reparto de agua se espera que, si no se desarrollan planes para el saneamiento adecuado, para el año 2050, al menos 25 % de la población mundial esté afectada por escasez crónica de agua. Entre las metas que busca cumplir la ONU, está lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos.

Estos datos hacen necesaria la creación de una metodología que incluya un estudio morfológico para conocer el estado actual de la cuenca y poder plantear una guía que permita a todos los actores gestionar un adecuado manejo. Esto para garantizar el mejoramiento del agua local. La elaboración de una guía para la implementación de la metodología existente contribuye a una gestión de agua y saneamiento sostenible para ser replicada en las demás cuencas guatemaltecas.

### 2.1. Objetivo general

Elaborar una guía de la metodología GASS (Gestión de Agua y Saneamiento Sostenible) de la cuenca del Río Ocosito para plantear una solución técnica que facilite el manejo del agua en la región.

### 2.2. Objetivos específicos

- Identificar las etapas de la metodología GASS para cualquier cuenca e implementarla en la cuenca del Río Ocosito usando normativas existentes.
- Elaborar una caracterización morfométrica de la cuenca del Río Ocosito empleando herramientas de sistema de información geográfica para crear un diagnóstico del estado de la cuenca.
- Presentar el diagnóstico morfométrico de la cuenca del Río Ocosito por medio de mapas temáticos para implementar los pasos de la metodología GASS.
- Desarrollar un guía GASS de la cuenca del Río Ocosito usando los mapas temáticos generados y la metodología existente.
- Definir las funciones de los futuros integrantes de los comités de cuenca.



### 3.1. Cuenca hidrográfica

Es una conformidad natural, que tiene límites físicos definidos por línea divisoria superficial de aguas, llamada “parteaguas”. Esta permite configurar una red de drenaje con capacidad de canalizar aguas hacia otro cuerpo de agua (río, mar, lago) desde el punto más alto de la cuenca, hasta su punto de menor altura ante suceso de precipitaciones y existencia de flujos o caudales base. Una cuenca hidrográfica representa un área natural morfológicamente superficial, es decir, no toma en cuenta elementos subterráneos. El análisis de esta incluye los recursos naturales, ecosistemas y ambiente del área, tomando como factor integrativo: el agua. En este tipo de cuenca, están ubicados todos los recursos naturales y actividades que desarrolla el ser humano [3]. En la siguiente imagen pueden observarse los diferentes componentes de una cuenca hidrográfica.

Figura 1: Cuenca hidrográfica



[4]

### 3.2. Cuenca hidrogeológica

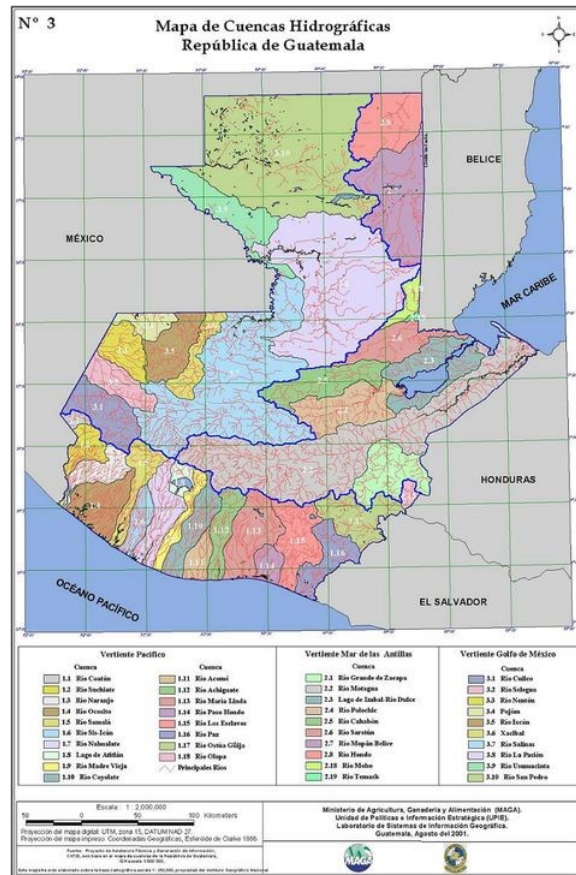
La cuenca hidrogeológica, a diferencia de la hidrográfica, tiene un enfoque más integral, es decir, su análisis incluye toda la estructura hidrogeológica subterránea del acuífero. Ambos tipos de cuenca pueden dividirse en: zona de funcionamiento hídrico, zona de cabecera, zona de captación y zona de emisión [5].

### 3.3. Cuenca hidrológica

Una cuenca hidrológica puede definirse como toda el área en donde las aguas caídas por precipitación se fusionan para conformar un solo curso de agua [5].

En la siguiente imagen, están identificadas todas las cuencas hidrográficas del territorio de la República de Guatemala. Estas están divididas en tres clasificaciones, las que vierten al Océano Pacífico, las que vierten al Mar de las Antillas y las que vierten del Golfo de México.

Figura 2: Mapa de Cuencas Hidrográficas República de Guatemala



[6]

### **3.4. División y partes de una cuenca hidrográfica**

Las cuencas hidrográficas pueden fraccionarse las cuencas hidrográficas tomando en cuenta distintos métodos. Tomando como base el grado de concentración de la red del drenaje de la cuenca, pueden categorizarse como subcuencas y microcuencas [7].

#### **3.4.1. Subcuenca**

Se define como toda el área que desenvuelve su drenaje de manera directa al cuerpo principal de la cuenca. Es válido, en casos, que una cuenca esté formada por varias subcuencas.

#### **3.4.2. Microcuenca**

De la misma forma que las subcuencas, la unión de varias microcuenca puede formar una subcuenca. Estas se definen como el área total que desarrolla el drenaje de manera directa al curso principal.

#### **3.4.3. Quebradas**

Siguiendo la jerarquía de las divisiones y partes de una cuenca hidrográfica, varias quebradas pueden constituir una microcuenca. Una quebrada se define como el área que desarrolla el drenaje directamente a la corriente principal de una microcuenca. En casos, las quebradas se interceptan con ríos y demás cuerpos de agua más grandes.

### **3.5. Características de la cuenca**

Una cuenca puede caracterizarse según su delimitación, o por sus características que pueden depender de factores y condiciones ambientales zonas de vida, estado de ecosistema, entre otras [7].

#### **3.5.1. Tamaño**

Las cuencas pueden categorizarse según su tamaño. Estas pueden ser pequeñas, medianas y grandes. Las cuencas de categoría grande abarcan territorios complejos y áreas de grandes distancias. Una cuenca pequeña puede tener un área entre 4 y  $80km^2$ , una mediana entre 80 y 120 y una grande mayor a 120 [5].

### **3.5.2. Forma**

La forma de una cuenca puede ser circular, rectangular, cuadrangular e irregular. La forma de cada cuenca va a tener efecto en otras características. Una característica que puede depender de la forma de la cuenca es el tiempo de concentración de la precipitación. [8]

### **3.5.3. Drenaje**

La red de drenaje de las cuencas puede tener diferente forma. Estas dependen del tipo del material del suelo, de la cobertura vegetal y la pendiente. Existen drenajes de forma dendrítica, rectangular y circular [8].

### **3.5.4. Pendiente**

La pendiente del curso principal de la cuenca indica edad de la cuenca. Las pendientes cóncavas representan en la mayoría de los casos madurez, mientras que las pendientes convexas representan que cuenca está en desarrollo [9].

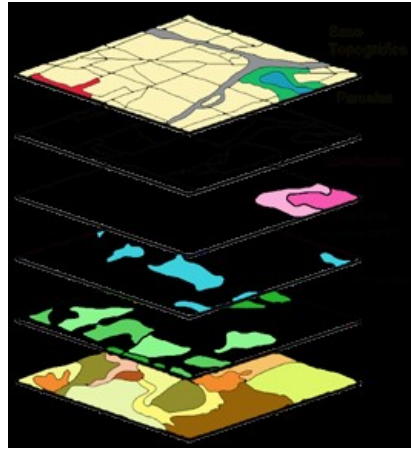
### **3.5.5. Bifurcación**

Los grados de bifurcación de una cuenca son importantes para conocer la densidad de drenaje. Esta clasificación se realiza tomando el curso principal como orden uno, los cauces que no tiene tributario como dos y los que tienen tributarios de orden uno, como orden tres [9].

### 3.6. Sistema de información geográfica

El término se utiliza para describir sistemas informáticos dirigidos a la gestión, investigación y análisis de datos espaciales de temas de Ciencias de la Tierra y Ambientales. Este sistema constituye en un conjunto de herramientas creadas para producir mapas de una porción de territorio y reportar características del sitio de interés [10].

Figura 3: Organización datos SIG



[10]

### 3.7. Seguridad hídrica

La seguridad hídrica puede definirse como la disposición de un poblamiento para resguardar el acceso sostenible a cantidad de agua necesarias con calidad aceptable para el mantenimiento de medios de vida, el bienestar humano y el crecimiento socio-económico. De esta manera, busca asegurar la protección contra contaminantes del agua y de la misma forma evitar desastres relacionados con el mismo. Este plan busca también prevenir y eludir efectos negativos en ecosistemas [11].

### 3.8. Clasificación de cuencas por sistema de drenaje

Las cuencas pueden clasificarse según su sistema de drenaje. Estas pueden ser arreicas, cuando no drenan a un río, mar o lago. Sus aguas se evaporan o se pierden por infiltración sin llegar a crear escurrimiento subterráneo. Otra clasificación es criptorreicas, esto significa que las redes de drenaje no tienen sistema organizado y se transportan como ríos subterráneos. Las cuencas endorreicas drenan sus cuerpos de agua a embalses o lagos. Una cuenca exorreica desemboca sus cuerpos de agua en el mar [12].

### 3.9. Zonas de funcionamiento hídrico

#### 3.9.1. Zonas de cabecera

La zona de cabecera constituye en la región en donde nacen las corrientes hidrológicas. Estas se encuentran usualmente en las partes más altas de la cuenca. Estas presentan fragilidad hidrológica debido a la captación de agua [8].

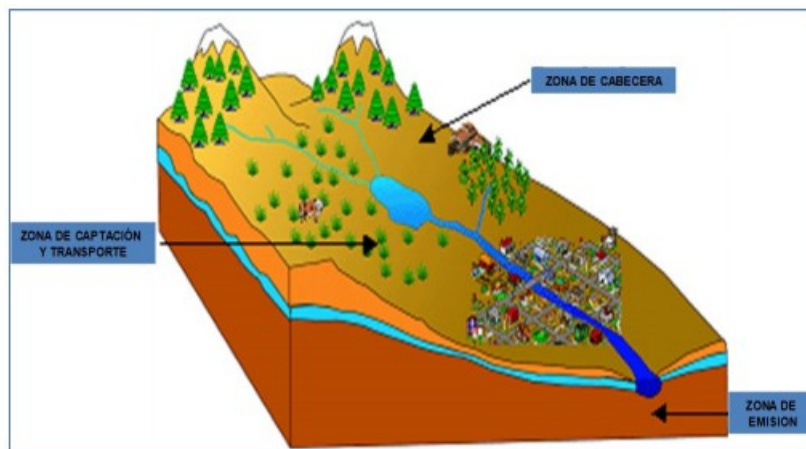
#### 3.9.2. Zonas de captación o de transporte

Es la parte de la cuenca que inicialmente tiene como función captar la mayor parte del agua, de diferentes características físico-químicas, que entra al sistema y además transportarla desde la zona de cabecera hasta la siguiente zona [8].

#### 3.9.3. Zonas bajas o de emisión

Esta zona está caracterizada por ser la región que difunde hacia una corriente más caudalosa el agua procedente de la zona de captación y la zona de cabecera [8].

Figura 4: Zonificación de la cuenca

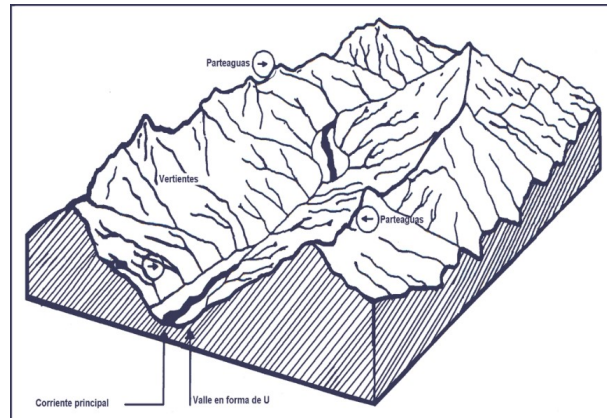


[8]

### 3.10. Delimitación cuenca

La delimitación de una cuenca se forma sobre un mapa con curvas de nivel, tomando como referencia las líneas del parteaguas (línea imaginaria la cual separa cuencas adyacentes y raciona escurrimiento de precipitación hacia el punto de salida de la cuenca. El parteaguas está constituido por los puntos mayores de las curvas de nivel y divide los cursos en los puntos de partida (aforo) [5].

Figura 5: Delimitación de una cuenca



[7]

### 3.11. Metodología de Gestión de Agua y Saneamiento Sostenibles (GASS)

La metodología GASS consiste en una caja de herramientas que reconoce iniciativas sectoriales que atribuyen a la resolución actual de crisis global de agua y saneamiento. Este concepto reitera la necesidad de considerar el ciclo del agua desde un planteamiento holístico, es decir, analizando el flujo del agua desde el punto de inicio, el centro del ciclo hasta su punto final. Por lo anterior, este enfoque consiste en un proceso que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el objetivo de maximizar bienestar social y económico de manera equitativa, sin afectar la sostenibilidad de los ecosistemas. Esta metodología se basa en cuatro principios los cuales confirman que el agua es un recurso finito y vulnerable, esencial para mantener la vida, el desarrollo y el ambiente, el desarrollo y la gestión del agua deberán estar basado en un enfoque participativo. La mujer juega un papel central en la provisión, gestión y protección el agua y el agua es un bien público y tiene un valor social y económico en todos sus usos competitivos [13].

### **3.12. Saneamiento sostenible**

El saneamiento sostenible consiste un enfoque integral que busca manejar todos los recursos. Este tiene varios objetivos, entre los principales están evitar el contacto humano con la excreta, crear un saneamiento con viabilidad económica y un impacto positivo al medio ambiente. Este considera las aguas residuales como un recurso valioso que puede ser reutilizado y reaprovechado. Este tipo de saneamiento tiene propósito el cierre de ciclos y fomenta el concepto “cero descargas” [13].

### **3.13. Manejo de cuencas**

El manejo de cuencas se define como la integridad del uso, aprovechamiento y manejo de los recursos naturales de la cuenca. Usualmente, existe un elemento que tiene como objetivo implementar medidas para manejar recursos de la cuenca. Las decisiones se toman tomando como base las necesidades y intereses de usuarios [4].

#### **3.13.1. Manejo integral de cuencas**

El manejo integral consiste en el conjunto de acciones que buscan proteger, conservar, utilizar, aprovechar, manejar y rehabilitar de manera adecuada los recursos naturales en las cuencas con un enfoque sistémico, socioambiental, integral y multidisciplinario [4].

#### **3.13.2. Gestión integral de cuencas**

Este concepto se concentra en manejar los procesos y acciones requeridas para conseguir recursos humanos, económicos y logísticos para un manejo integral de la cuenca. La gestión toma como principio el conjunto de procesos “ciclo de gestión” el cual busca reconocer, identificar, y analizar la cuenca. Esta gestión busca la participación de muchos actores para lograr fortalecimiento de esta [1].

### **3.14. Cogestión de cuencas**

La cogestión de cuencas puede definirse como un procedimiento colaborativo el cual busca incluir grupos organizados, gobiernos locales, empresas privadas, organizaciones, instituciones, entre otros, que tengan como objetivo el desarrollo de la cuenca. Estos buscan generar un impacto positivo y conseguir de esta manera sostenibilidad en la cuenca y sus ecosistemas [14].

### 3.15. Riqueza y pobreza hídrica

#### 3.15.1. Poca o ninguna escasez de agua

Describen los sitios en los que existen recursos hídricos abundantes en relación al uso, con un valor mejor que el 25 % de agua de río tomados para utilización humana [11].

#### 3.15.2. Próximo a la escasez física

Representa cuando 60 % o más de los caudales de un cuerpo de agua son extraídos. Esta extracción causará una escasez física de agua en el futuro [11].

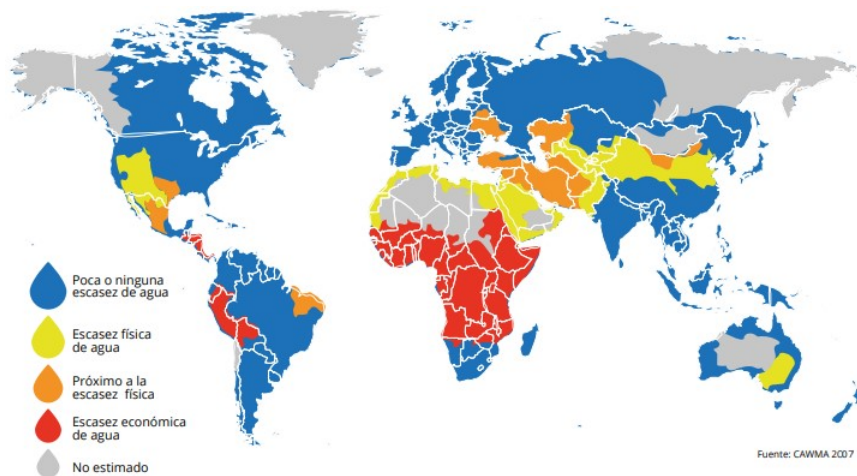
#### 3.15.3. Escasez económica de agua

Esta clase de escasez describe cuando el capital humano, institucional y financiero limita la disposición de agua, a pesar de que en la naturaleza está disponible a nivel local. En estas ocasiones los recursos son abundantes, pero se aprovecha menos del 25 % para fines humanos [11].

#### 3.15.4. Escasez física de agua

Esta caracterización de riqueza y pobreza indica que ya fueron aprovechados todos los recursos hídricos para que utilización sea sostenible. Esto indica que el 75 % de los caudales de los ríos ya fueron extraídos para fines de agricultura, industria, o uso doméstico[11].

Figura 6: Riqueza y pobreza hídrica global



[11]

## **3.16. Enfoques y elementos básicos de la gestión de cuencas**

### **3.16.1. La cuenca como sistema**

La clasificación de cuenca como sistema, tiene como objetivo planificar, manejar y gestionar todos los recursos que la constituyen de manera integral para lograr un satisfactorio comportamiento de sus componentes. Este sistema incluye dinámicas en tiempo y espacio de distintos sistemas indicados a continuación [15].

#### **Social**

Se analizan factores demográficos, organizacionales y participativos. Además, constituye la calidad de vida, la cantidad y calidad de servicios públicos e infraestructura, los conflictos sociales, amenazas humanas, entre otros.

#### **Económico**

Esta categoría busca controlar y normalizar los ingresos, inversiones, mercados, cobro y pago de servicios ambientales, vulnerabilidades relacionadas a temas económicos, etc..

#### **Político**

Este subsistema interactúa en la toma de decisiones, creación de políticas, gobernabilidad, entre otros.

#### **Institucional**

El área institucional se correlaciona con la cuenca en términos de coordinación, presencia y función.

#### **Cultural**

La interrelación cultural abarca costumbres, tradiciones, creencias, valores, entre otros.

#### **Legal**

Esta categoría constituye la tenencia de tierra, normas leyes y reglamentos.

## Tecnológico

La red tecnológica establece los tipos, niveles y competitividad de esta ciencia.

## Productivo

El área productiva incluye uso de tierra, actividades productivas, acceso a mercados, etc..

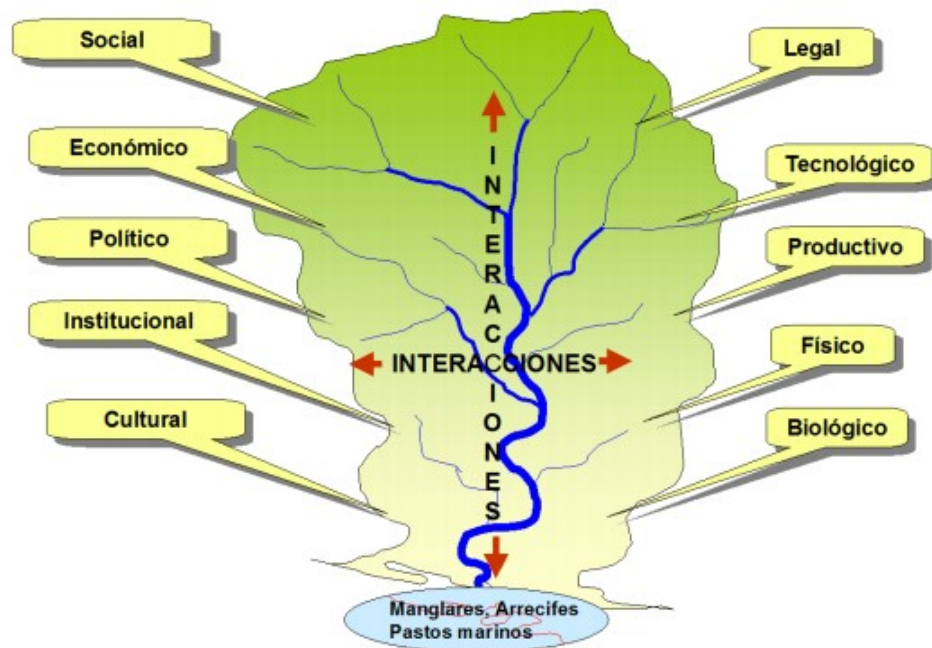
## Físico

Esta red incluye el suelo, clima, cantidad, calidad y amenazas de recursos naturales y geomorfología de la cuenca.

## Biológico

Este subsistema constituye a los actores de la cuenca (humanos, plantas, animales).

Figura 7: Diagrama de clasificación de cuenca como sistema



[3]

### **3.16.2. El enfoque socioambiental**

Esta perspectiva tiene como objetivo central el bienestar del ser humano y sus organizaciones. Esto se debe a que todas las decisiones y gestiones van a afectar directamente al manejo, estado y conservación de los recursos naturales. Este enfoque busca generar un cambio de actitud en personas que habitan en cuenca para fortalecer su papel en el manejo de la cuenca y de esta forma, generar empoderamiento social, sin distorsionar jerarquía de gobiernos locales e instituciones. Con este enfoque, se intenta que el producto y los beneficiarios trabajen de manera conjunta y que las soluciones utilicen recursos naturales de manera sostenible para mejorar la calidad de vida [16].

