

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**ÁREA INTEGRADA**



**TRABAJO DE GRADUACIÓN**  
**CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA Y SOCIOECONÓMICA DE LA MICROCUENCA DEL**  
**RÍO GUADRÓN, GUATEMALA, C.A.**

**LINDA MARÍA GASPARICO MIDENCE**

**GUATEMALA, AGOSTO DE 2018**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**ÁREA INTEGRADA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA Y SOCIOECONÓMICA DE LA  
MICROCUENCA DEL RÍO GUADRÓN, GUATEMALA, C.A.**

**PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE  
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**POR**

**LINDA MARÍA GASPARICO MIDENCE**

**EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO**

**INGENIERA**

**EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**

**EN EL GRADO ACADÉMICO DE**

**LICENCIADA**

**GUATEMALA, AGOSTO DE 2018**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

Ing. M.Sc. Murphy Olympo Paiz Recinos

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO:	Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López
VOCAL PRIMERO:	Dr. Tomás Antonio Padilla Cámara
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Agr. M.Sc. César Linneo García Contreras
VOCAL TERCERO:	Ing. Agr. Erberto Raúl Alfaro Ortíz
VOCAL CUARTO:	P. en Electrónica Carlos Waldemar de León Samayoa
VOCAL QUINTO:	P. Agr. Marvin Orlando Sicajaú Pec
SECRETARIO:	Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón

GUATEMALA, AGOSTO DE 2018

Guatemala, agosto 2018

Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el Trabajo de Graduación “**Caracterización biofísica y socioeconómica de la microcuenca del río Guadrón, Guatemala, C.A.**”, como requisito previo a optar al título de Ingeniera en Gestión Ambiental Local, en el grado académico de Licenciada.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme

Atentamente.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

LINDA MARÍA GASPARICO MIDENCE

## **ACTO QUE DEDICO A**

**DIOS**

Por estar presente siempre en mi vida y enseñarme día tras día la magnitud de su amor, misericordia y fidelidad.

**MIS PADRES**

Por darme la oportunidad de formarme profesional y personalmente, por educarme con amor, paciencia y ternura. Por brindarme un hogar, por guiarme en mis momentos más inciertos, porque siempre han respetado y apoyado mis decisiones ya sean correctas o erróneas.

Para ustedes, queridos padres: que Dios los bendiga y guarde hoy y siempre. Los amo.

**MI HERMANA**

Laura, sos mi ejemplo de profesionalismo y generosidad. Gracias por estar siempre pendiente de mí y por enseñarme cada día como ser mejor hermana. Por tu ejemplo y apoyo incondicional y fehaciente.

Hermana mía: Dios te bendiga y guarde hoy y siempre. Te amo.

**MIS PRIMOS**

Más que mis primos, mis hermanos. Chepe, Jaco, lo, gracias por los momentos compartidos, sus muestras de cariño y su apoyo incondicional. Los amo.

**MIS TÍOS Y TÍAS**

Porque cada uno es un ejemplo de vida, por sus muestras de amor y por su apoyo. A ustedes mi gratitud y amor.

## AGRADECIMIENTOS A

DIOS	Por brindarme fortaleza durante todo mi proceso académico
MIS PADRES	Gracias por ayudarme a forjar mi camino con su esfuerzo, sacrificio, ejemplo y amor.
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	<i>Alma mater</i> , gloriosa tricentenaria, por brindarme educación de calidad y crear una profesional productiva para el pueblo de Guatemala.
FACULTAD DE AGRONOMÍA	A cada docente; por facilitarme todas las herramientas para mi desarrollo como profesional.
ESTUDIANTINA	Por ser mí espacio de recreación artística dentro de la facultad; donde viví anécdotas inolvidables. Gracias compañeros por esos momentos compartidos.
SUPERVISORA	Dra. Gricelda Gutierrez; gracias por brindarme sus conocimientos y apoyarme durante el desarrollo del presente trabajo de graduación.
ASESOR	Dr. Marvin Salguero; por su tiempo y orientación durante el desarrollo de la investigación.
MIS AMIGOS Y AMIGAS	A cada uno de ustedes por su apoyo, motivación, ánimo, ejemplo; por sus consejos y cariño. Gracias por cada momento de celebración, alegría, angustia y tristeza que compartimos. Gracias por tener la dicha de tenerlos como amigos. Dios los bendiga y nos mantenga unidos.
DIRECCIÓN DE MEDIO AMBIENTE, MUNICIPALIDAD DE GUATEMALA	Especialmente a Jhonatan Sican y Tom Luna, por el tiempo y dedicación que brindaron para realizar dicha investigación.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
<b>1. CAPÍTULO I. DIAGNÓSTICO INSTITUCIONAL DE LA DIRECCIÓN DE MEDIO AMBIENTE, MUNICIPALIDAD DE GUATEMALA.....</b>	<b>1</b>
1.1. PRESENTACIÓN .....	2
1.2. MARCO CONCEPTUAL .....	3
1.2.1. Municipalidad de Guatemala .....	3
1.2.2. Dirección de Medio Ambiente .....	8
1.3. OBJETIVOS .....	13
1.3.1. Objetivo General.....	13
1.3.2. Objetivos Específicos .....	13
1.4. METODOLOGÍA.....	14
1.5. RESULTADOS .....	15
1.5.1. Árbol de problemas.....	15
1.5.2. Árbol de objetivos .....	17
1.6. CONCLUSIONES.....	19
1.7. RECOMENDACIONES .....	19
1.8. BIBLIOGRAFÍA .....	20
<b>2. CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA Y SOCIOECONÓMICA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO GUADRÓN, GUATEMALA, C.A.....</b>	<b>21</b>
2.1. INTRODUCCIÓN .....	22
2.2.MARCO TEÓRICO.....	23
2.2.1. Marco Conceptual.....	23
2.2.2. Marco Referencial.....	40
2.3. OBJETIVOS .....	48

	<b>Página</b>
2.3.1. Objetivo General .....	48
2.3.2. Objetivos Específicos .....	48
2.4. METODOLOGÍA .....	49
2.4.1. Aspecto social .....	49
2.4.2. Aspectos biofísicos.....	50
2.4.3. Identificación de amenazas .....	68
2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	69
2.5.1. Aspectos socioeconómicos y ambientales .....	69
2.5.2. Análisis de la tierra .....	82
2.5.3. Recurso hídrico .....	93
2.5.4. Zonificación de amenazas.....	108
2.5.5. Análisis integral .....	112
2.6. CONCLUSIONES .....	113
2.7. RECOMENDACIONES .....	113
2.8. BIBLIOGRAFÍA .....	114
2.9. ANEXOS.....	119
2.9.