### **3.16.3. Cuenca como unidad de planificación y de evaluación de impactos**

Este enfoque ideal para realizar diagnóstico, caracterización, planificación y evaluación se conforma por el ámbito biofísico y socio-económico de la cuenca [16].

### **3.16.4. El agua como recurso integrador de cuenca**

Este concepto afirma que las actividades en la parte alta de la cuenca tienen efectos e influye en el estado de la parte baja. Por ello, debe manejarse la cuenca de manera integral (solo una unidad). Dentro de la cuenca, el agua tiene como objetivo ser distribuidor de insumos primarios como nutrientes, materia orgánica y sedimentos. De este proceso depende el relieve, la formación y distribución de suelos a lo largo de la cuenca. La distribución y tipo de vegetación también depende de la distribución de agua [17].

### **3.16.5. Manejo de recursos naturales como reducción de la vulnerabilidad y riesgos de desastres**

El enfoque integral como procedimiento sistemático, busca realizar acciones que reduzcan la vulnerabilidad y riesgo de desastres hidrológicos como inundaciones, deslizamientos, avalanchas y sequías. Si las lluvias superan la capacidad de infiltración de los suelos, puede producirse erosión, deslizamientos, azolvamiento de cauce, entre otros. Estos fenómenos pueden causar pérdidas humanas, daños a infraestructura, deterioro de la calidad del agua del alrededor, sequías, entre otros aspectos negativos. La creación, seguimiento y actualización de políticas, normas, ordenamiento territorial, control de recursos naturales, correcta gobernanza, digna educación, organización y procedimientos de financiamiento son la fundación para un manejo de cuencas que mejora y reduce la vulnerabilidad y riesgo a desastres mencionados [18].

### **3.17. El ciclo de gestión de cuencas**

Un correcto desarrollo del concepto de cuencas como un recurso natural requiere de un correcto análisis para garantizar localizar problemas a tratar y lograr que decisiones y procedimientos a realizar cumplan necesidades y objetivos de la gestión. Se busca tener un plan a largo plazo para que procedimiento sea preciso, ajustable y viable. Se busca emplear metodologías adecuadas y convenientes desde la determinación de necesidades y utilizaciones de territorio y recursos de este. Si se lleva a cabo planificación detallada, puede generarse cambios, efecto e impactos positivos a corto, mediano y largo plazo. Se deben crear fases a las que se les debe dar seguimiento y frecuente evaluación para lograr sistematizar procesos. La gestión no será un proceso que realice una persona, sino que requiere de organización que involucre a actores locales y en casos, institucionales. Pueden tomarse las siguientes etapas para esta gestión [7].

#### **3.17.1. Etapa preliminar**

Esta etapa consiste en conocer e identificar los actores dentro de la cuenca a trabajar. Esto se realiza para conocer el estado general de las características de la cuenca, con el fin de conocer sus características dominantes y de identificar a responsables para el manejo de la cuenca [7].

#### **3.17.2. Organización de la gestión**

Esta etapa conforma y organiza al comité o grupo gestor el cual tendrá como finalidad representar a los actores que están interesados en manejar y gestionar la cuenca. Se realiza procedimiento para identificar roles y responsabilidades y de esa manera localizar necesidades para manejar cuencas y microcuencas. Luego de realizar este procedimiento, se planifica el desarrollo de la gestión. [7].

#### **3.17.3. Etapa de caracterización y diagnóstico de la cuenca**

Durante esta etapa, se realizan diferentes metodologías para inventar, caracterizar, analizar y evaluar la problemática de la cuenca. Este diagnóstico debe incluir conocimiento de estado actual de cuenca, causas de los problemas y reconocer posibles soluciones de estos problemas [10].

### 3.18. Metas objetivo 6 desarrollo sostenible Naciones Unidas

El objetivo 6 de desarrollo sostenible planteado por Naciones Unidas tiene como objetivo garantizar el acceso y disponibilidad de agua libre de impurezas para todos. De la misma manera plantea una gestión de recursos hídricos sostenible y saneamiento para todo el mundo. A continuación se enumeran las metas que tiene este objetivo [19].

1. Conseguir el acceso universal y equitativo de agua potable a un precio accesible para todos los usuarios.
2. Lograr acceso justo a servicios de saneamiento e higiene aptos para todos los usuarios. Además, acabar con la defecación al aire libre y cumplir con necesidades higiénicas para mujeres y niñas.
3. Enriquecer calidad de agua por medio de la reducción de polución, supresión de vertimiento y reducción máxima posible de materiales de descarga (químicos, agua no tratada) en cuerpos de agua.
4. Ejecutar gestión integrada de recursos hídricos en cada nivel.
5. Lograr meta 2020: “Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, así como bosques, montañas y cuencas.
6. Crear juntos a países vecinos, planes relacionados con el saneamiento y aprovechamiento máximo de recursos hídricos.
7. Fortalecer participación e inclusión de comunidades locales para mejorar gestión del agua y saneamiento sostenible.

Figura 8: Objetivo 6 desarrollo sostenible Naciones Unidas



[19]

### 3.19. El papel del agua en los objetivos de desarrollo sostenible

El objetivo 6 de los objetivos de desarrollo sostenible está enfocado en aportar positivamente en la higiene, en la gestión de las cuencas enfocada en la gestión integrada de los recursos hídricos y en las preocupaciones ambientales. El mejoramiento de los recursos hídricos tiene un efecto en aspectos económicos y sociales, a continuación se presentan objetivos específicos que corresponden al papel del agua en los objetivos de desarrollo sostenible [20].

1. Fin de la pobreza: El agua como el recurso más importante de la cadena de necesidades humanas. Se busca por medio del suministro confiable de agua para todos, alcanzar el desarrollo sostenible, seguidamente, reducir pobreza y asegurar alimento.
2. Hambre cero: La disponibilidad de seguridad alimentaria depende principalmente de un acceso constante y seguro de agua potable. Por lo que, para lograr reducir la hambruna, debe existir un abastecimiento de agua .
3. Salud y bienestar: La carga mundial de enfermedades tales como infecciones y virus, disminuye al tener acceso a agua para mejorar higiene. Por medio del agua, puede mejorar salud, estabilidad y bienestar de poblaciones.
4. Educación de calidad: Por medio de un saneamiento y suministro continuo de agua, puede mejorar educación en poblaciones.
5. Igualdad de género: La escasez de agua, vuelve a las mujeres más vulnerables. El no poder tener acceso a baños higiénicos, crea proliferaciones de infecciones. Asimismo, obliga a niños y a niñas trabajar desde muy temprana edad.
6. Agua limpia y saneamiento: El desarrollo sostenible de pueblos es proporcional a la disponibilidad global de agua limpia.
7. Energía accesible y no contaminante: La velocidad de electrificación se ve afectada también por el agua. Si este recurso se toma como fuente principal de energía, puede apresurarse el proceso de electrificación.
8. Trabajo decente y crecimiento económico: La calidad de vida mejora exponencialmente al tener un buen acceso de agua. Esto promueve y fortalece el trabajo, además influye en creación de empleos dignos. La inversión en acceso seguro a agua está directamente ligada a seguridad laboral.
9. Industria, innovación e infraestructura: El agua sirve como cimiento de desarrollo sostenible. Al crear construcciones, se requiere de agua potable. Al tener este acceso asegurado, se facilitan construcciones y la industria mejora.
10. Reducción de las desigualdades: El acceso al agua reduce brechas de desigualdad, ya que, al lograr un acceso global de agua, se asegura un progreso periódico.
11. Ciudades y comunidades sostenibles: Poblaciones que logran hacer un uso responsable del agua, consiguen ser ciudades sostenibles. La meta consiste en reducir al mínimo su fuerza destructiva.

12. Producción y consumo responsables: Reducir el consumo de agua para producción, utilizar el recurso de manera responsable y no malgastarlo.
13. Acción por el clima: El acceso a agua es el vínculo entre clima y sociedad humana.
14. Vida submarina: La vida submarina hace que el planeta sea habitable para los seres humanos. Es necesario su resguardo ya que regulan temperatura, química y corrientes de océanos.
15. Vida de ecosistemas terrestres: Ecosistemas terrestre son encargados de brindar agua en niveles de calidad que permiten la sobre-vivencia de seres humanos en el planeta.
16. Paz justicia e instituciones sólidas: Asegurara gobernanza de agua para lograr un equilibrio de recursos con demandas. Mejorar comunicación para evitar conflictos y lograr mantenimiento de ecosistemas.
17. Alianzas para lograr objetivos: Debe haber un compromiso a favor de las alianzas entre entes y gobiernos para asegurar suministro de agua responsable, ambiental y económicamente sostenible.

## **3.20. Problemática y justificación**

### **3.20.1. Problema institucional**

El Acuerdo Ministerial número 335-2016 establece las normas necesarias para garantizar la utilización y aprovechamiento de los recursos de las cuencas. Asimismo, está vigente el Reglamento de Descargas de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos (233-2006). A pesar de la existencia de estos acuerdos, dentro de ellos no hay regulaciones para el uso de los recursos hídricos de la cuenca ni sanciones para personas o industrias que viertan deshechos sólidos o aguas residuales sin previo tratamiento a los cuerpos de agua de la cuenca. La movilidad de personas en las instituciones del Estado afecta a los proyectos generados cada periodo, pues se pierde continuidad y eficacia. La falta de educación y conciencia ambiental es otro factor que afecta de manera negativa a los recursos naturales. A pesar que existen programas de educación ambiental por parte del MARN, estos no se enfocan en la preservación de los ecosistemas. Se requiere de una educación integral y pragmática en las áreas de mayor contaminación. Los principales problemas institucionales dentro de la cuenca de estudio son la ausencia de una entidad que represente e integre a los actores de la cuenca, la debilidad del marco político y legal sobre el manejo de recursos hídricos y la inexistencia de una ley de aguas y normativa para gestión de recursos naturales.

### 3.20.2. Problemática y oportunidades ambientales

La problemática ambiental se despliega en dos categorías: la degradación de los recursos naturales y la falta de aprovechamiento de oportunidades. La cuenca del Río Ocosito presenta problemas ambientales que surgen de la situación general del país. La mayor parte de materia prima es utilizada una vez y luego desechada, sin tomar en cuenta un reuso o reposición de recursos naturales. Debido a los bajos índices de desarrollo humano y escolaridad e inexistencia de una ley de aguas, existen altas tasas de contaminación por desechos sólidos y líquidos. En el último año ha reducido la pesca artesanal en la comunidad Tres Cruces del departamento de Retalhuleu y al rededor de 100 familias han migrado, por la contaminación del agua del sector. La escasez de agua potable en una comunidad afecta a la generación de empleos y tiene efectos negativos en la economía local. Por otro lado, existen oportunidades de generación de ingresos para los habitantes de las comunidades de la cuenca por medio del aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. Las alternativas existentes son el aprovechamiento de los ecosistemas forestales para la explotación turística, la producción de artículos provenientes de la madera y la creación de industrias de madera. Asimismo, crear servicios para la regulación hídrica y planes para lograr la reducción de desastres hídricos.

### 3.20.3. Problemática y oportunidades de la GASS

De acuerdo a la caracterización realizada, los recursos hídricos de la cuenca de estudio no se encuentran en buen estado y de no crear planes para el mejoramiento de estos, la crisis de agua en la cuenca se volverá más seria. La contaminación sobre un recurso finito. El análisis de la problemática del recurso hídrico de la cuenca refleja que el manejo actual de los recursos naturales relacionados a la cuenca no es adecuado. Continuando en esta dirección, la crisis de agua en la cuenca del Río Ocosito será cada vez más seria. A continuación se presenta un análisis de la problemática del recurso hídrico.

- Necesidad de optimizar el aprovechamiento de agua pluvial. De la Figura 17 se observa que la precipitación anual en la parte más alta de la cuenca es de  $4484 \frac{mm}{hr}$ , y en la parte más baja de  $1079 \frac{mm}{hr}$ . La mayor parte de la cuenca tiene una precipitación anual superior al promedio nacional (1815mm). La variabilidad de lluvia es alta, pero es factible diseñar métodos de reuso de agua pluvial. Dentro de la cuenca Ocosito hay un déficit de abastecimiento de agua para consumo humano. Según se observa en la Figura 18, que un promedio de del 43.5% de habitantes de la cuenca no tiene acceso a agua potable.

Cuadro 1: Balance hidrológico de la cuenca del Río Ocosito (millones de  $m^3$ )

<b>Entradas</b>	Precipitación	7977.3
	Agua almacenada año anterior	835.7
<b>Salidas</b>	Evapotranspiración	3491.9
	Recarga	1698.4
	Almacenamiento en suelo	835.7
	Escorrentía subsuperficial	299.7
	Escorrentía superficial	2488

[21]

- Debido a la estacionalidad de la época lluviosa en Guatemala, existen problemas de disponibilidad en las épocas secas. Es necesario trabajar embalse y regulación de agua en la cuenca para asegurar disposición y aprovechamiento de este recurso. Teniendo en cuenta que la población actual de la cuenca es de aproximadamente 350000 personas, por lo que el caudal disponible tiene que ser  $120.5 \frac{m^3}{ao}$  por habitante. La tasa de crecimiento poblacional y de demanda de otros recursos naturales aumenta la demanda de agua.
- Por otro lado, usuarios particulares e industriales vierten las aguas residuales a los cauces sin previo tratamiento, causando contaminación. La contaminación del agua superficial se demuestra por medio de imágenes de la basura y polución.

#### 3.20.4. Problemática de la gestión de riesgo

La cuenca del Río Ocosito posee alta capacidad de carga social que actualmente está en riesgo por deficiencia estructural. Los modelos económicos, educativos y sociales carecen de estructura integral que contribuyan al desarrollo de la cuenca. Para conseguir un río limpio, se requiere un mejoramiento en todas las vulnerabilidades descritas.

Los sismos, erupciones, deslizamientos, inundaciones, sequías e incendios también son amenazas para la cuenca. En todo el territorio guatemalteco hay una permanente amenaza sísmica por la ubicación de las placas tectónicas. El volcán Santiaguito descarga cenizas que dependiendo de su intensidad, dañan cultivos y salud de las personas.

Las amenazas que principalmente perjudican a la cuenca de estudio son deslizamiento e inundaciones. La Figura 12 y la Figura 13 representan ambas amenazas. Los municipios de Nuevo San Carlos y Ocós son los que tienen mayor amenaza a inundaciones, mientras que los municipios El Palmar, San Martín Sacatepéquez y Coloma de son los que están más vulnerables a deslizamientos. La deforestación aumenta la probabilidad de eventos como deslizamientos y sequías. Las inundaciones son habituales en poblados con mal drenaje principalmente los municipios de Quetzaltenango. Se requiere de un modelo holístico para asegurar el funcionamiento de las técnicas propuestas.

### 3.21. Estrategias de intervención

Las estrategias de intervención para conseguir un plan de manejo de cuenca sostenible son realizar reuniones de junta directiva mensuales y de todo el comité de cuencas trimestrales. Estas estrategias se realizan para dar seguimiento a problemática y presentar resultados. La estrategia de intervención tiene cuatro ejes que responden a cada problemática y está constituida por cuatro ejes: el fortalecimiento institucional, gestión ambiental, gestión integrada de recursos hídricos y gestión de riesgo.

### **3.21.1. Recopilación de información y acercamiento a comunidad**

El diagnóstico de la cuenca y la propuesta de posibles soluciones tiene que ser avalado por los usuarios de la cuenca. Se propone previo a la toma de cualquier decisión, la realización de un grupo focal en cada municipio al que asistan investigadores de la junta directiva planteada y recopilen información y necesidades del poblado. Es necesario reunirse con el cocode de cada municipio previo a tomar cualquier decisión. Los grupos focales tienen que ser inclusivos y el resultado de estos tienen que ser esquemas ilustrativos de la problemática actual.

### **3.21.2. Aprovechamiento múltiple del agua**

El uso y aprovechamiento múltiple del agua tiene que ser sostenible. El suministro de agua potable tiene que ser constante y para toda la población de la cuenca. La pendiente del cauce del río Ocosito es conveniente para ahorrar energía y reducir la dependencia de generación térmica. Se plantea que el sector agrícola también aproveche las aguas del cauce para incrementar productividad de las áreas cercanas a los cauces principales por sistemas de riego.

### **3.21.3. Regulación natural y artificial del agua**

Debido a que la precipitación anual en la cuenca es alta, es necesario retener parte del agua pluvial por medio de embalses. El agua embalsada es reutilizable para usos agrícolas de huertos familiares y pilas de agua. Estas medidas de reuso de agua benefician la infiltración del agua y la recarga de los cuerpos de agua subterráneas que disminuyen la escorrentía superficial.

### **3.21.4. Manejo de las aguas residuales y pluviales en el área urbana**

La disponibilidad de agua dentro de la cuenca depende del ciclo natural y de la calidad del recurso. El tratamiento de las aguas residuales mejora la calidad del agua de los cauces principales y vuelve factible el reuso para el ámbito agrícola y recreación. Como está indicado en el acuerdo gubernativo no. 236-2006, el reuso para cultivos comestible, el valor de coliformes fecales por cien mililitros debe ser menor a 204. Las inundaciones durante la época de lluvias intensas causan daños graves a las carreteras en las áreas urbanas, la falta de sistemas apropiados de drenaje pluvial atribuyen a estos daños.



## 4.1. Enfoques y lineamientos de la GASS

### 4.1.1. Enfoques transversales

Previo a realizar las primeras propuestas del plan de manejo se asegura la transversalidad a lo largo del todo el procedimiento. Esto asegura que los temas propuestos sean abordados adecuadamente. Asimismo, se establecen los lineamientos principales con los que se busca implementar el manejo de la cuenca de manera integral y participativa [22].

#### **Enfoque de cuenca hidrográfica**

La guía de gestión sostenible de recursos hídricos considera a la Cuenca como una unidad integrada por recursos ecológicos, culturales, económicos y políticos que interactúan entre sí. Este enfoque afirma que la problemática de la parte alta de la cuenca tendrá repercusiones en la parte media y en la parte baja de la cuenca.

#### **Enfoque institucional**

Para conseguir la ejecución del plan de manejo de la cuenca es esencial la creación de un organismo sistemático de la cuenca el cual está propuesto en la Figura 24. Esta comisión está constituida por autoridades multinivel desde nivel comunitario, municipal y representantes gubernativos. La elección de los miembros de este comité asegura que las decisiones tomadas por este ente sean ejecutadas y que sus resultados tengan un impacto positivo en funcionabilidad de la cuenca.

## Enfoque de aprovechamiento de oportunidades

La GASS analiza, aprovecha y propone un desarrollo de ideas que aproveche todos los recursos disponibles en la cuenca. Se vinculan temas naturales, culturales e históricos para planeamiento de proyectos.

## Enfoque transgeneracional

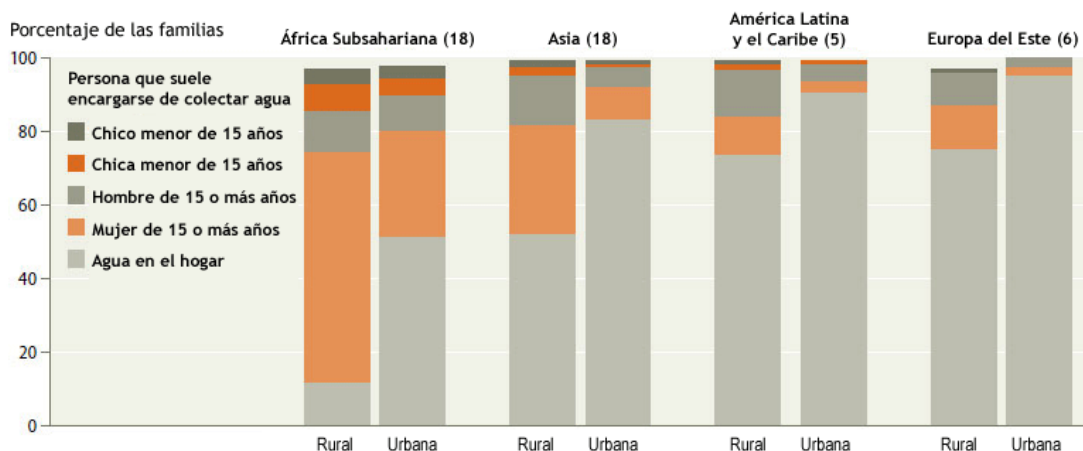
La práctica de este plan considera que todos los proyectos planteado y realizados tengan un impacto transgeneracional que se adapte a las generaciones actuales y a las siguientes.

### 4.1.2. Lineamientos de la GASS

- Enfoque de género: La GASS planteada considera que hombres y mujeres de edades diversas tienen que participar en la propuesta de soluciones y en la toma de decisiones. Según censo poblacional del año 2018, 51.43 % de la población guatemalteca son mujeres por lo que la participación de mujeres en este plan es indispensable. Se tiene que tomar en cuenta opinión y propuestas de mujeres de la comunidad, enfatizando la equidad de género y fomentando la participación de la mujer en el cuidado y gestión de la cuenca. Esta necesidad puede reafirmarse observando la Figura 9. Según estudio realizado por Naciones Unidas, en muchos casos de América Latina, las mujeres son las encargadas de recolectar el agua para los hogares. Esto refleja que en muchas familias, las mujeres tienen más contacto a los recursos hídricos de la zona que los hombres. Concluyendo con que la opinión de la mujer tiene que tomarse en cuenta.

Figura 9: Distribución familiar en función de la persona responsable de coleccionar agua, por región, por zona rural o urbana

Distribución familiar en función de la persona responsable de coleccionar agua, por región, por zona rural o urbana. 2005-2007 (últimas cifras disponibles)



- Enfoque de participación: Las propuestas y toma de decisiones de proyectos a desarrollar en la Cuenca Ocosito son realizadas por usuarios y habitantes de recursos de la cuenca. En la Figura 24 se observa que dentro de la junta directiva hay cuatro representantes comunitarios, uno por cada zona de vida. La división de la cuenca por zonas de vida se observa en la Figura 31 [22].
- Enfoque multicultural: En la Figura 21 se observan las diferentes etnias que habitan en la cuenca Ocosito. El comité está formado por miembros de diferentes etnias. Las sesiones y grupos focales son atendidas por personas de diferentes etnias para promover inclusión cultural [22].

## 4.2. Resumen ejecutivo

El resumen ejecutivo del plan consiste en una síntesis descriptiva, argumentada y precisa que incluya los elementos principales de la propuesta. Por medio de esta presentación se obtiene una idea del contenido del plan. El contenido del resumen incluye los problemas principales del proyecto, la justificación de la realización, los actores principales y datos relevantes del área de estudio. Por medio del resumen ejecutivo se presentan las principales características del área de estudio así como los objetivos y resultados relevantes del procedimiento.

## 4.3. Marco de análisis de contexto

Por medio del marco referencial se identifican proyectos existentes e instituciones gubernativas y no gubernativas relacionadas al manejo de recursos hídricos en la zona de interés. Asimismo, se establece la justificación y problemática existente que respalda la importancia del manejo adecuado de la cuenca. También se enfatizan los aspectos de sostenibilidad que se buscan cumplir por medio del manejo.

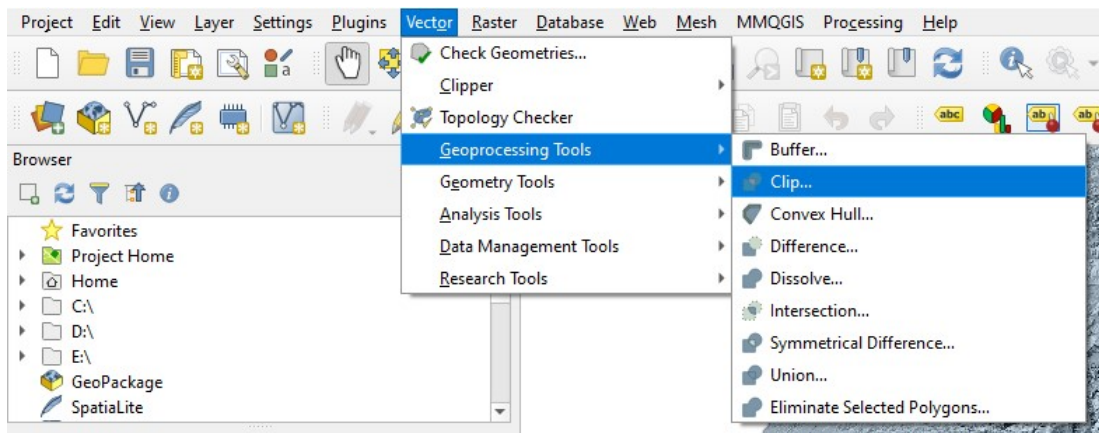
## 4.4. Identificación de actores clave

La identificación de los actores clave del plan de manejo consiste en reconocer a todas las personas que están afectadas por el estado actual del área de estudio y las personas que serán beneficiadas con la implementación del proyecto. Asimismo, dentro de los actores clave se incluyen personas que por medio de poder, legitimidad y otros vínculos, tiene la capacidad de contribuir al plan.

## 4.5. Caracterización morfométrica

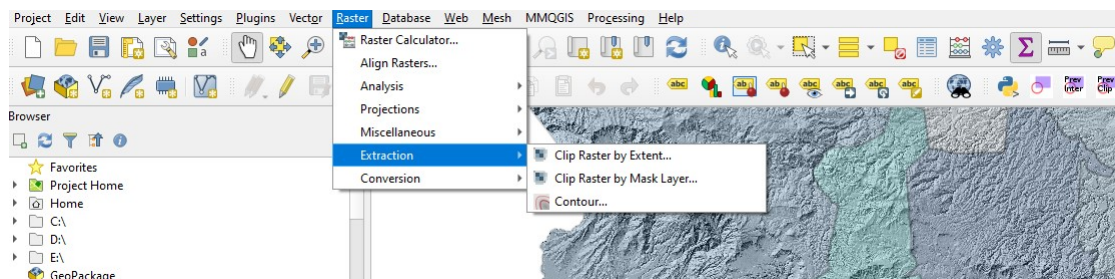
Este diagnóstico comprende el estado biofísico y socioeconómico actual de la cuenca de estudio. La caracterización se divide en dos fases. La primera consiste en realizar un análisis desde QGIS haciendo uso de archivo shape existentes obtenidos de organizaciones guatemaltecas y generando mapas temáticos de la zona de interés de todas las variables relacionadas a estado actual de la cuenca. Este análisis se realiza utilizando la proyección EPSG:32615 - WGS 84 / UTM zone 15N. La segunda parte se basa en calcular las características morfológicas de la cuenca con información extraída del análisis en QGIS. Se utilizan archivos tipo shape y tipo raster para este procedimiento. Las herramientas utilizadas en QGIS para este análisis son recorte de shapes y recorte de capas raster. En la Figura 10 se observa la manera en la que se recortan los shapes y en la Figura 11 la manera en la que se cortan las capas raster.

Figura 10: Herramienta recorte shapes



Fuente: Elaboración propia

Figura 11: Herramienta recorte raster



Fuente: Elaboración propia

La elaboración de cálculos para caracterizar morfometría de la cuenca fue creada en Excel. La información requerida para la realización de estos cálculos se extrajo de las tablas de atributos de los shapets cortados en QGIS.

Se inició sumando la longitud total de todas las corrientes, adhiriendo la longitud total de las órdenes de corrientes. Asimismo, se calculó la longitud media de cada orden.

Como siguiente paso, se calculó la longitud acumulada de corrientes multiplicando la longitud media calculada anteriormente por el total de cauces de cada orden.

La densidad de corrientes se generó dividiendo la sumatoria de todas las órdenes de corrientes entre el área total de la cuenca, y la densidad de drenaje haciendo la división de la longitud total de los cauces entre el área total de la cuenca.

Se prosiguió a calcular la densidad de drenaje para obtener información más confiable que la densidad de corrientes, dividiendo la longitud total de la corrientes perennes entre el área total de la cuenca.

Posteriormente se calculó el radio de longitud medio para determinar cada cuantos kilómetros hay una bifurcación en la corrientes. Asimismo, se calculó el radio de bifurcación medio para identificar cada cuántas corrientes hay una corriente de orden superior.

Como siguiente pasó, se calcula la pendiente media del cauce principal por medio del método de pendiente uniforme para lograr determinar comportamiento del recurso hídrico. La relación circular se calculó por medio de la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área.

Por otro lado, se calculó el factor de forma de la cuenca el cual expresa la relación del ancho promedio de la cuenca y su longitud. El índice de compacidad se calculó para conocer la susceptibilidad de inundaciones dentro de la cuenca.

La altura media de la cuenca se obtuvo por medio de las curvas de nivel para conocer el punto medio de la superficie de la cuenca y la curva hipsométrica se generó para conocer la edad de la cuenca, dibujando la altura relativa y el área relativa de la cuenca.

## **4.6. Zonificación territorial**

La zonificación tiene como objetivo identificar los usos que se la dan a la tierra así como los lugares poblados y las zonas de vida dentro de la cuenca. Por medio de este diagnóstico se identifican los principales cultivos dentro del área, la concentración de habitantes según la localización y las principales zonas que son propensas a deslizamientos e inundaciones.

## **4.7. Línea base**

La línea base del plan de manejo incluye los indicadores cualitativos y cuantitativos que tienen como objetivo evaluar la interacción entre aspectos socioeconómicos y biológicos. La línea base se presenta en forma de cuadro, en el que se establecen los indicadores y los elementos para realizar análisis y diagnóstico.

## **4.8. Líneas de acción y horizonte temporal**

Las líneas de acción de los planes de manejo integral son: aprovechamiento múltiple del agua, regulación artificial y natural del agua y manejo de aguas residuales y pluviales. Posterior al planteamiento de estas líneas de acción, es creada la estructura del plan la cual incluye la propuesta de proyectos. El horizonte temporal se refiere al periodo de tiempo para el cual se consideran las propuestas del plan de gestión. Previo a presentar la estimación, es necesario priorizar proyectos para obtener resultados óptimos.

## **4.9. Objetivos del plan**

Los objetivos del plan de manejo están divididos en tres partes. Es necesario priorizar necesidades dentro de la cuenca para conseguir un planteamiento lógico. Se presenta el objetivo de desarrollo a largo plazo el cual generalmente es algo puntual como mejorar la calidad del agua. También se presentan los objetivos generales que presentan metas a mediano plazo y los objetivos específicos los cuales incluyen metas cuantitativas.

## **4.10. Estructura del plan**

La estructura del plan consiste en el planteamiento de proyectos que tienen como objetivo enfrentar los problemas existentes identificados durante el diagnóstico. Esta estructura se presenta en forma de programas y proyectos en base a líneas de acción planteadas.

#### **4.11. Organización para la gestión y la implementación del plan**

Los miembros del comité de cuencas fueron elegidos posterior al análisis y propuestas del manual de la GASS. Se comenzó analizando todo la estructura de la cuenca para plantear a una junta directiva constituida por expertos y habitantes de la cuenca. Asimismo, se propuso que haya un representante dentro del comité por cada municipio de la cuenca. Por otra lado, se incorporó la participación de organizaciones no gubernativas que contribuyen al desarrollo social de la cuenca y a representantes de organizaciones gubernativas para agilizar procesos legales y conocer presupuesto y propuestas existentes planteadas por entidades gubernativas. Por último, se contempló una categoría que este constituida por industrias localizadas dentro de la cuenca que hacen uso de recursos de la cuenca y son posibles donantes para la ejecución de proyectos de la cuenca.

#### **4.12. Evaluación de zonas de riesgo**

Es necesario identificar las zonas de impacto ambiental negativo como zonas de deslizamientos e inundaciones para plantear soluciones. El objetivo de esto es ubicar estratégicamente proyectos que brinden medidas sustitutivas a esta problemática.



---

## Guía de aplicación de la metodología en la cuenca del Río Ocosito

---

### 5.1. Resumen ejecutivo

Esta guía metodológica tiene como objetivo presentar una propuesta para el manejo integral de la cuenca del Río Ocosito. Esta metodología constituye de dieciocho pasos que se recomiendan implementar para conseguir un saneamiento sostenible de los recursos de la cuenca. En la Figura 25 se observa el diagrama de flujo de la guía y a continuación se detallan los resultados obtenidos del seguimiento de este manual. La metodología GASS analiza de manera integral los ciclos de agua y de los nutrientes, de esta manera asocia saneamiento y agricultura. Con la información extraída de los mapas temáticos y cálculos de la morfología fue posible elaborar plantear una planificación participativa de la cuenca. La evaluación preliminar de la situación actual refleja los problemas y necesidades que se tienen actualmente dentro del territorio analizado. El área de influencia de la cuenca es de  $2098 \text{ km}^2$  y dentro de esta extensión habitan, según el censo poblacional realizado en el año 2018, 350131 personas. La distribución por municipio se observa en el Cuadro 16. La GASS tiene como meta el entendimiento de la ocurrencia del agua en cantidad, calidad, tiempo y espacio para lograr un aprovechamiento sostenible e integral. Este plan busca satisfacer necesidades sociales integrando economía local y contribución al medio ambiental. Conseguir una solución duradera e integral es un desafío para las condiciones sociales, culturales y políticas de la región.

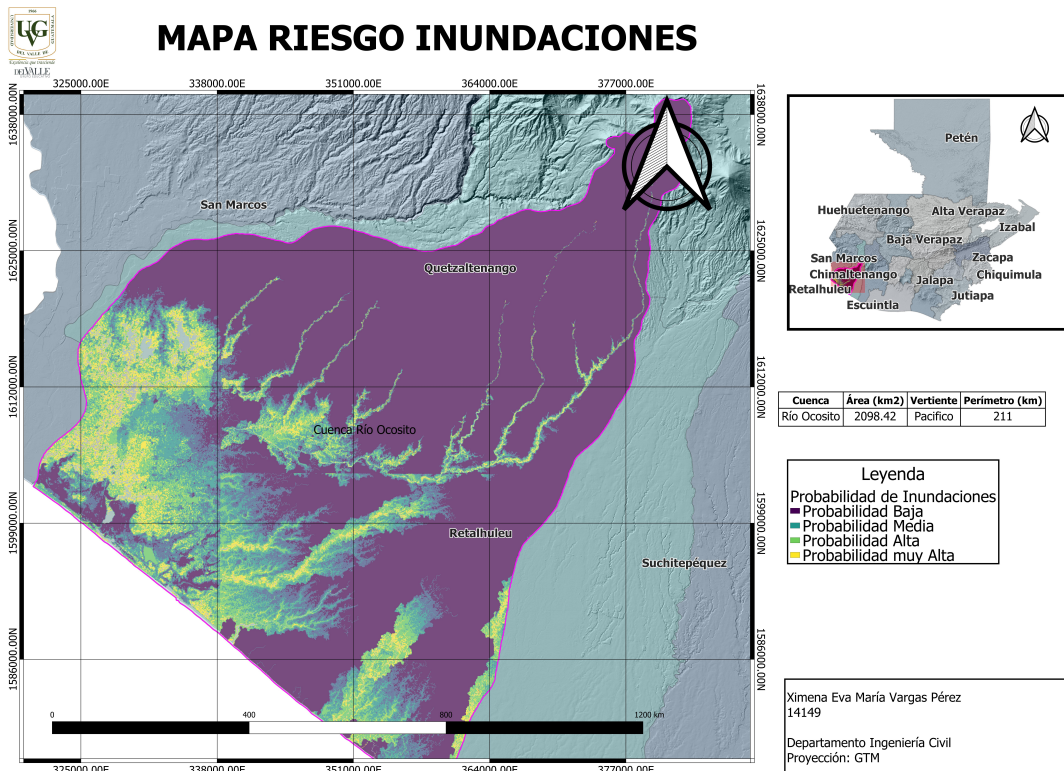
## 5.2. Marco de análisis de contexto

### 5.2.1. Problemática y justificación

La cuenca Ocosito posee altos grados de vulnerabilidad en aspectos de inundaciones y deslizamientos en algunos sectores. Se realizó el análisis de ambos casos y se crearon mapas de estudio.

Por medio de la siguiente imagen, se identificaron las zonas con mayor riesgo a inundaciones dentro de la cuenca. Se observa que en las partes más bajas de la cuenca existe mayor probabilidad de inundaciones, cerca de su desembocadura al océano pacífico. Además, hay zonas de probabilidad media de inundación en las áreas cercanas al cauce principal del río.

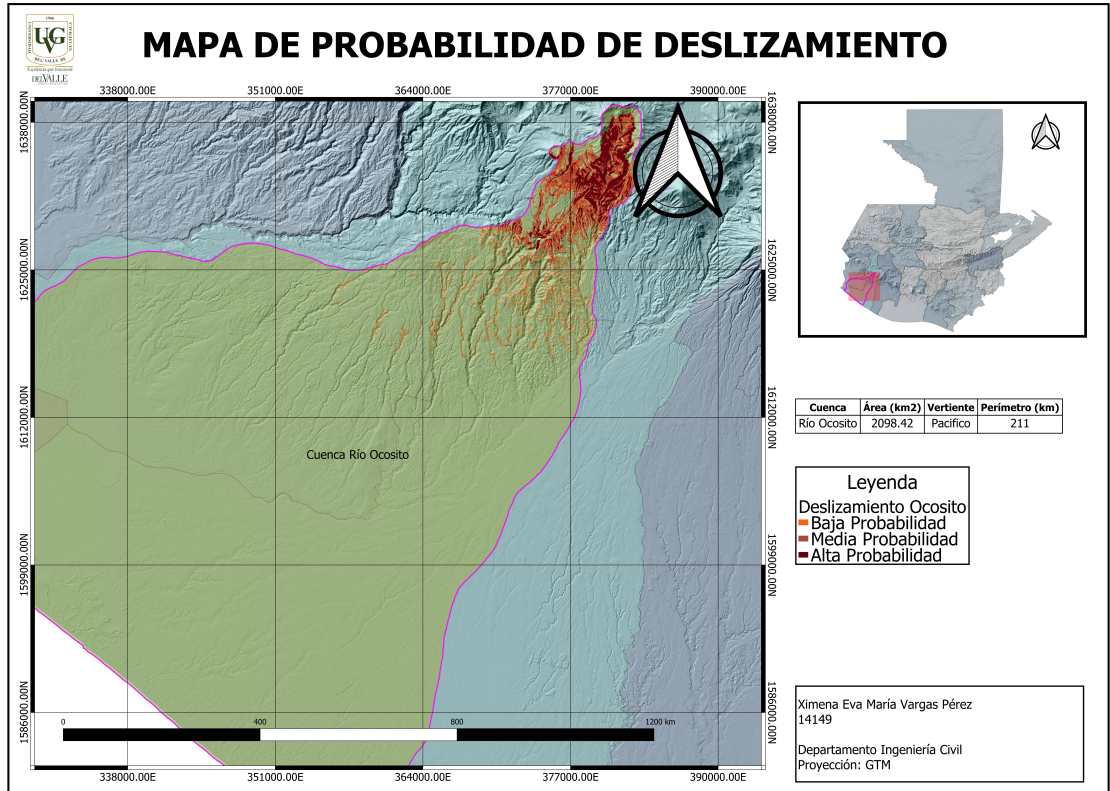
Figura 12: Mapa de inundaciones



Fuente: Elaboración propia

De la misma manera, se generó un estudio de deslizamientos. La Figura 13 representa los resultados obtenidos de este estudio. En la parte más alta de la cuenca, cercana a los volcanes Santiaguito y Santa María, se encuentra una zona con alta probabilidad a deslizamientos. Esta problemática depende de la altitud y la fisiografía y el ocurrimiento de estos accidentes afecta la capacidad de carga de la cuenca.

Figura 13: Mapa de deslizamientos



Fuente: Elaboración propia

Los resultados del diagnóstico biofísico y socioeconómico reflejan algunos problemas que afectan diariamente a los habitantes de la cuenca. Según datos del IGN, más de 3 km de longitud del río Ocosito están fuertemente contaminados con desechos sólidos que afectan a aproximadamente 100 familias que viven al rededor de la concentración de esta contaminación en el departamento de Retalhuleu. La contaminación que se concentra en la parte baja del departamento de Retalhuleu proviene de la parte alta de la cuenca del departamento de Quetzaltenango.

Según datos del ICC, los municipios que están más cercanos a concentración de contaminación, son las comunidades que sufren más pobreza. Esto se debe a que la agricultura no puede regarse con esta agua y la pesca se vuelve inviable. La degradación ambiental reduce productividad agrícola y productividad de los suelos [10].

Actualmente, la organización no gubernativa Agua del Pueblo tiene proyectos de agua potable en los departamentos de Quetzaltenango y San Marcos. Es necesario generar un vínculo entre este plan y la ONG existente que tiene como objetivo satisfacer necesidades vitales de agua, saneamiento básico y de producción agrícola en las comunidades de Guatemala, basándose en alternativas tecnológicas integrales para la organización y la participación ciudadana, orientada al poder y desarrollo local.

Los aspectos de sostenibilidad ambiental con los que se busca contribuir en la elaboración de este proyecto son: enfoque de demanda (equilibrar la oferta y la demanda de los recursos), cambio climático y huella ecológica.

### 5.3. Identificación de actores clave

Por medio de la división política de la cuenca y del conteo de población, representados en los Cuadros 16 y 15 se identificaron a los actores clave de la cuenca. En este caso constituyen por su capacidad de contribuir al mejoramiento de los recursos de la cuenca, a los alcaldes de los catorce municipios, a miembros del COMUDE y miembros del MARN. Los actores clave de la cuenca Ocosito son los 350131 habitantes y los miembros de las instituciones gubernativas que tienen el poder de actuar para el mejoramiento de la misma. Asimismo, las instituciones educativas y sus estudiantes. Los estudiantes de todos los colegios, escuelas públicas, sus maestros y las entidades encargadas.

### 5.4. Caracterización morfométrica

#### 5.4.1. Ubicación

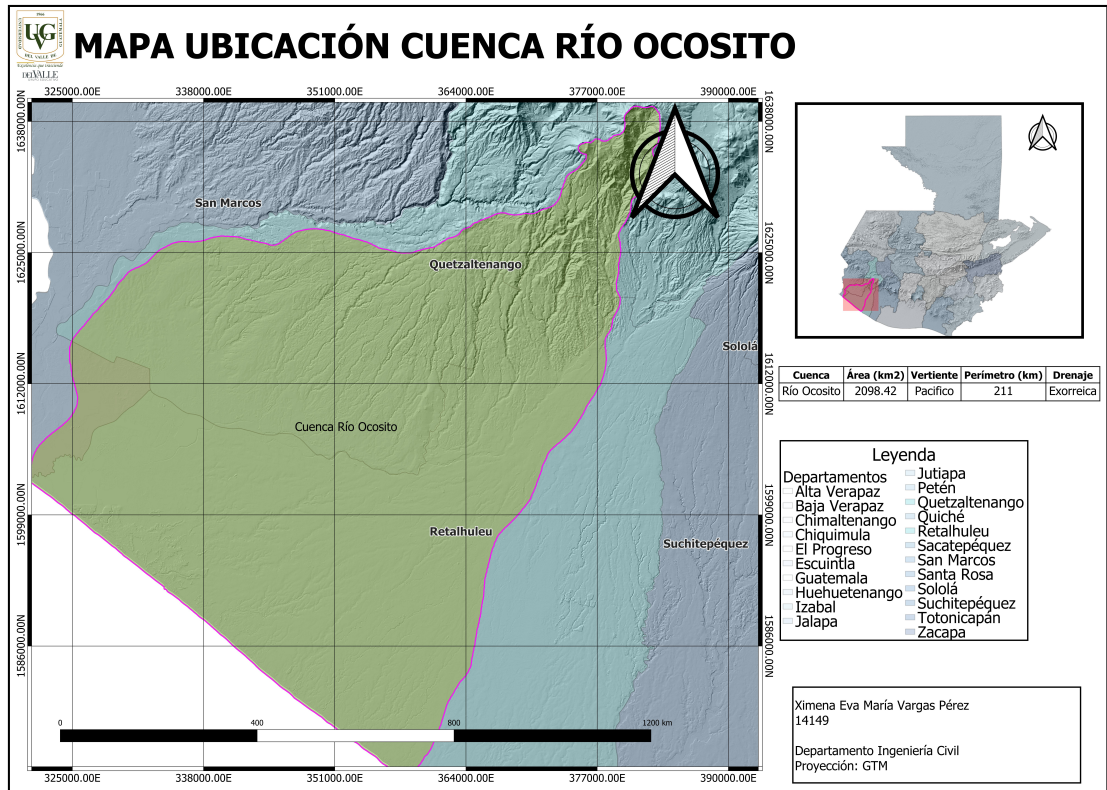
Cuadro 2: Ubicación cuenca y características generales

Cuenca	Ubicación	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Vertiente
Ocosito	Quetzaltenango, Retalhuleu, San Marcos	2098.2	211	Pacífico

Fuente: Elaboración propia

El área de estudio está situado en la región suroccidente de la República de Guatemala. La cuenca está delimitada por el parteaguas. La mayor parte de área de la cuenca está en el departamento de Quetzaltenango, seguidamente en el departamento de Retalhuleu y una pequeña porción en el departamento de San Marcos. La ubicación de la cuenca se presenta en la siguiente figura.

Figura 14: Mapa de ubicación cuenca Ocosito



Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.2. Morfometría e hidrología

##### Longitud media de corrientes

Cuadro 3: Longitud media de corrientes

Longitud media de corrientes por número de orden			
Orden	Sumatoria	Longitud total (km)	Longitud media (km)
1	164	699.21	4.26
2	90	283.57	3.15
3	26	88.13	3.39
4	33	57.03	1.73
<b>Total</b>	<b>313</b>	<b>1070.91</b>	

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 3 se representa la longitud media de corrientes según el orden y la longitud total de las corrientes. Esta representa la relación entre la longitud total de las corrientes del mismo orden y la cantidad de corrientes. El valor promedio de cada corriente de la cuenca es de 3.42 *km*.

## Longitud acumulada de corrientes

Cuadro 4: Longitud acumulada de corrientes

<b>Longitud acumulada de corrientes</b>			
Orden	Sumatoria	Longitud media (km)	Longitud acumulada (km)
1	164	4.26	699.21
2	90	3.15	283.57
3	26	3.39	88.13
4	33	1.73	57.03
Total	313	12.53	1127.94

Fuente: Elaboración propia

El Cuadro 4 representa el valor total de la longitud acumulada de las corrientes de la cuenca. Este valor equivale a 1127 *km*.

## Densidad de corrientes

Cuadro 5: Densidad de corrientes

<b>Densidad de corrientes</b>			
Cuenca	Área ( <i>km</i> <sup>2</sup> )	Sumatoria órdenes	Densidad corriente (corrientes/ <i>km</i> <sup>2</sup> )
Ocosito	2098.42	313.00	0.15

Fuente: Elaboración propia

La densidad de las corrientes representa la cantidad de cauces por unidad de área. Este valor simboliza la capacidad de una cuenca a drenar. El resultado obtenido es bajo, por lo que se concluye que la cuenca no está bien drenada. Para calcularla, se divide la cantidad total de cauces entre la unidad de área, que en este caso es *km*<sup>2</sup>.

## Densidad de drenaje

Cuadro 6: Densidad de drenaje

<b>Densidad de drenaje</b>			
Cuenca	Área ( <i>km</i> <sup>2</sup> )	Longitud total (km)	Densidad de drenaje (km/ <i>km</i> <sup>2</sup> )
Ocosito	2098.42	1070.91	0.51

Fuente: Elaboración propia

El cálculo realizado en el Cuadro 6 constituye a la longitud de cauces por unidad de superficie. El valor obtenido clasifica al drenaje de la cuenca como pobre. La densidad de drenaje representa la relación de la cantidad de kilómetros lineales de cauce con el área total de la cuenca. Este cálculo se realiza dividiendo la longitud acumulada de corrientes entre el área total de la cuenca.

## Radio de longitud medio

Cuadro 7: Radio de longitud medio

<b>Radio de longitud medio (RI)</b>			
Orden	Sumatoria	Longitud Media (km)	Relación
1	164	4.26	-
2	90	3.15	0.74
3	26	3.39	1.08
4	33	1.73	0.51
Total	313	12.53	2.32
RI	0.77		

Fuente: Elaboración propia

El cálculo de RI se realiza calculando el promedio de la relación entre la longitud de corrientes de orden superior y la del orden inferior. Este valor indica que a cada 9.65 *km* ( $0.77 \times 3.42 \text{ km}$ ) hay una bifurcación en la corriente.

## Radio de bifurcación medio

Cuadro 8: Radio de bifurcación medio

<b>Radio de bifurcación medio (Rbi)</b>		
Orden	Sumatoria	Relación Rbi
1	164	-
2	90	1.82
3	26	3.46
4	33	0.79
TOTAL	313	6.07
<b>Rbi</b>	2.02	

Fuente: Elaboración propia

El radio de bifurcación medio representa la relación entre la cantidad de corrientes de un orden específico y el del orden superior siguiente. Este cálculo se realiza dividiendo el número de corrientes de orden *u* entre el número de corrientes de orden superior. El valor obtenido para este estudio indica que por cada dos corrientes, hay una corriente de orden superior.

## Pendiente media del cauce principal

Cuadro 9: Pendiente media del cauce principal

Pendiente media del cauce principal		
Cuenca	$\Delta H$ (m)	L cauce principal (m)
Ocosito	2386.00	122538.00
TOTAL	1.95 %	

Fuente: Elaboración propia

La pendiente media de la cuenca se clasifica como suave. Esta característica reduce la probabilidad que la cuenca sufra derrumbes e inundaciones. El cálculo de la pendiente media del cauce principal se calculó dividiendo la cota más alta de la cuenca entre el largo total del cauce principal.

## Relación circular

Cuadro 10: Razón de elongación

Razón de elongación		
Cuenca	Área ( $km^2$ )	Perímetro (km)
Ocosito	2098.42	211.00
RC	0.59	

Fuente: Elaboración propia

El valor obtenido en este cuadro indica que la cuenca tiene una forma ovalada, pues esta cifra es menor a 1. La relación circular de la cuenca se calculó por medio de la ecuación  $R_c$ , en la que A representa el área total y P el perímetro de la cuenca.

$$R_c = \frac{4 * \pi * A}{P^2}$$

## Factor de forma

Cuadro 11: Factor de forma de Horton

Factor de forma de Horton		
Cuenca	Área ( $km^2$ )	Línea transversal (km)
Ocosito	2098.42	70.00
KF	0.43	
Forma de la cuenca	Ni alargada ni ensanchada	

Fuente: Elaboración propia

El cálculo presentado en el Cuadro 11 indica la forma de la cuenca. La cuenca Ocosito, como se observa en la Figura 14, no es alargada ni ensanchada. Este cálculo se realizó por medio de la relación entre el área y el cuadrado de la longitud total de la cuenca.

### Índice de compacidad

Cuadro 12: Índice de compacidad

<b>Índice de compacidad</b>		
Cuenca	Área ( $km^2$ )	Perímetro (km)
Ocosito	2098.42	211.00
KC	1.30	

Fuente: Elaboración propia

El índice de compacidad corresponde al parámetro para conocer la susceptibilidad de la cuenca a la ocurrencia de inundaciones. El valor obtenido para la cuenca Ocosito es mayor a 1, lo cual representa un área con probabilidad media al acontecimiento de inundaciones. En la Figura 12 se representan las áreas de la cuenca con mayor posibilidad de ocurrencia a estos accidentes hidrológicos. Este índice se calculó por medio de la siguiente ecuación:

$$K_c = \frac{P_k}{\sqrt{2 * \pi * A_k}}$$

### Pendiente media

Cuadro 13: Pendiente media

<b>Pendiente media</b>		
Cuenca	$\Delta H(km)$	Línea transversal (km)
Ocosito	3.35	70.00
TOTAL	4.79 %	

Fuente: Elaboración propia

La pendiente media de la cuenca se obtiene realizando la relación entre dentro de la cuenca se clasifica como suave. Este calculo se obtiene por medio de la división entre la altura media en la que se encuentra la cuenca y la longitud.

## Altura media de la cuenca según curvas de nivel

Cuadro 14: Altura media

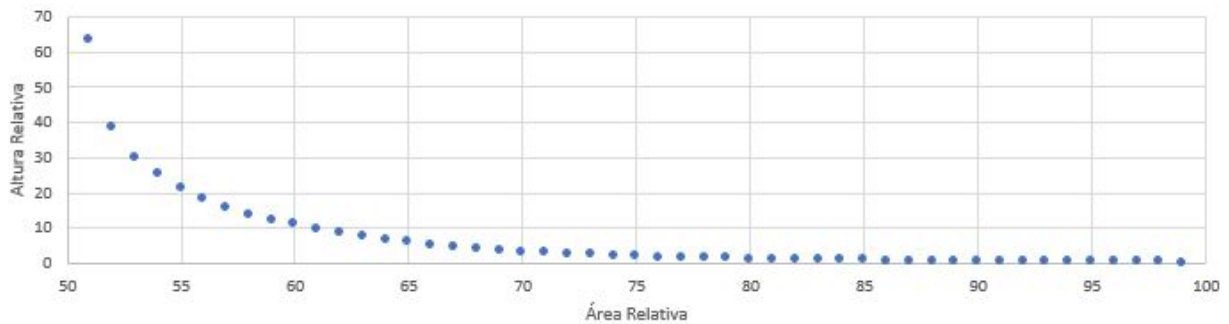
Altura media de la cuenca	
Cuenca	Promedio cotas curvas de nivel a 50m (m)
Ocosito	332.27

Fuente: Elaboración propia

La altura obtenida se obtuvo de realizar un promedio entre las cotas de las curvas de nivel a cada 50 m.

## Curva hipsométrica

Figura 15: Curva hipsométrica



Fuente: Elaboración propia

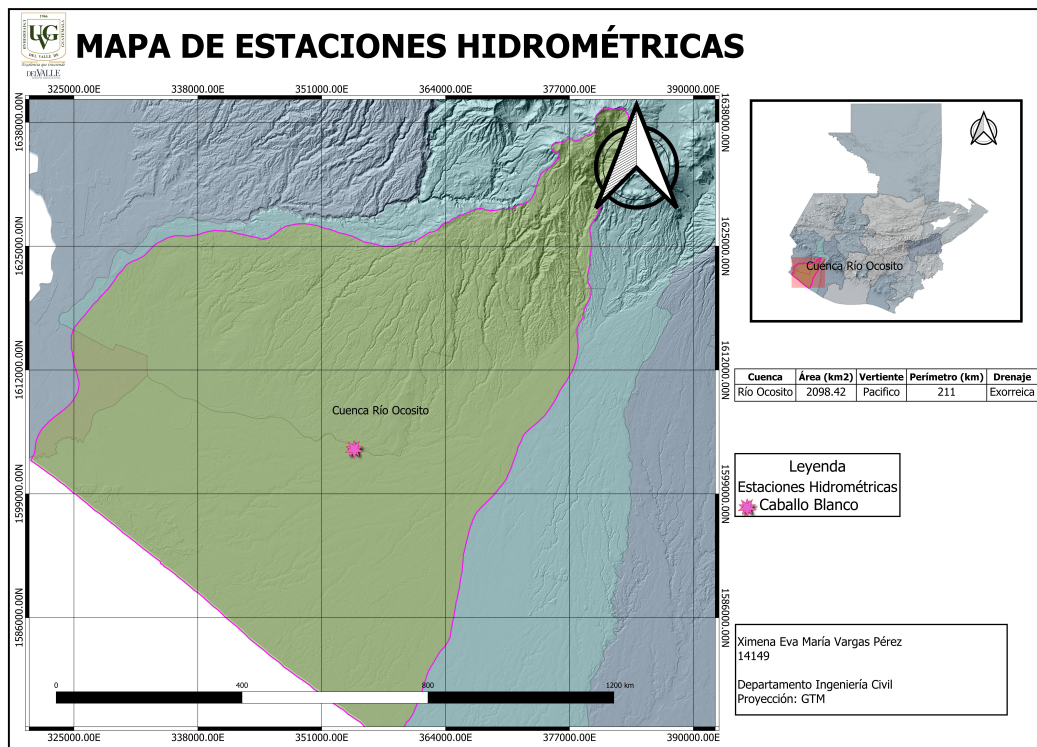
La curva hipsométrica indica la distribución de masa en la cuenca desde arriba hacia abajo. Por medio del análisis de esta curva se determina que la cuenca de estudio es sedimentaria y se encuentra en fase de vejez.

## 5.5. Caracterización biofísica

### 5.5.1. Características climáticas

Dentro de la cuenca se identificaron siete estaciones de diferentes instituciones locales (CONAGUA, INSIVUMEH y Anacafé). Tres de las estaciones están situadas en el departamento de Quetzaltenango y cuatro en Retalhuleu, estas están presentadas en la Figura 29, en el mapa de estaciones meteorológicas. Utilizando datos recopilados de INSIVUMEH, se realizó un análisis climático de los últimos cinco años. La información analizada se observa en la Figura 26 "Mapa de Temperatura". Como se observa, el clima en el área de análisis es templado, con una oscilación de temperatura entre 9°C y 28°C. Esta temperatura es apta para la siembra de cultivos de trigo, maíz, papa, frutos (manzana, durazno, pera), caña de azúcar, banano, café, algodón, frijol, maní, entre otros. Las áreas más calientes son las más cercanas a la costa y con menos pendiente. Se identificó una estación hidrométrica en el departamento de Retalhuleu. La estación está presentada en la Figura 16.

Figura 16: Mapa de estaciones hidrométricas

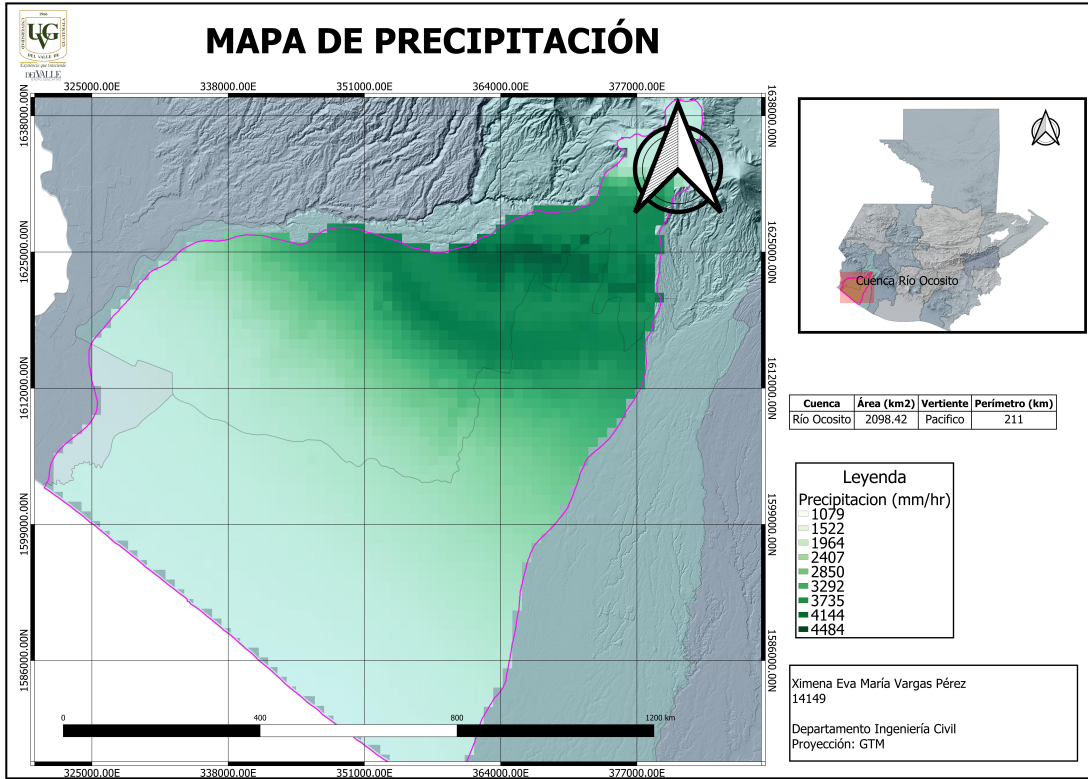


Fuente: Elaboración propia

Muchas familias, especialmente en la parte baja de la parte media y baja de la cuenca, realizan cultivos de granos básicos y hortalizas para auto-consumo [23]. Es importante enfocarse específicamente en el manejo adecuado de suelos en estas áreas para asegurar que la tierra siga siendo apta para siembra.

La precipitación en el área más alta de la cuenca es de  $4484 \frac{mm}{hr}$  y en el área más baja, de  $1079 \frac{mm}{hr}$  con una media de  $2850 \frac{mm}{hr}$ . Se generó el mapa de precipitación, en el que se diferencia en nueve categorías. El color más oscuro corresponde a los lugares dentro de la cuenca con mayor precipitación la intensidad del color se reduce conforme la precipitación disminuye. A continuación se presenta el mapa descrito.

Figura 17: Mapa de precipitación

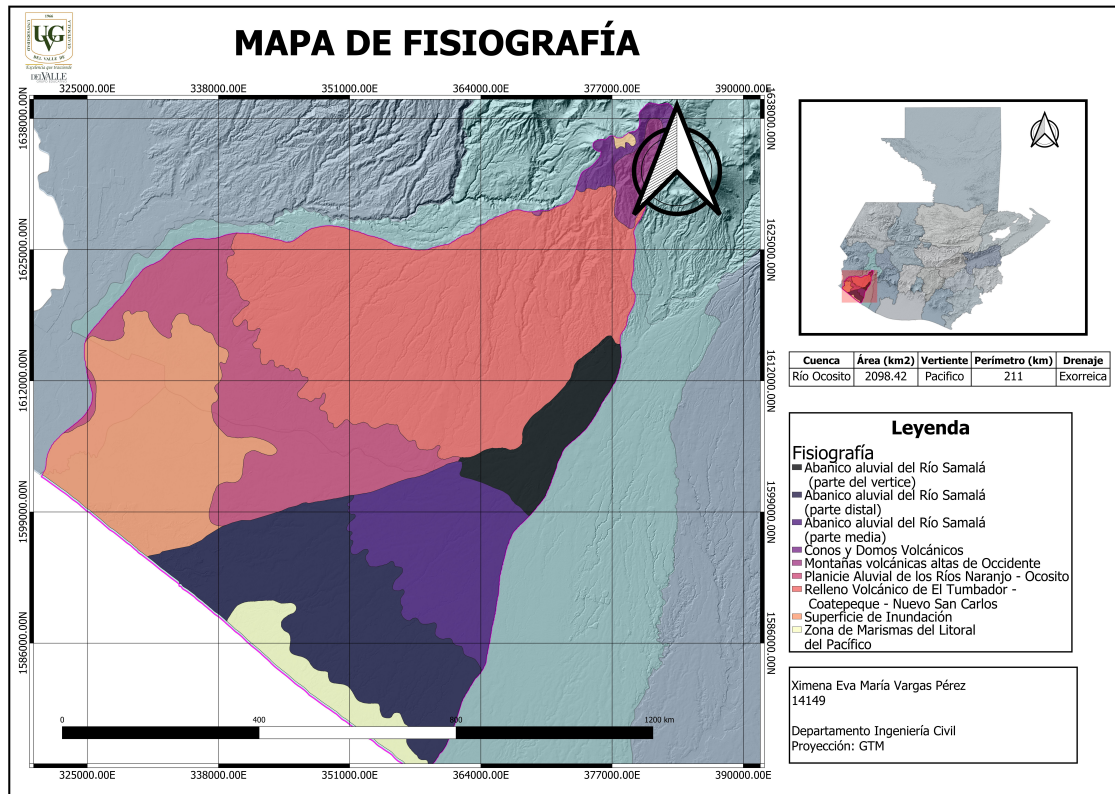


Fuente: Elaboración propia

### 5.5.2. Fisiografía

La Figura 18 representa la fisiografía de la cuenca Ocosito. Los accidentes geográficos que conforman la cuenca. La mayor parte de terreno de la cuenca es planicie aluvial de los ríos Ocosito, Samalá y Naranjo. En la parte más baja de la cuenca hay una superficie que es propensa a inundación.

Figura 18: Mapa de fisiografía

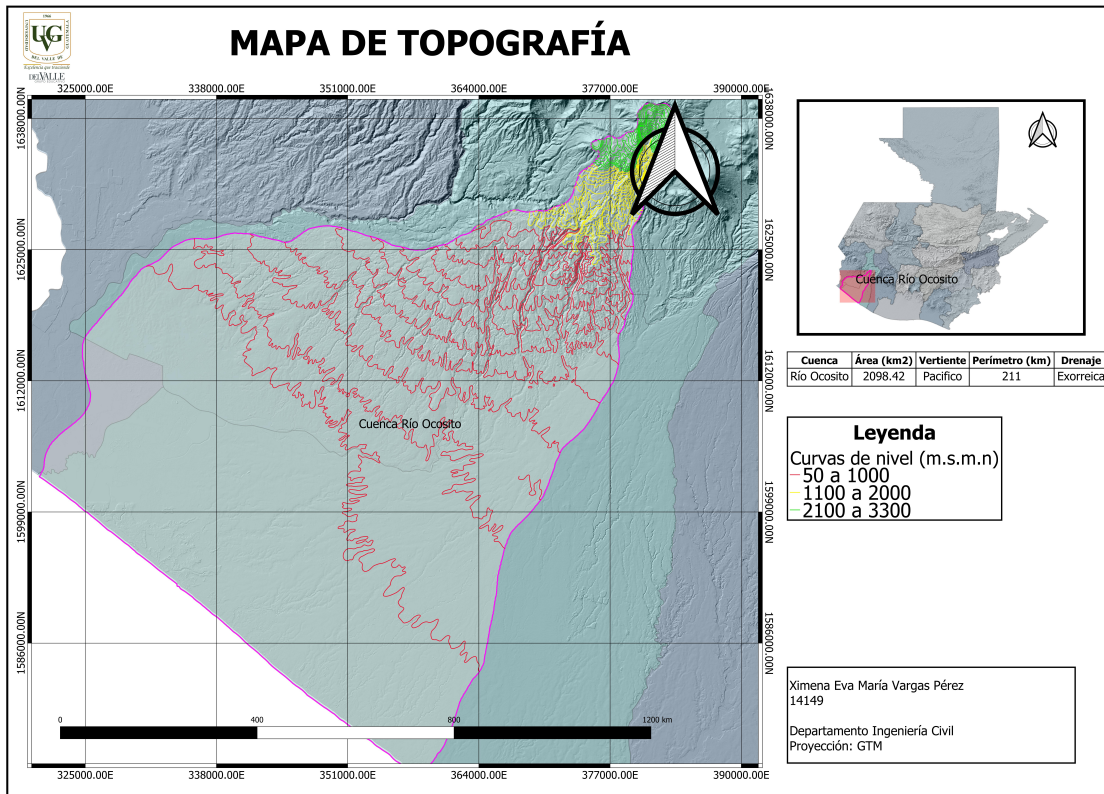


Fuente: Elaboración propia

### 5.5.3. Topografía

Para la generación de este mapa, se dibujaron las curvas de nivel a cada 100m para observar relieve del área de estudio. La Figura 19 simboliza el mapa topográfico de la cuenca Ocosito. Las curvas están divididas en tres grupos, el primero constituye al área en el que la altura sobre el nivel del mar está entre 50 y 1000m.s.n.m, el segundo oscila entre 1100 a 2000m.s.n.m y el último de 2100 a 3300m.s.n.m. La mayoría de la superficie que conforma la cuenca Ocosito está a un promedio de 1000m.s.n.m. El tipo de topografía en el área de estudio y mayoritariamente fuertemente ondulada y escarpada.

Figura 19: Mapa de topografía



Fuente: Elaboración propia

### 5.5.4. Geología

En la cuenca del río Ocosito el material geológico predominante es de aluviones cuaternarios (rocas sedimentarias), esto corresponde al 61 %. El resto de la composición geológica es de rocas ígneas y metamórficas. Las rocas ígneas de la región constituyen a rellenos y cubiertas gruesas de cenizas pómez de diversos orígenes. La distribución de los tipos de rocas que hay dentro de la cuenca se observa en la Figura 27.

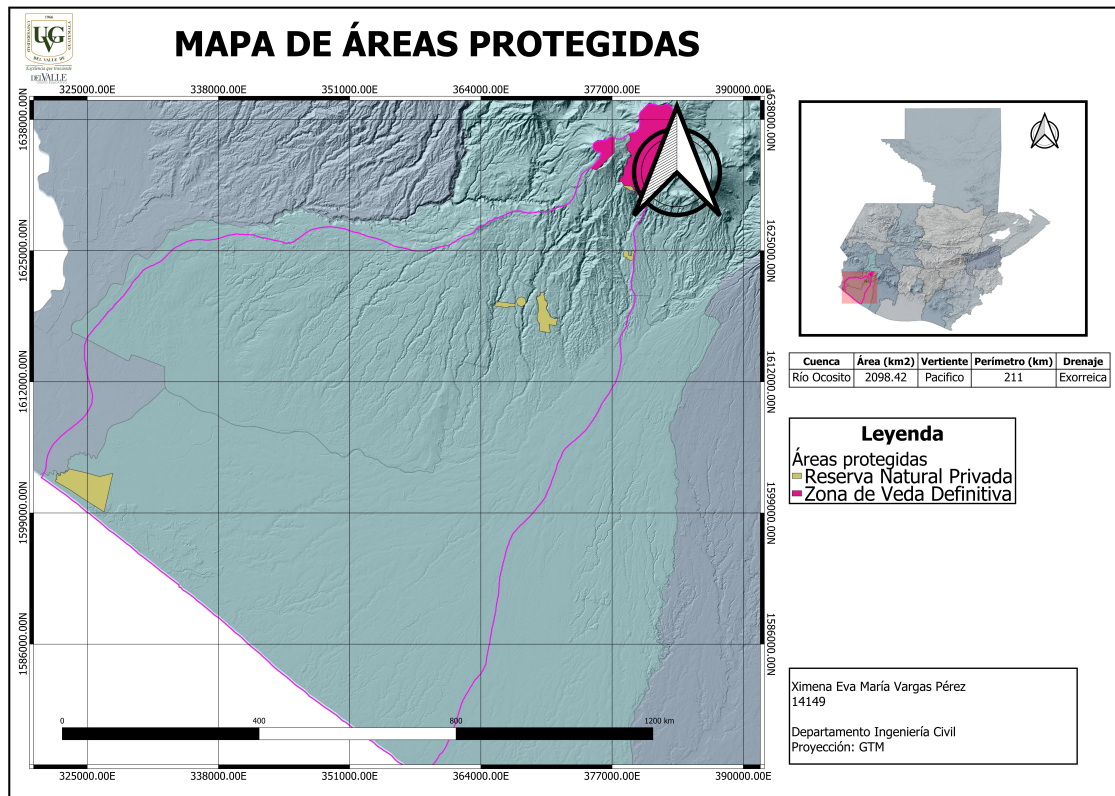
### 5.5.5. Erosión

En la Figura 30 se observan los resultados obtenidos del análisis de erosión. De la parte media hasta la parte más alta de la cuenca es en donde el suelo tiene mayor erosión. En las regiones cercanas a los volcanes Santiaguito y Santa María, se encuentra también un valor alto de erosión debido a las erupciones. El valor máximo detectado de erosión dentro de la cuenca es de  $100 \frac{ton}{ha}$ , pero el promedio anual dentro de la cuenca es menor a 10. Los valores detectados de erosión dentro de la región disminuyen realizando mejoramiento en las prácticas de conservación.

### 5.5.6. Biodiversidad

Dentro del área de estudio fueron identificadas dos categorías de áreas protegidas. Como se observa en la Figura 20, hay reservas naturales privadas y zonas de veda definitivas. Entre las zonas de veda están los volcanes de Chicabal y Siete Orejas. Asimismo, se encuentran parques regionales municipales y reservas naturales privadas que también están protegidas. Dentro de la cuenca habitan animales que están en peligro de extinción, como el venado cola blanca, la culebra cascabel, lechuza, tecolote e iguana verde.

Figura 20: Mapa de áreas protegidas



Fuente: Elaboración propia

## 5.6. Caracterización socio-económica

### 5.6.1. División política

La cuenca Ocosito está ubicada en los departamentos de Quetzaltenango, Retalhuleu y San Marcos. La superficie de la cuenca está especificada en los municipios descritos en el siguiente cuadro. La división de la cuenca según municipio se observa en la Figura 33. Dentro de la cuenca se encuentran nueve cabeceras de los catorce municipios. El municipio con más área dentro de la cuenca Ocosito es Retalhuleu, seguidamente de Coatepeque y Champerico.

Cuadro 15: División política cuenca Ocosito

Departamento	Municipio	Porcentaje área cuenca (%)
<b>Quetzaltenango</b>	Coatepeque	14.77
	Colomba	7.26
	El Palmar	6.21
	Flores Costa Cuca	2.56
	Génova	5.94
	Quetzaltenango	4.48
	San Martín Sacatepéquez	5.07
<b>Retalhuleu</b>	Champerico	11.57
	El Asintal	3.30
	Nuevo San Carlos	3.05
	Retalhuleu	28.52
	San Felipe Retalhuleu	1.29
	San Sebastián.	0.62
<b>San Marcos</b>	Ocós	5.36

Fuente: Elaboración propia

## 5.6.2. Población

Cuadro 16: Población cuenca Ocosito

Departamento	Municipio	Población 2002	Población 2018
Quetzaltenango	Coatepeque	87651	94391
	Colomba	25869	27858
	El Palmar	5095	5487
	Flores Costa Cuca	20208	21762
	Génova	30385	32721
	San Martín Sacatepéquez	1709	1840
Retalhuleu	Champerico	23252	25040
	El Asintal	25893	27884
	Nuevo San Carlos	27095	29178
	Retalhuleu	59607	64190
	San Felipe Retalhuleu	22	28
	San Sebastián	8443	9092
San Marcos	Ocós	9899	10660
	<b>Total</b>	<b>325128</b>	<b>350131</b>

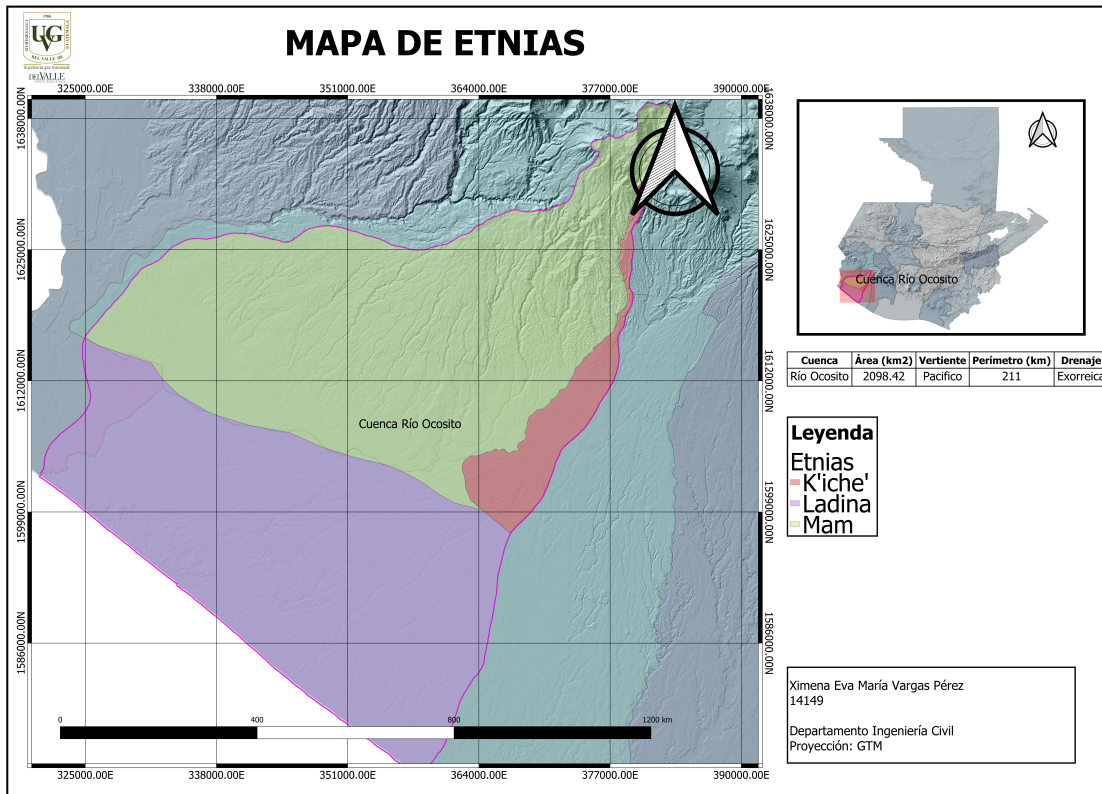
Fuente: Elaboración propia

En este cuadro se observa la población de cada municipio que se encuentra en la cuenca Ocosito. Actualmente habitan 25000 más que en el año 2002. Este valor equivale a al 2.35 %.

### 5.6.3. Etnias

La población que habita en la cuenca Ocosito es clasificable según etnia. Dentro de la cuenca habitan tres etnias: Mam, Ladina y K'iche'. Como se observa en la Figura 21, la mayor parte de la población es mam.

Figura 21: Mapa de etnias



Fuente: Elaboración propia

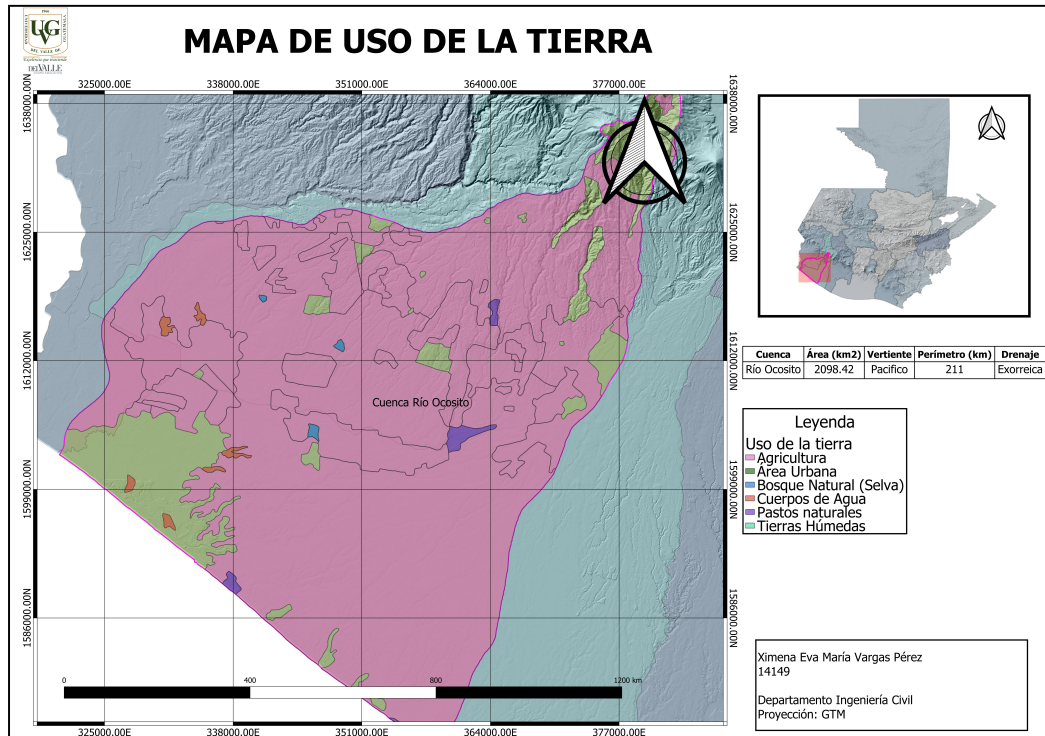
### 5.6.4. Nivel de ingresos económicos

Según datos del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, más del 50 % se dedica a la actividad agrícola, de este dato, una pequeña porción cuenta con propiedades para realizar la actividad y los demás son empleados.

La producción de plantaciones son en su mayoría destinadas para consumo en los hogares, para venta en mercados regionales. La mayoría de familias que se dedica a la agricultura tiene ingresos por debajo del salario mínimo.

Se estima que el salario por jornada laboral está entre Q20 y Q60. Este valor no es suficiente para cubrir el costo de la canasta básica para una familia. Como se observa en la Figura 22, el principal uso de la tierra es para fines de agricultura [24].

Figura 22: Mapa de uso de la tierra



Fuente: Elaboración propia

### 5.6.5. Educación

En la Figura 34 están representados los centros educativos dentro de la cuenca. Hay cuatro tipos de centro educativo dentro de este análisis: ciclo básico, ciclo diversificado, pre-primaria párvulos, primaria de niños y primaria de adultos. Hay solo diez centros educativos de ciclo básico dentro de la cuenca lo cual es un dato alarmante, pues dentro de esta, habitan alrededor de 350000 personas.

Según datos del INE, menos del 3% de la población tiene nivel de educación diversificado, alrededor de 5.21% nivel de básico, 11.81% nivel primaria y 7.25% nivel pre-primaria.

La eficiencia de los estudiantes de instituciones públicas depende de las condiciones del establecimiento. Según resultados del MINEDUC, muchas de las instalaciones de este sector, no cuentan con las condiciones adecuadas hacia sus estudiantes, por lo que el nivel de escolaridad es deficiente [25].

### 5.6.6. Idiomas

En Guatemala se hablan actualmente 22 idiomas, de los cuales se hablan 7 dentro de la cuenca de estudio. Los idiomas que se hablan dentro de la cuenca son: K'ique, Kaqchiquel, Mam, Q'anjobal, Ixil, Chuj y Español [25].

### 5.6.7. Tenencia de la tierra

El coeficiente de Gini representa la desigualdad de la tenencia de tierra dentro de la cuenca. La desigualdad de tenencia de tierras dentro del área de interés es evidente en el Cuadro 17. Mientras más cercano es el valor a 1, mayor la desigualdad. En los tres departamentos en los que se encuentra la cuenca, el coeficiente se encuentra cercano a 1. La desigualdad en este caso se da debido a que pocos grupos de personas son dueños de grandes extensiones de tierra.

Cuadro 17: Índice de Gini

Departamento	Municipio	Índice de Gini	Promedio Gini
<b>San Marcos</b>	Retalhuleu	0.91	0.88
	Champerico	0.88	
	El Asintal	0.89	
	Nuevo San Carlos	0.9	
	San Sebastián	0.79	
	San Felipe	0.9	
<b>Quetzaltenango</b>	San Mateo	-	0.9
	Concepción Chiquirichapa	-	
	San Martín Sacatepéquez	0.81	
	Colomba	0.91	
	Coatepeque	0.92	
	Flores Costa Cuca	0.93	
	Génova	0.89	
	El Palmar	0.93	
<b>San Marcos</b>	Ocós	0.64	0.64

[10]

### 5.6.8. Servicio de agua y saneamiento básico

Al rededor del 55% de la población que habita en la cuenca Ocosito no tiene acceso a agua potable y el 41% no tiene acceso a saneamiento básico. Esta inaccesibilidad obstaculiza el acceso a necesidades sanitarias básicas. Como se observa en el Cuadro 18, ninguno de los municipios dentro de la cuenca tiene acceso al agua potable en todo su territorio.

Cuadro 18: Servicio de agua y saneamiento básico

Departamento	Municipio	Agua potable (%)	Saneamiento básico (%)
Quetzaltenango	Coatepeque	46.9	43
	Colomba	45	28
	El Palmar	55	28
	Flores Costa Cuca	55	28
	Génova	32.15	48.8
	Quetzaltenango	95	92
	San Martín Sacatepéquez	94.6	35.5
Retalhuleu	Champerico	44	40.5
	El Asintal	34.6	9
	Nuevo San Carlos	57	14.8
	Retalhuleu	51.49	49.9
	San Felipe Retalhuleu	88.1	0
	San Sebastián	62.9	55.8
San Marcos	Ocós	29.6	19.3

Fuente: Elaboración propia

### 5.6.9. Servicio y sanidad pública

Según informe sobre mortalidad realizado por el Centro Nacional de Epidemiología (CNE), la principal causa de mortalidad en Guatemala es neumonía. En el Cuadro 19 se observa que la tasa de mortalidad relacionada a diarrea también es bastante alta. Ambas causas se relacionan con la calidad del agua y hábitos de higiene [10].

Cuadro 19: Mortalidad en Guatemala

<b>Causa de mortalidad</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Neumonía	20.1
Diabetes	15.17
Infarto agudo	12.2
Insuficiencia renal crónica	10.2
Diarrea	9
Insuficiencia cardiaca	8.9
Exposición a factor no específico	8.37
Fibrosis y cirrosis del hígado	7.35
Desnutrición	6.8
Accidente vascular encefálico	6.37

Fuente: Elaboración propia

### 5.6.10. Servicio de deshechos sólidos

Al rededor de un 65 % de la población que habita en la cuenca no cuenta con condiciones sanitarias y de limpieza en sus hogares. En la mayoría de casos, las personas hacen uso de letrinas o fosas sépticas que están en mal estado. El Cuadro 20 indica la ubicación donde son depositados los deshechos sólidos en cada municipio. Los municipios que cuentan con basureros municipales no tienen un correcto manejo de desechos, lo cual representa más contaminación para los recursos hídricos de la cuenca. Es necesario una reubicación y en casos, creación de basureros municipales y manejo adecuado de deshechos [22].

Cuadro 20: Servicio de deshechos sólidos

<b>Departamento</b>	<b>Municipio</b>	<b>Deshechos sólidos</b>
Quetzaltenango	Coatepeque	Basureros clandestinos
	Colomba	Basureros clandestinos
	El Palmar	Basureros clandestinos
	Flores Costa Cuca	Basureros clandestinos
	Génova	Basureros clandestinos
	San Martín Sacatepéquez	Basurero municipal
Retalhuleu	Champerico	Basurero municipal
	El Asintal	Basurero municipal
	Nuevo San Carlos	Basurero municipal
	Retalhuleu	Basurero municipal
	San Felipe Retalhuleu	Basurero municipal
	San Sebastián	-
San Marcos	Ocos	Basureros clandestinos

Fuente: Elaboración propia

### 5.6.11. Organización social

La organización de cada municipio está constituida por un alcalde, síndicos y concejales los cuales son electos por la población de cada municipio. Además, se cuenta con un Consejo Comunitario de Desarrollo (COCODE) que está conformado por representantes comunitarios de cada municipio. Los miembros del COCODE participan en el sistema de Consejo Municipal de Desarrollo (COMUDE). El COMUDE, conformado por miembros del COCODE, miembros de entidades públicas (Centro de Salud, Comité nacional de alfabetización, Policía Nacional Civil y Registro Nacional de las Personas) tiene como objetivo proponer políticas, planes, programas y proyectos relacionados a las necesidades de la población [26]. Esta organización se utilizó para conformar a los miembros del comité de cuencas, representado en la Figura 24.

## 5.7. Zonificación territorial

La zonificación territorial tiene como objetivo identificar los usos que se le dan a la tierra, lo lugares poblados, las zonas de vida y las zonas de riesgo por inundación y deslizamiento. A continuación se presentan los resultados obtenidos del análisis para posteriormente proponer las líneas base de la guía [27].

### 5.7.1. Zonas de vida

La cuenca de estudio es clasificable según zonas de vida. Se observa en la Figura 31 que dentro de la cuenca existen cuatro zonas: bosque muy húmedo montano bajo, bosque muy húmedo/cálido, bosque húmedo/cálido y bosque seco. La zona tipo bosque muy húmedo subtropical, ubicada en la parte más alta de la cuenca, se distingue por tener una topografía accidentada, poseer bosques de ciprés, y ser apta para la siembra de trigo, maíz, papas, habas, y árboles frutales (manzana, pera, durazno). La zona de vida categorizada bosque muy húmedo subtropical, es la zona que representa la mayor área de la cuenca. Esta zona posee una topografía plana principalmente y su composición es la más rica en términos florísticos.

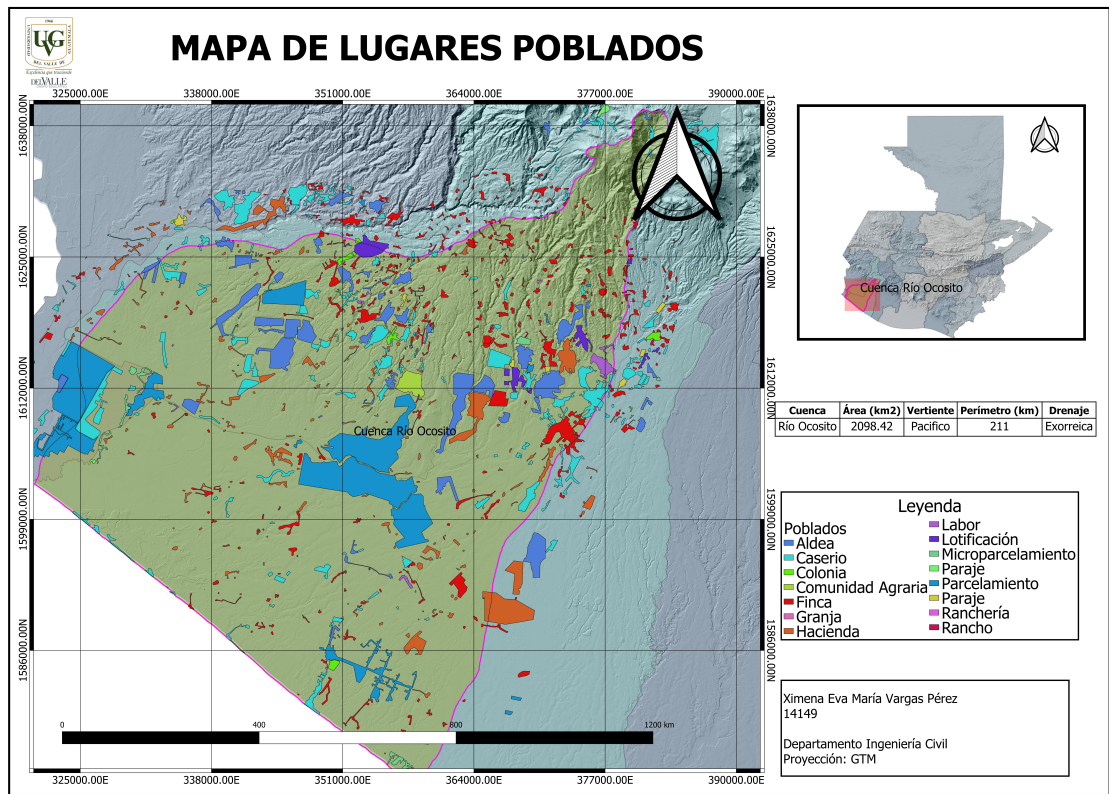
Los principales cultivos dentro del área son: caña de azúcar, banano, café, hule, cacao, cítricos, maíz, frijol y arroz. La segunda zona más extensa corresponde a un bosque un poco menos húmedo que el anteriormente descrito pero con mayores temperaturas registradas. Esta zona posee una topografía suave y su principal siembra es de algodón. Además, se categoriza por tener condiciones óptimas para la crianza y engorde de ganado bovino. La cuarta zona de vida encontrada en el área de estudio es un bosque seco subtropical. La topografía en esta zona es plana a ligeramente accidentada. El suelo en esta área es fértil para la siembra de caña de azúcar, frijol, maní, melón, sandía, tomate, yuca, mango, tabaco, entre otros.

### 5.7.2. Lugares poblados

Los tipos de vivienda dentro de la cuenca se categorizan en aldea, caserío, ciudad, colonia, finca, granja, hacienda, pueblo, entre otras. En la Figura 23 se representa la división de la cuenca según los lugares poblados dentro de ella. Como se observa, la mayor parte del área de la cuenca se categoriza como aldeas, seguidamente como parcelamiento, fincas y haciendas.

El mayor número de habitantes de la cuenca se encuentra concentrada en la parte media y alta, esto se contempla en la Figura 23. En la parte baja hay una menor concentración de lugares poblados y por lo tanto, habitantes.

Figura 23: Mapa de lugares poblados



Fuente: Elaboración propia

### 5.7.3. Uso de la tierra

Se encontraron ocho tipos de suelo dentro de la cuenca de estudio. Principalmente, el tipo de suelo dentro de la cuenca es arena. En la Figura 35 se ve la distribución de la cuenca según el tipo de suelo. En algunas parte de la cuenca se encuentra arcilla, pero principalmente el tipo de suelo es arena de diferentes tipos.

La mayor parte del suelo de la cuenca se utiliza actualmente para la agricultura. En la Figura 22 se especifica el uso que se le da al suelo de la cuenca. El cultivo más sembrado en la región es el plátano seguidamente del banano, café, cacao, maíz y ajonjolí.

#### 5.7.4. Zonas de riesgo por inundación y deslizamientos

Dentro de la cuenca, las amenazas naturales que ocurren con más frecuencia son los deslizamientos y las inundaciones. La Figura 13 simboliza la probabilidad de ocurrencia de un accidente de deslizamiento. Debido a que la topografía del terreno es fuertemente ondulada y escarpada, la mayor parte de la cuenca no tiene riesgo de deslizamientos. Existe una probabilidad grande de deslizamiento en la parte con mayor erosión de la cuenca, situada en el departamento de Quetzaltenango.

La Figura 12 representa la probabilidad de que ocurra una inundación dentro de la cuenca. La categorización se divide en cuatro grupos: probabilidad muy alta, probabilidad alta, probabilidad media, y probabilidad baja. La parte alta y media de la cuenca presentan una baja probabilidad de inundación. Las áreas cercanas al cauce principal, río Ocosito, son las que presentan una alta probabilidad de inundaciones. La última inundación en esta zona ocurrió en el año 2011. La mayor parte de inundaciones presentadas en la cuenca son de tipo inundación fluvial, originadas por la crecida del río Ocosito. Durante el invierno también ocurren inundaciones de tipo inundación pluvial debido a fuertes lluvias.

### 5.8. Línea base

La línea base de la gestión sostenible de recursos hídricos incluye indicadores para evaluar la relación entre factores socioeconómicos y biológicos. A continuación se presentan algunos de los indicadores de potencialidades y defectos que se encontraron en la caracterización de la cuenca con sus elementos de análisis [27].

Cuadro 21: Líneas base

<b>Indicador</b>	<b>Elemento para realizar análisis</b>
Cantidad de agua	Medir el aforo de la cuenca en diferentes partes para conocer caudales y oferta hídrica
Calidad de agua	Demanda bioquímica de oxígeno Concentración de sedimentos Demanda química de oxígeno
Áreas afectadas por inundaciones	Detección de vulnerabilidad de terrenos Protección de taludes
Áreas afectadas por deslizamientos	Estabilidad de terrenos y pendientes Protección de taludes Protección del suelo
Calidad del suelo	Identificar tipos de cultivos en diferentes partes para conocer fertilidad del suelo

Fuente: Elaboración propia

## 5.9. Propuesta de estructura del plan y horizonte temporal

La estructura del plan consiste en los proyectos que tienen como objetivo combatir los problemas existentes que enfrenta la cuenca. Esta estructura se presenta en forma de proyectos en base a las líneas de acción previamente definidas.

Línea de acción: Aprovechamiento múltiple del agua

### 1. Sistemas de riego y miniriego

- **Objetivo:** Creación de proyectos de riego para el aprovechamiento del agua de los cauces del río Ocosito
- **Descripción:** Este proyecto consiste en evaluar las áreas potenciales y los cultivos adecuados para el riego y el miniriego. Las hortalizas son cultivos apropiados para este proyecto. La meta de este plan es a mediano plazo y es consecuente del mejoramiento de la calidad del agua por medio del tratamiento de las aguas residuales originadas en la cuenca.

Los métodos de riego por goteo muestran un funcionamiento eficiente y sustituyen y complementan al método de aspersión. El sistema de riego por aspersión durante la época seca requiere de  $0.62 \frac{l}{s*ha}$ , mientras que el de goteo  $0.47 \frac{l}{s*ha}$ . Este método contribuye a la economía y a la pirámide alimenticia de los habitantes de la cuenca. La demanda de producción de alimentos es directamente proporcional al crecimiento poblacional, por lo que este proyecto influye positivamente en el desarrollo de los agricultores.

Los agricultores y cooperativas agrícolas son los encargados de manejar estos proyectos.

- **Resultados:** Estudio factibilidad, 300 hectáreas bajo riego.
- **Beneficiarios:** El 50 % de la población de la cuenca se dedica a la agricultura, por lo que los beneficiarios serían más de 500 familias.
- **Duración:** La propuesta es de mediano a largo plazo, por lo que se se plantea que este proyecto tome 10 años desde la decisión de elaboración.

### 2. Impulsión del sistema de generación de energía renovable

- **Objetivo:** Potenciar el aprovechamiento de recursos hídricos para creación de hidroeléctricas, granjas de energía solar y eólica.
- **Descripción:** Evaluar los posibles sitios en donde exista en potencial de generación suficiente dependiendo del tipo de energía renovable. Se debe generar estudio de factibilidad y posteriormente construir plantas.
- **Productos:** Casas de máquina de turbinas para generación hidroeléctrica, retícula de paneles solares, turbinas de generación eólica y respectivos departamentos de servicio técnico (reparación y mantenimiento)
- **Beneficiarios:** Usuarios de la cuenca en general, usuarios de cuencas vecinas y miembros de la iniciativa privada que quieran invertir en proyectos de producción energética.
- **Duración:** El estudio de factibilidad se estima que tome 3 años y la creación de las plantas se aproxima que tome 8 años.

Línea de acción: Regulación artificial y natural del agua en la cuenca del Río Ocosito

1. Diseño y construcción de embalses

- Objetivo: Crear proyectos de embalses para regular escorrentía en la cuenca
- Descripción: Este proyecto tiene como propósito evaluar y identificar zonas potenciales para el diseño de embalses. Esto con el fin de aprovechar el agua de lluvia en zonas donde se presente riesgo por inundación (parte baja de la cuenca).
- Productos: Embalses excavados, superficiales y elevados cuyas dimensiones depende del área a abastecer.
- Beneficiarios: Habitantes de la parte baja de la cuenca y de cuencas vecinas
- Duración: La selección de zonas para embalses toma 3 meses y la construcción de embalses 1 año.

Línea de acción: Manejo de aguas residuales y pluviales

1. Administración de la demanda y oferta de los sistemas existentes de agua potable

- Objetivo: Crear un sistema de agua potable capaz de responder a las demandas pico de la población de la cuenca Ocosito
- Descripción: Esta propuesta tiene como objetivo generar una administración eficiente de los sistemas de agua potable. Asimismo, mejorar la calidad y estabilidad del sistema de distribución.
- Productos: Evaluación de sistemas existentes de abastecimiento de agua, diseño del sistema de colectores de alcantarillado y su pozos de visita
- Beneficiarios: El 55 % de la población de la cuenca que actualmente no tiene acceso a agua potable y el 41 % que no tiene acceso a saneamiento básico.
- Duración: La evaluación y construcción se estima que dure 6 años.

2. Manejo de aguas residuales en área urbana

- Objetivo: Proponer proyectos de tratamiento de las aguas residuales del área urbana de la cuenca Ocosito para el mejoramiento de la calidad de los recursos hídricos de la cuenca y disminuir la contaminación de aguas superficiales y subterráneas.
- Descripción: Este proyecto consiste en identificar y evaluar las plantas de tratamiento existentes en los departamento de Quetzaltenango, Retalhuleu y San Marcos. Asimismo, proponer la construcción de al menos una planta de tratamiento por municipio. Todas las plantas de tratamiento tienen que satisfacer las regulaciones del Acuerdo Gubernativo 236-2006 y 129-2015.
- Resultados: Evaluación de PTAR existentes y construcción de una planta de tratamiento por municipio.
- Beneficiarios: Habitantes de toda la cuenca, por medio de las plantas de tratamiento mejora la calidad de los recursos hídricos.
- Duración: Se considera que la construcción de cada PTAR dure 1 año.

### 3. Manejo de aguas pluviales en el área urbana

- **Objetivo:** Crear proyectos para el mejoramiento de las redes pluviales en las áreas urbanas de la cuenca Ocosito con el propósito de evitar inundaciones y daños a la infraestructura vial y viviendas debidas a la escorrentía.
- **Descripción:** En el diagnóstico de la cuenca fueron identificadas las zonas con mayor probabilidad de inundaciones. La red de drenaje pluvial está degradada y en las zonas identificadas es requerida infraestructura para la conducción de escorrentía. Previo a decidir en qué zonas es necesario el manejo de aguas pluviales, es requerida la evaluación de los sistemas de drenaje pluvial.
- **Resultados:** Evaluación de redes existentes y rediseño de redes con deficiencias. Diseño de nuevas redes en áreas de mayor probabilidad de inundaciones.
- **Beneficiarios:** Los beneficiarios directos de este proyecto son los habitantes del área urbana de la cuenca, en este caso el 44.77 %.
- **Duración:** La creación de proyectos para el mejoramiento de las redes pluviales se aproxima que tome 5 años incluyendo el estudio de factibilidad y el mantenimiento de redes existentes.

## 5.10. Organización para la gestión y la implementación del plan

### 5.10.1. Creación del comité de cuencas

La creación de un comité de cuencas es necesaria para contar con un ente representativo de todos los miembros de las comunidades que se abastecen de los recursos hídricos de la cuenca. Este grupo está formado por un grupo diverso de personas, interesadas por la conservación de la cuenca. Dentro del comité existe una junta directiva encargada de la toma de decisiones de alta prioridad. La junta directiva se encarga de incentivar la investigación de problemáticas y de proponer y buscar posibles soluciones. Este ente está comprometido a dar seguimiento a las propuestas y necesidades de cada comunidad, con el objetivo principal de salvaguardar la cuenca Ocosito. La dirección está constituida por un representante por cada departamento, tres consultores, un representante del MARN y cuatro representantes del COMUDE.

Los representantes de las comunidades que residen dentro de la cuenca plasmarán, luego de asambleas locales y grupos focales la problemática a la que se enfrenta cada comunidad y municipio. Posteriormente, el representante de cada municipio, tiene que difundir las necesidades y problemas al resto de los representantes. De esta forma, se proponen posibles soluciones integrales entre los representantes de cada comunidad y encargados de cada municipio. Además, debe haber un representante por departamento, el cual se encargue de plasmar información a municipalidades y crear material para discutir y abarcar en asamblea general, a la cual asistirían representantes de cada municipio, en este caso diez y siete, la junta directiva, que está constituida por cinco representantes, y en la cual deben estar alcaldes de los departamentos, y tres consultores externos que tengan el conocimiento y preparación para generar soluciones que creen impacto y puedan replicarse en problemática similar.

El comité de cuencas se encarga de organizar y llevar a cabo eventos y seminarios a miembros de las comunidades para enfatizar la necesidad de salvaguardar el recurso hídrico de la cuenca por medio de la conscientización y educación. Estas sesiones informativas, plasman la importancia de la inclusión y equidad de género en todos los análisis de problemática y propuestas de soluciones.

El comité de cuencas debe encargarse principalmente de crear planes para prevenir contaminaciones accidentales como vertimiento imprevisto de desechos industriales, entre otros. Este tipo de accidentes puede evitarse por medio de la creación de regulaciones y chequeos a industrias. Otra responsabilidad del comité debe ser la revisión de actuales normativas y también de proponer nuevas leyes que aporten al mejoramiento de la calidad del agua de la cuenca Ocosito. La materia de descarga es una de las principales causas de contaminación, por lo que el comité debe plantear soluciones para combatir este problema [28].

Los miembros del comité son encargados de realizar grupos focales para compartir información, discutir y averiguar temas por tratar. Durante todas las reuniones se debe asignar un consultor de la junta directiva, encargado de sistematizar y archivar avances.

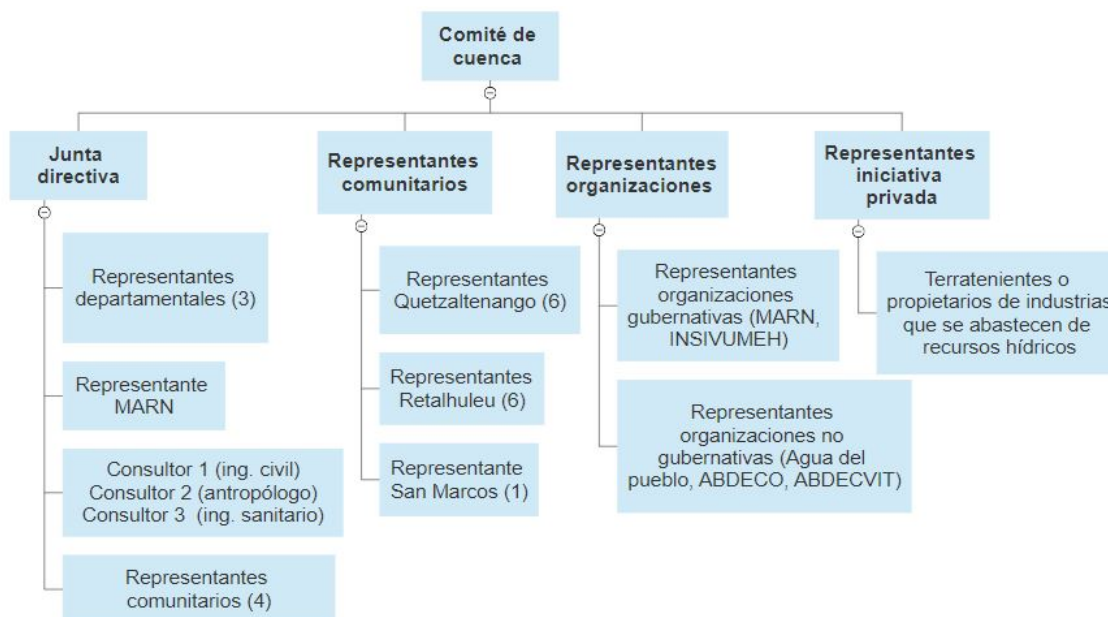
Dentro del comité de cuenca existe una junta directiva, que incluye a un alcalde, a tres investigadores, y a tres representantes de las comunidades, uno por departamento. Los representantes de departamento son elegidos democráticamente y son responsables de difundir información a los demás actores de la cuenca.

El comité no es una organización política, pero su relación con el estado es necesario para agilizar procesos y contar con apoyo en la creación de normativas y posibles leyes locales.

### **5.10.2. Organigrama del comité de cuencas**

El organigrama de la propuesta del comité de cuencas para la cuenca del Río Ocosito se observa en la Figura 24. El consejo está conformado por cuatro grupos. El primero constituye a la junta directiva, este grupo está conformado por un alcalde municipal, tres consultores externos, cuatro representantes comunitarios y un miembro del MARN. Los miembros del comité, están encargados de la clasificación de problemas que enfrentan los actores en la cuenca, según su necesidad, prioridad e inversión. La comisión promueve el intercambio y difusión de la información pública, a través de grupos focales, estudio de población y encuestas.

Figura 24: Comité de cuencas



Fuente: Elaboración propia

El consejo se separa en cuatro poderes:

- La junta directiva, que se compone de los miembros concejales, un alcalde municipal, un representante del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y cuatro actores comunitarios.
- Los representantes de los habitantes en la cuenca, que se compone por un representante por departamento (Quetzaltenango, Retalhuleu y San Marcos), en representación de los municipios y líderes comunitarios.
- Los representantes de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, por ejemplo ONGs con proyectos en el área en instituciones como el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología (INSIVUMEH), Meteorología e Hidrología o el Ministerio de Recursos Naturales (MARN);
- Los representantes del sector privado, incluyendo industrias y terratenientes con un impacto directo en el desarrollo de la cuenca.



- Se elaboró una caracterización morfológica de la cuenca del Río Ocosito siguiendo las líneas del parteaguas; esto para determinar las problemáticas principales de la cuenca y sus principales recursos aprovechables.
- Se generaron mapas temáticos por medio del software QGIS para representar el diagnóstico de la cuenca y establecer proyectos de las líneas de acción de la GASS.
- Se identificaron las etapas para la implementación de la metodología GASS y se propusieron proyectos según a las líneas de acción; las cuales son: Aprovechamiento múltiple del agua, Regulación natural y artificial del agua y Manejo de las aguas residuales y pluviales en el área urbana.
- Se establecieron los lineamientos de la GASS previo a crear la guía metodológica para enfatizar sus enfoques y objetivos.
- Se desarrolló una guía GASS genérica para su aplicación en cualquier cuenca cuyas líneas de acción se basan en los enfoques establecidos para la propuesta de proyectos que enfrenten las problemáticas parecidas a las de la cuenca Ocosito.
- Se propusieron cuatro ejes de representación para la creación del comité de la cuenca, estos son: junta directiva, representantes comunitarios, representantes de organizaciones y representante de la iniciativa privada. Cabe resaltar el énfasis en la participación comunitaria dentro del comité de cuencas y la inclusión tanto de género como de edades.
- Se propusieron a los integrantes de futuros comités de cuencas por medio del análisis realizado y se definieron las funciones de este ente.



### 7.1. Estudiantes

- Comparar información de archivos tipo shape de diferentes años debido a que algunos tienen información desactualizada.
- Realizar trabajo de campo para medir caudales y presentar soluciones a la contaminación de la cuenca.
- Realizar estudios de calidad de agua insitu en diferentes puntos de la cuenca para presentar diagnóstico de la cuenca.
- Organizar reuniones con los COCODES para recopilar información específica de las comunidades.
- Implementar esta guía metodológica en otras cuencas guatemaltecas.

### 7.2. Entidades encargadas

- Se recomienda al comité de cuencas incluir dentro de sus consultores a un ingeniero civil, un antropólogo, un ingeniero sanitario, un ingeniero industrial y/o un biólogo.
- Instalar más estaciones hidrométricas por parte del INSIVUMEH para medir caudales de la cuenca en diferentes zonas de la cuenca.
- Se recomienda al IGN actualizar información sobre datos demográficos, de limitaciones municipales y usos de suelo.
- Se recomienda a la UVG incentivar el desarrollo de investigaciones que involucren la gestión y manejo hídrico en cuencas hidrográficas incorporando a personas de diferentes departamentos.



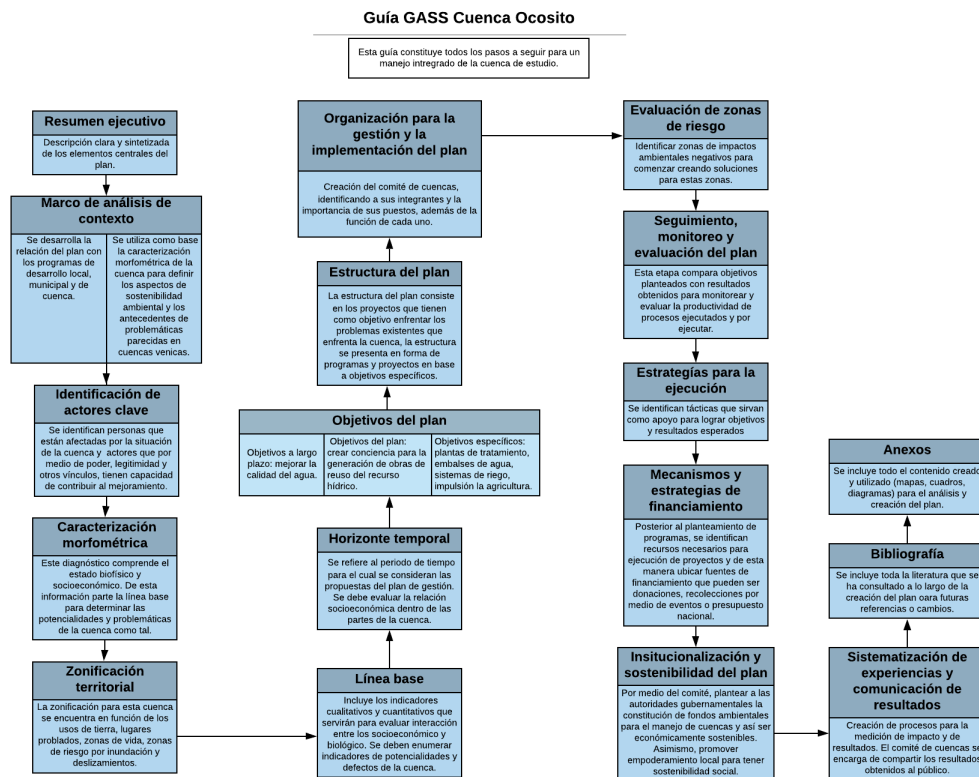
- [1] K. Conradin, “Saneamiento Sostenible”, *SSWM*, 2017. dirección: <http://archive.sswm.info/print/7254?tid=3029>.
- [2] IARNA, “Bases fundamentales para la gestión del agua con visión a largo plazo”, URL, Guatemala, inf. téc., 2015, pág. 81. dirección: [https://www.plazapublica.com.gt/sites/default/files/Balance%7B%5C\\_%7Dhidrologico%7B%5C\\_%7Dsubcuencas.pdf](https://www.plazapublica.com.gt/sites/default/files/Balance%7B%5C_%7Dhidrologico%7B%5C_%7Dsubcuencas.pdf).
- [3] J. Faustino, “Bases Conceptuales del Manejo, Gestión y Cogestión de Cuncas Hidrográficas”, Costa Rica, inf. téc., 2004, pág. 45.
- [4] Sin Autor, *Cuenca Hidrográfica: ¿Qué es?* Dirección: <http://misistemasolar.com/cuenca-hidrografica/> (visitado 11-04-2019).
- [5] M. Villón, *Hidrología*, Primera Ed. Costa Rica, 2004, pág. 474.
- [6] GIFEX, *Cuencas hidrográficas de Guatemala*, 2001. dirección: [https://www.gifex.com/detail/2011-11-23-15007/Cuencas%7B%5C\\_%7Dhidrograficas%7B%5C\\_%7Dde%7B%5C\\_%7DGuatemala%7B%5C\\_%7D2001.html](https://www.gifex.com/detail/2011-11-23-15007/Cuencas%7B%5C_%7Dhidrograficas%7B%5C_%7Dde%7B%5C_%7DGuatemala%7B%5C_%7D2001.html) (visitado 21-05-2019).
- [7] G. D. Reflexión En Gestión De Cuencas Hidrográficas, C. Aguilar, M. de El Salvador Yamileth Astorga, U. Maureen Ballester, G. Jorge Alonso Beltrán, C. Manuel Basterrechea, C. José Joaquín Campos, C. Rocío Córdoba UICN Jorge Faustino, C. Alejandro Imbach, C. Francisco Jiménez, C. Johann Kammerbauer, C. Oscar Lücke, C. Ana María Majano, I. Zuleika Pinzón, F. Natura Ricardo Quiroga, B. Samuel Rivera, P. Promesas ACIDI Francisco Rodríguez, P. Posaf, D. base preparado por Jorge Faustino y F. Jiménez José Joaquín Campos, “Programa Focuencias IP”, inf. téc. dirección: <https://www.portalces.org/sites/default/files/migrated/docs/1104.pdf>.
- [8] Geográfica De Lima, “¿Qué es una cuenca?”, Lima, inf. téc., 2004. dirección: [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam%7B%5C\\_%7Dfiles/publicaciones/varios/cuenca%7B%5C\\_%7Dhidrologica.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam%7B%5C_%7Dfiles/publicaciones/varios/cuenca%7B%5C_%7Dhidrologica.pdf).
- [9] UNESP, “La Cuenca Hidrográfica”, inf. téc., 2017. dirección: [https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/83/2/Unidade%7B%5C\\_%7D1.pdf](https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/83/2/Unidade%7B%5C_%7D1.pdf).

- [10] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, “Sistema de Información Geográfica”, INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA, México, inf. téc., 2014, pág. 60. dirección: <https://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/internet/sistemainformaciongeografica.pdf>.
- [11] OAS, “2015-2050 Agua para todos Seguridad Hídrica”, Panamá, inf. téc., 2016. dirección: <http://www.oas.org/en/sedi/dsd/IWRM/Documentspot/Primer%20Plan%20Nacional%20de%20Seguridad%20Hidrica%20de%20la%20Republica%20de%20Panama.pdf>.
- [12] M. A. Castillo, “El recurso agua”, Universidad de Chile, Santiago, inf. téc., 2003, pág. 10. dirección: <http://www.fcs.uner.edu.ar/libros/archivos/Termalismo/e-books/ElRecursoAgua.pdf>.
- [13] D. Spuhler y Gensch Robert, *Introducción a Sistemas de Saneamiento*, 2018. dirección: <https://sswm.info/es/arctic-wash/module-4-technology/further-reseources-wastewater-treatment/sanitation-systems> (visitado 05-02-2019).
- [14] K. Conradin, *Introducción a la Gestión de Agua y Saneamiento Sostenible (SSWM)*, 2017. dirección: <http://archive.sswm.info/es/category/step-gass-en-al/gass-en-castellano/gesti%7B%5C%27%7Bo%7D%7Dn-de-agua-y-saneamiento-sostenible-en-am%C3%A9rica-la-1> (visitado 10-04-2019).
- [15] OECD, “Principios de Gobernanza del Agua de la OCDE”, inf. téc., 2015. dirección: <https://www.oecd.org/cfe/regional-policy/OECD-Principles-Water-spanish.pdf>.
- [16] Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, “K’atun 2032”, SEGE-PLÁN, Guatemala, inf. téc., 2014, pág. 502. dirección: <https://www.undp.org/content/dam/guatemala/docs/publications/undp%7B%5C%27%7Dgt%7B%5C%27%7DPND%7B%5C%27%7DKatun2032.pdf>.
- [17] E. Colom, *Agua, oportunidades y desarrollo sostenible*, 2015. dirección: <https://www.plazapublica.com.gt/content/agua-opportunidades-y-desarrollo-sostenible> (visitado 01-05-2019).
- [18] SSWM, *Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)*, 2010. dirección: <http://archive.sswm.info/es/category/step-gass-en-al/gass-en-castellano/gesti%7B%5C%27%7Bo%7D%7Dn-de-agua-y-saneamiento-sostenible-en-am%C3%A9rica-la-3> (visitado 25-07-2019).
- [19] Naciones Unidas, *Agua y saneamiento - Desarrollo Sostenible*. dirección: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/> (visitado 15-07-2019).
- [20] ONU, *Agua y saneamiento - Desarrollo Sostenible*. dirección: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/> (visitado 11-04-2019).
- [21] Plaza Pública, *Agua en el departamento de Guatemala*, 2017. dirección: <https://www.plazapublica.com.gt/multimedia/agua%7B%5C%27%7Darea%7B%5C%27%7Dmetropolitana/index.html> (visitado 15-04-2019).
- [22] UICN, *Guía para la Elaboración de Planes de Manejo de Microcuencas*, ISBN: 9789992226056.

- [23] F. D. Herrera, “Saneamiento Ambiental y Tratamiento de Aguas Residuales en el Municipio de Pespire Departamento de Choluteca”, Tesis doct., Universidad Nacional Autónoma de Honduras, 2013. dirección: <https://tzibalnaah.unah.edu.hn/bitstream/handle/123456789/3379/T-MSc00101.pdf?sequence=2%7B%5C%7DisAllowed=y>.
- [24] A. Molina, “Determinación de las áreas susceptibles a inundaciones en la parte baja de la cuenca del río Ocosito”, inf. téc., 2017.
- [25] MINEDUC, *Guatemala, un país con diversidad étnica, cultural y lingüística*, 2016. dirección: <https://www.mineduc.gob.gt/digebi/mapaLinguistico.html> (visitado 09-10-2019).
- [26] W. Flores e I. Gómez-Sánchez, “Governance in Guatemalan municipal development councils: An analysis of actors and power relationships”, *Revista de Salud Publica*, vol. 12, n.º SUPPL. 1, págs. 138-150, 2010, ISSN: 0124-0064. DOI: 10.1590/S0124-00642010000700010.
- [27] J. Faustino, “Programa Focuecas Guía para elaborar planes de cogestión de cuencas”, inf. téc., 2005.
- [28] GWP, “Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas”, inf. téc., 2009. dirección: [www.gwpforum.org](http://www.gwpforum.org).

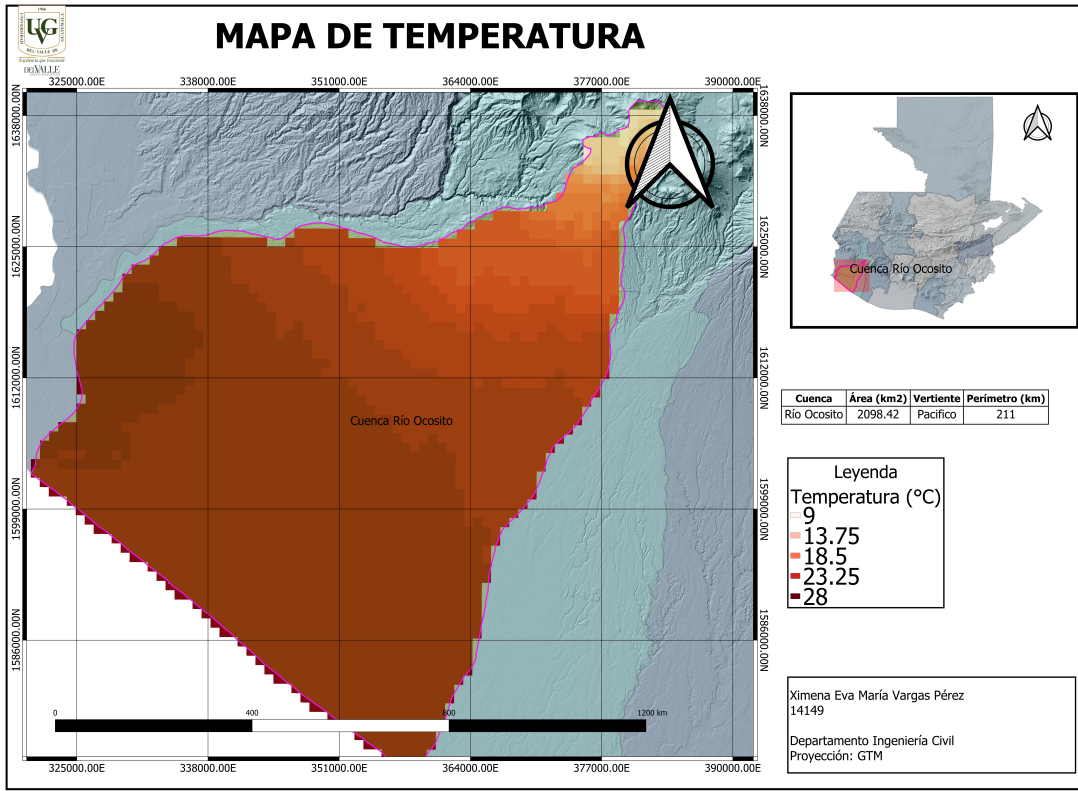


Figura 25: Guía de la metodología GASS para la cuenca del Río Ocosito



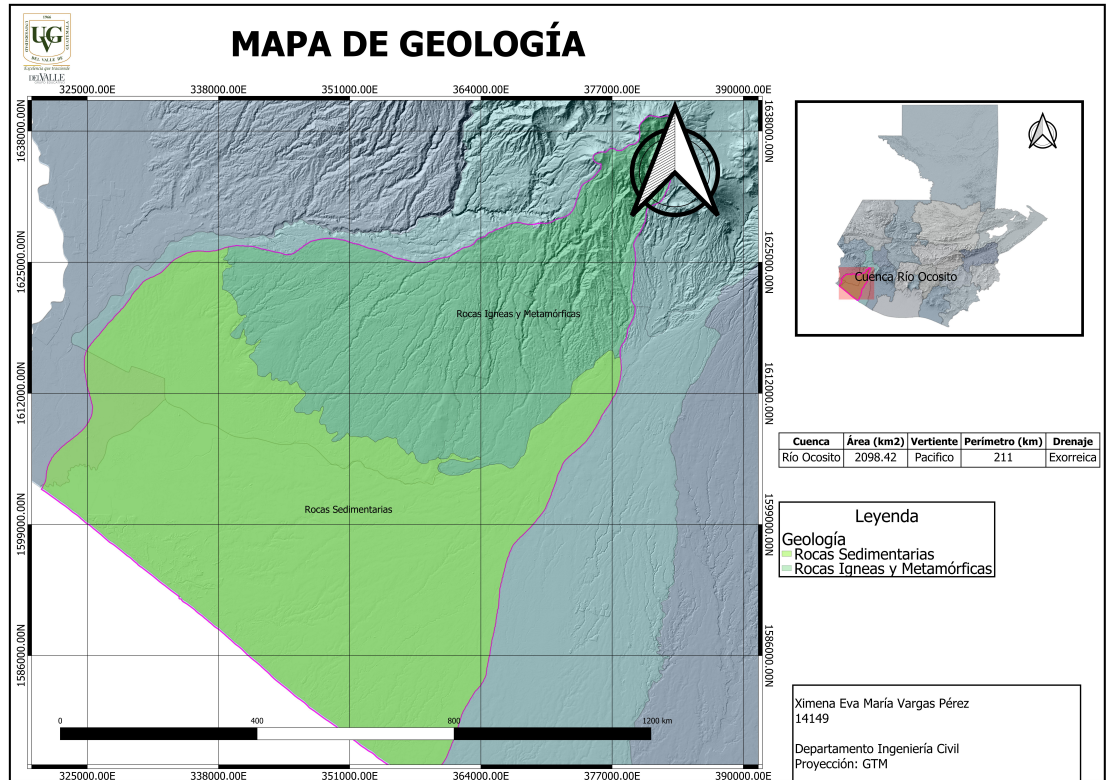
Fuente: Elaboración propia

Figura 26: Mapa de temperatura



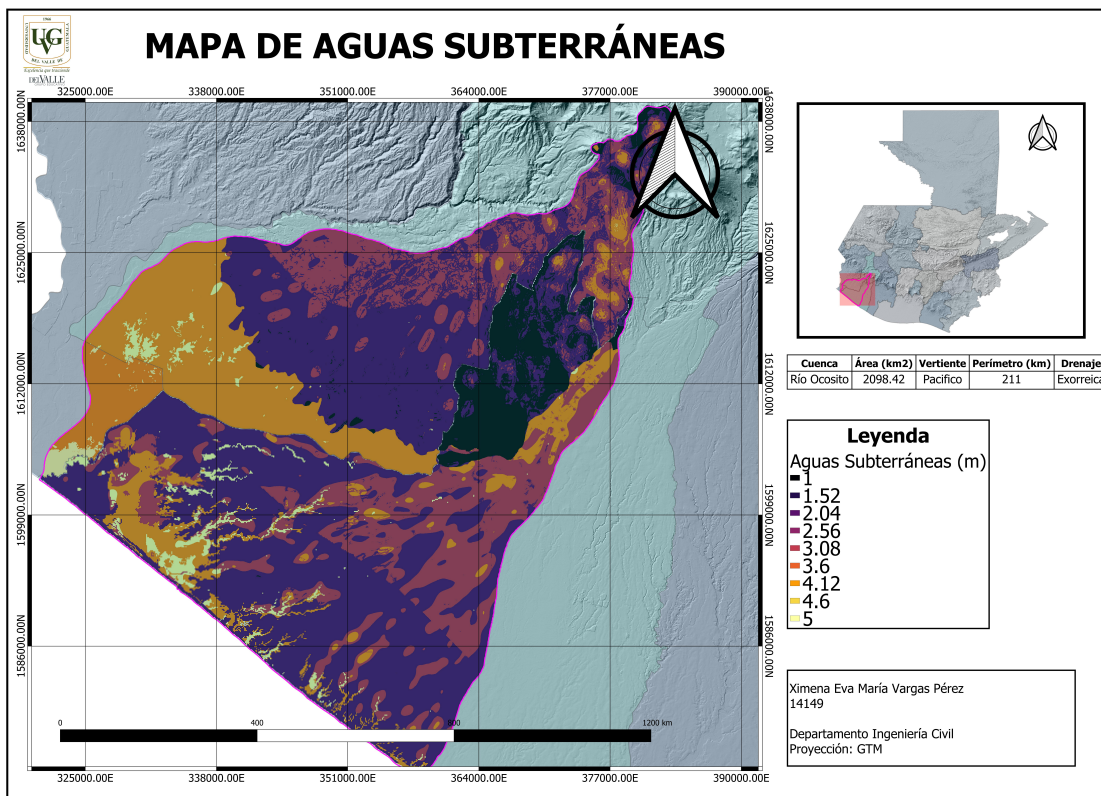
Fuente: Elaboración propia

Figura 27: Mapa de geología



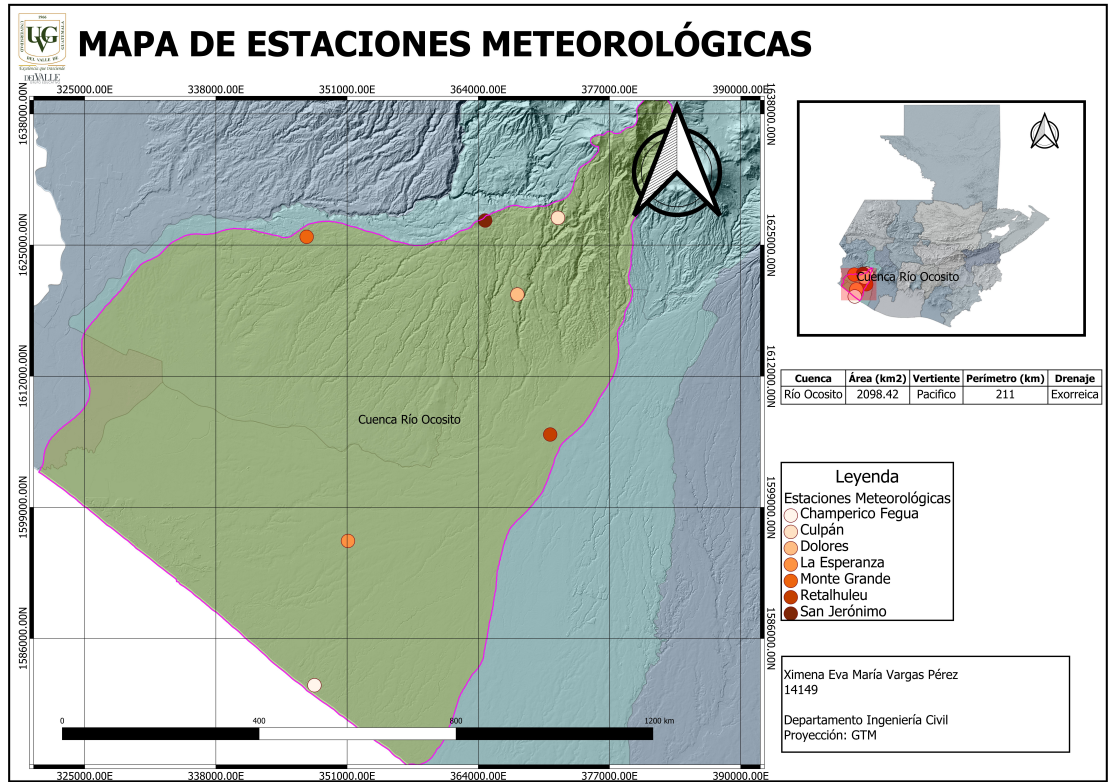
Fuente: Elaboración propia

Figura 28: Mapa de aguas subterráneas



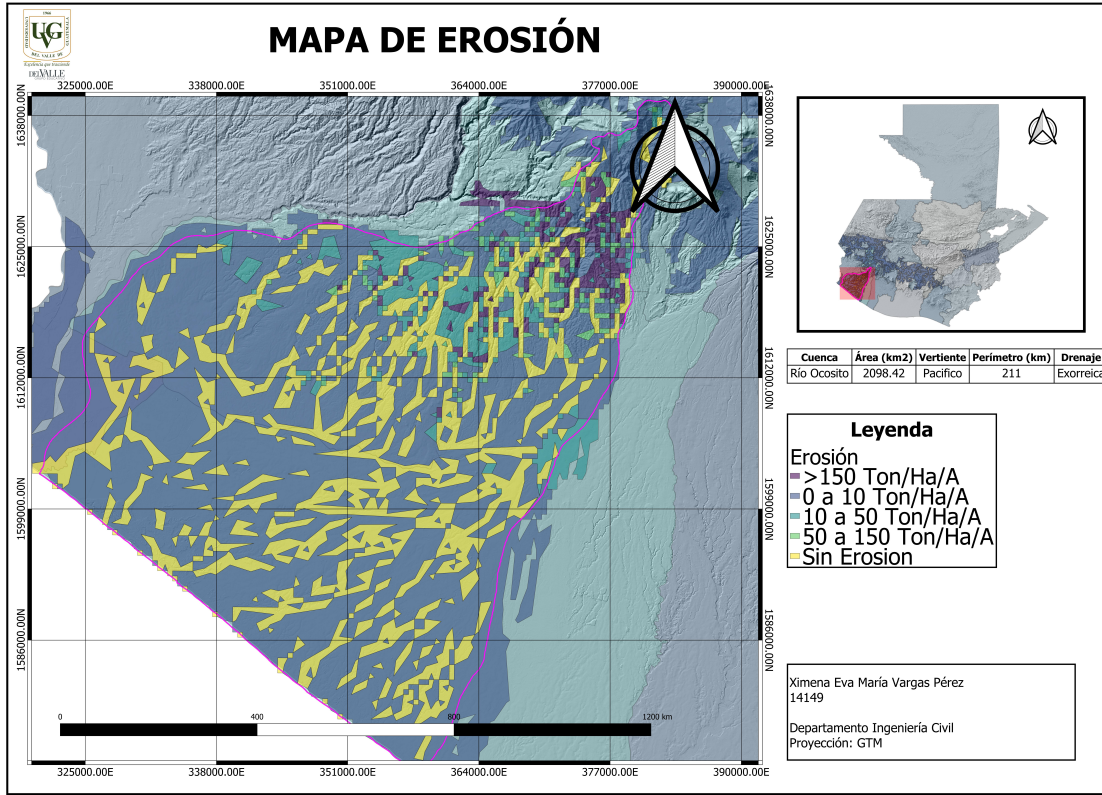
Fuente: Elaboración propia

Figura 29: Mapa de estaciones meteorológicas



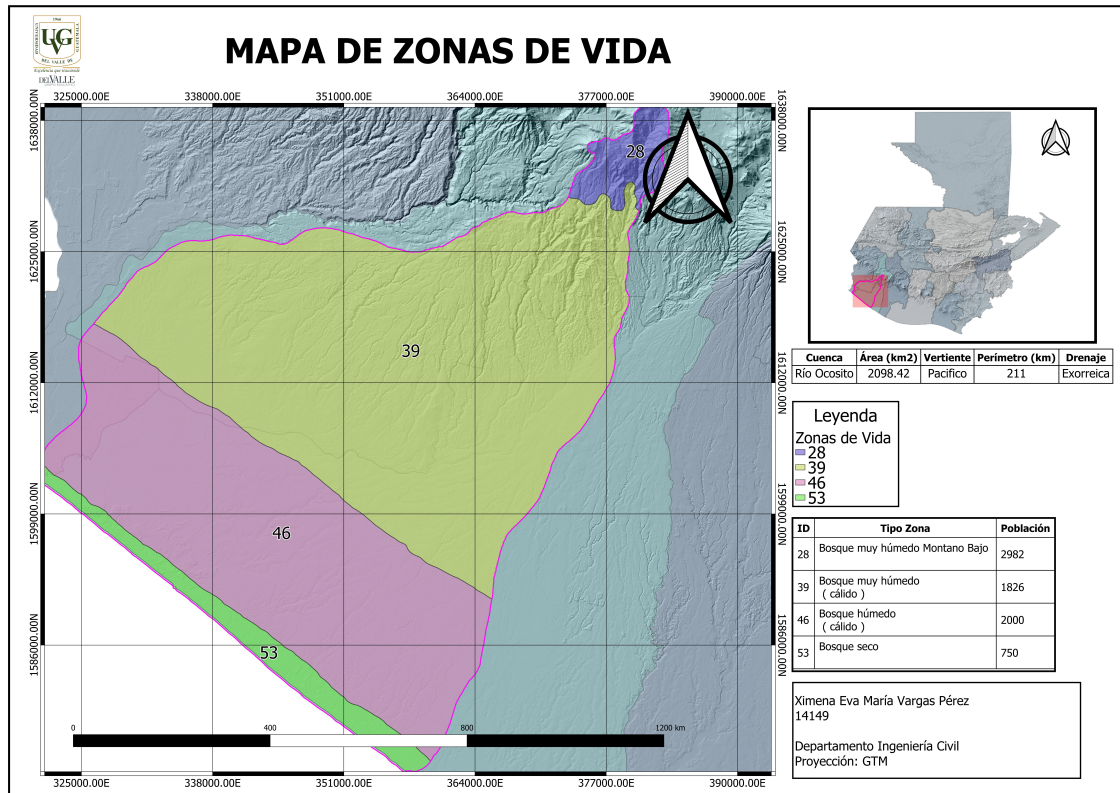
Fuente: Elaboración propia

Figura 30: Mapa de erosión



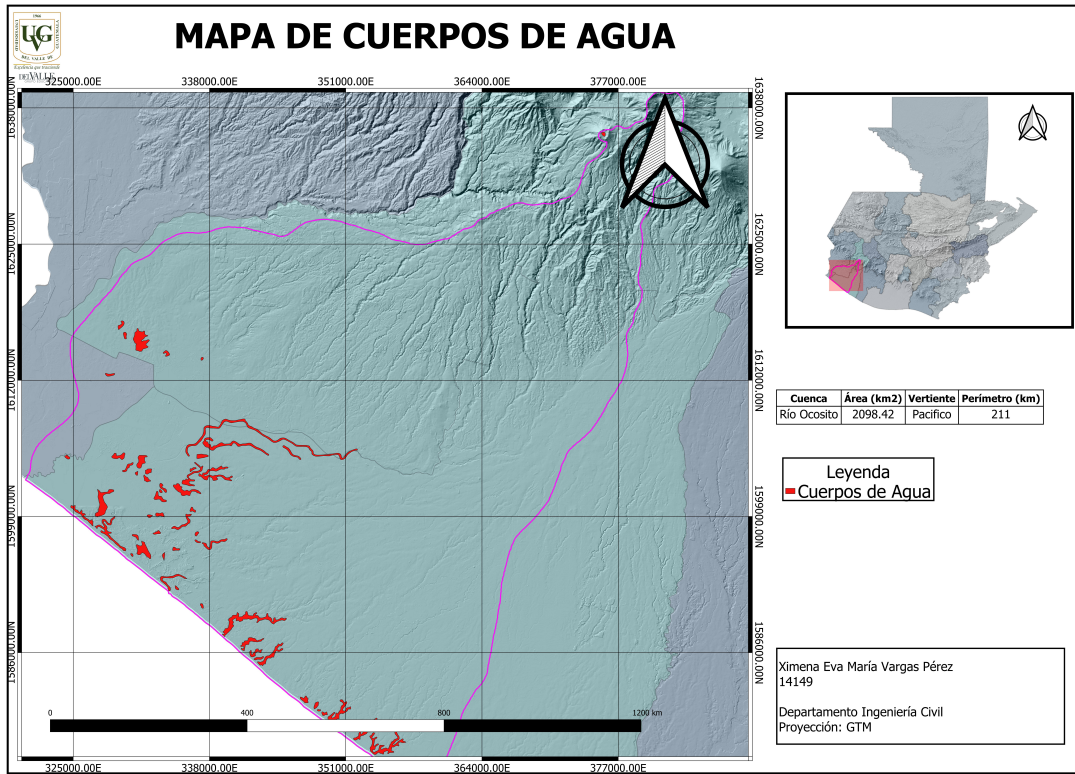
Fuente: Elaboración propia

Figura 31: Mapa de zonas de vida



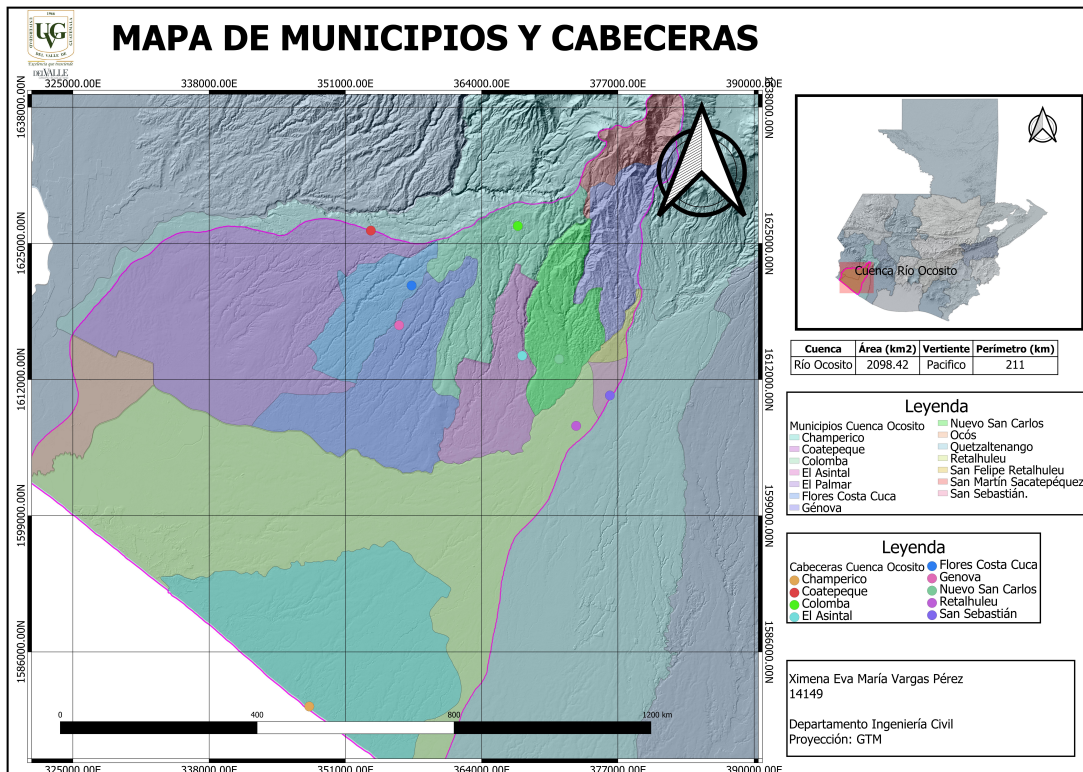
Fuente: Elaboración propia

Figura 32: Mapa de cuerpos de agua



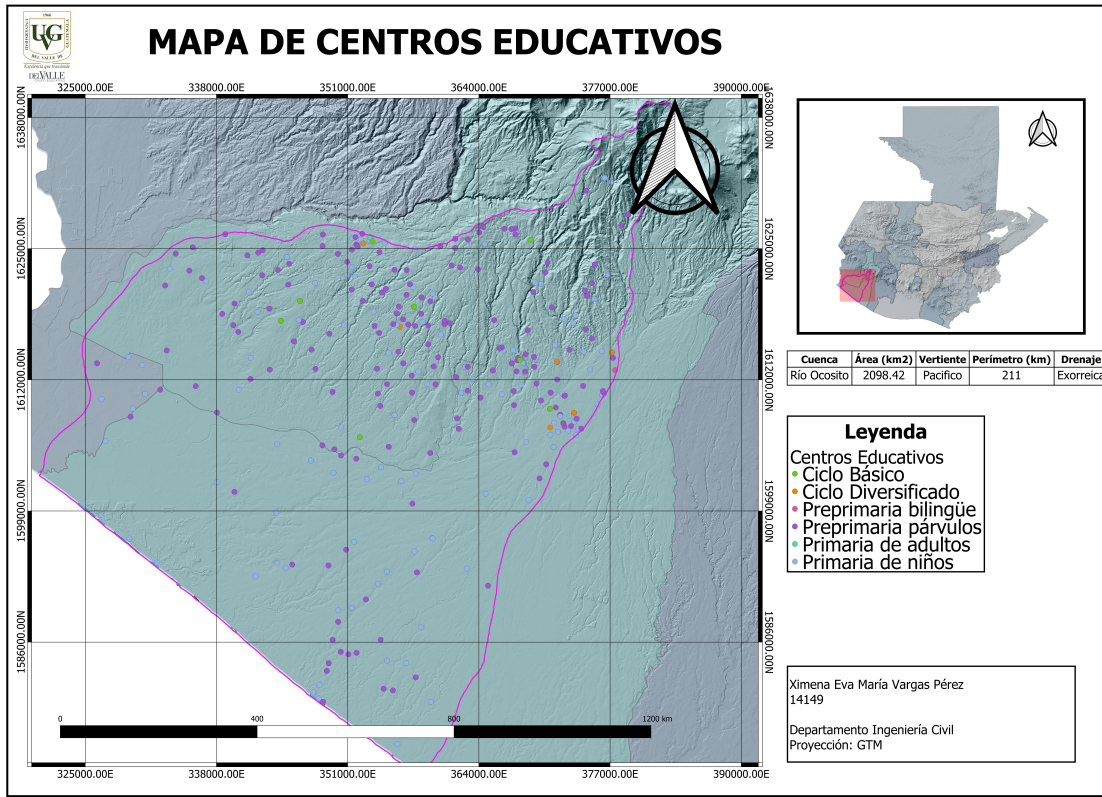
Fuente: Elaboración propia

Figura 33: Mapa de municipios y cabeceras



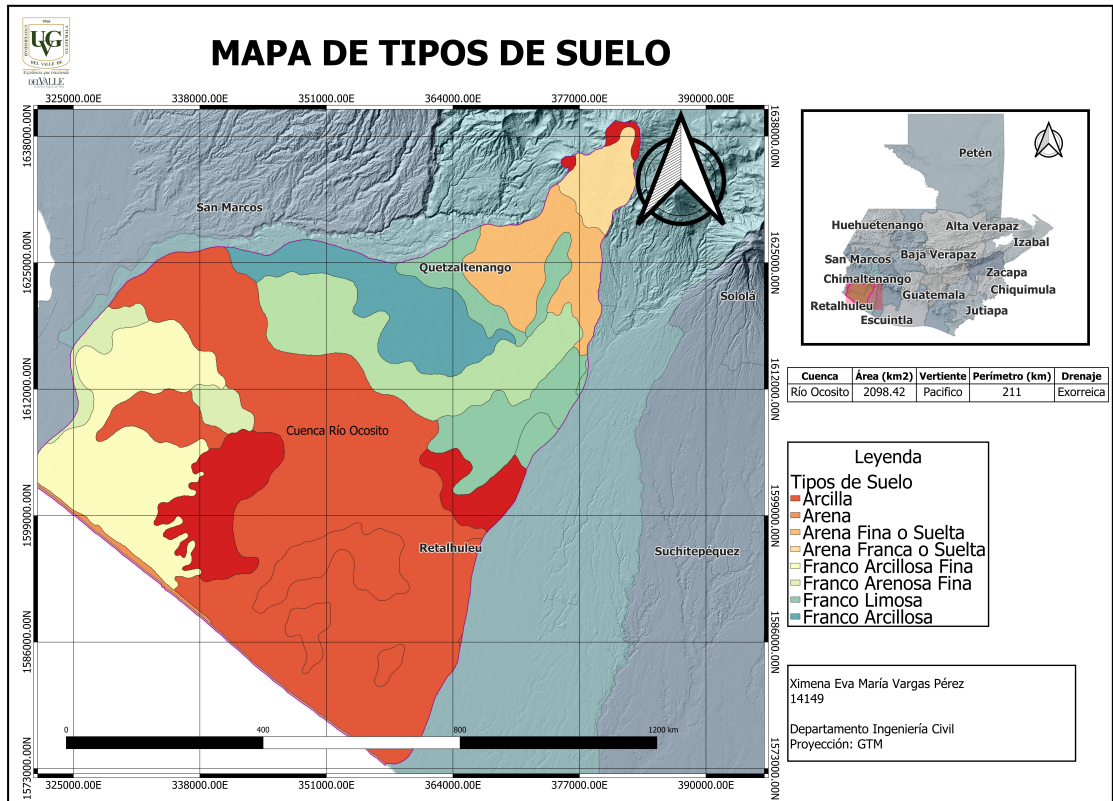
Fuente: Elaboración propia

Figura 34: Mapa de centros educativos



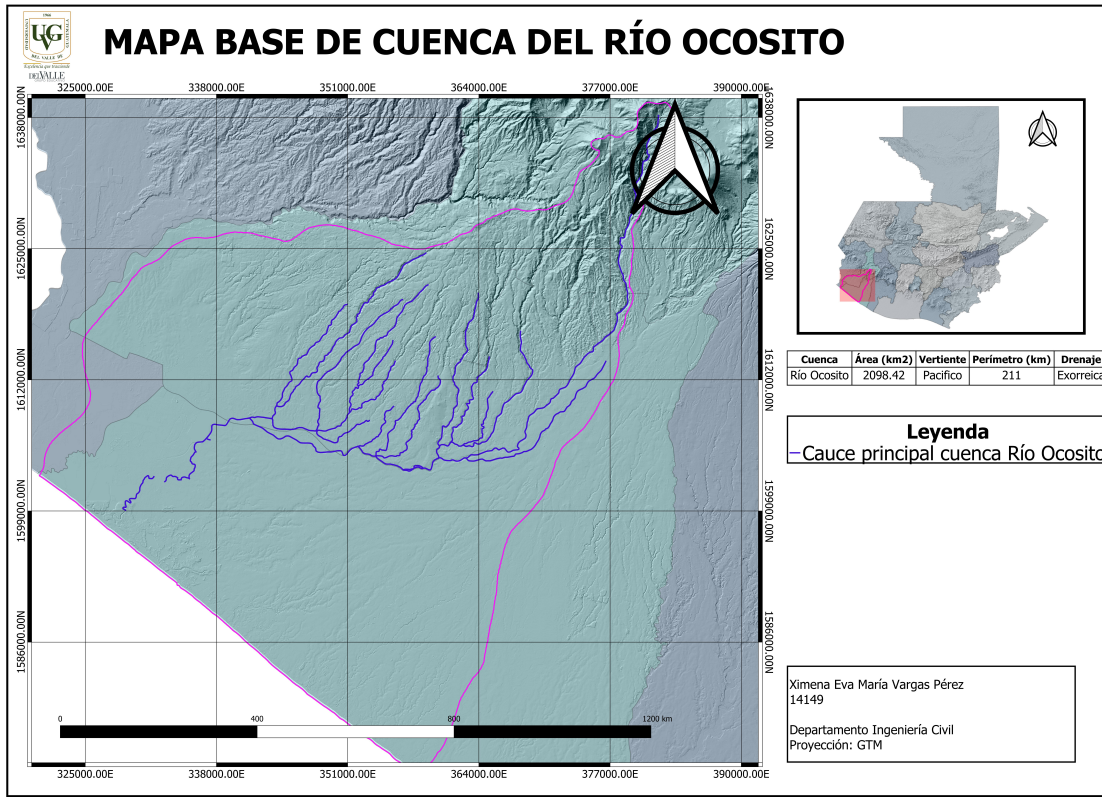
Fuente: Elaboración propia

Figura 35: Mapa de tipos de suelo



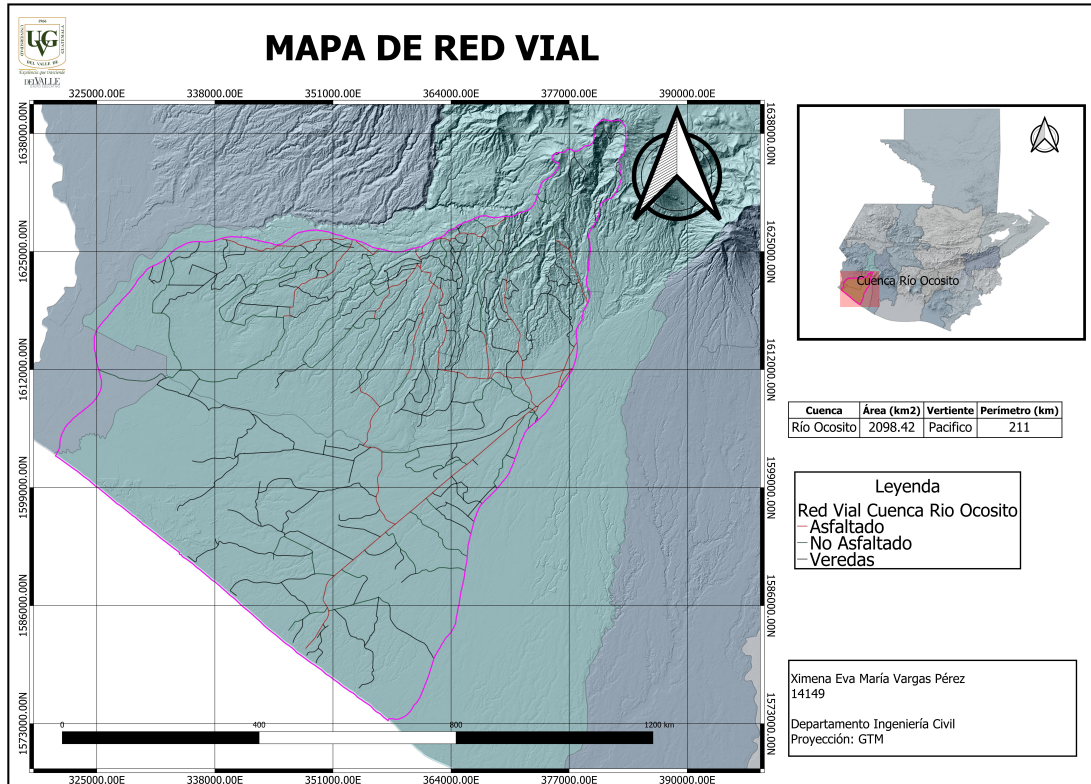
Fuente: Elaboración propia

Figura 36: Mapa de base de cuenca Ocosito



Elaboración propia

Figura 37: Mapa de red vial



Fuente: Elaboración propia



**archivo shape** Es un formato de archivo informático propietario de datos espaciales. 28

**azolvamiento** Depósito de los sedimentos acarreados por el agua. 16

**cauce** Es la parte de un valle por donde discurren las aguas en su curso: es el confín físico normal de un flujo de agua, siendo sus confines laterales las riberas. 16

**cuenca** Es un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural. 6

**inundación fluvial** Se generan cuando el agua que se desborda de ríos queda sobre la superficie de terreno cercano a ellos. 58

**inundación pluvial** Suceden cuando el agua de lluvia satura la capacidad del terreno para drenarla, acumulándose por horas o días sobre éste. 58

**microcuenca** Se define como una pequeña unidad geográfica donde vive una cantidad de familias que utiliza y maneja los recursos disponibles, principalmente suelo, agua y vegetación. 7

**morfometría** Estudio cuantitativo de las características físicas de una cuenca. 29

**parteaguas** Es una línea que delimita la cuenca hidrográfica, una divisoria de aguas que marca el límite entre una cuenca hidrográfica y las cuencas vecinas. 11

**QGIS** Es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de software libre para plataformas GNU/Linux, Unix, Mac OS, Microsoft Windows y Android. 28

**raster** Refleja una matriz de celdas organizadas en filas y columnas en la que cada celda contiene un valor que representa información. 28

**río** Corriente natural de agua que fluye permanentemente y va a desembocar en otra, en un lago o en el mar. 9

**SIG** Es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos. 9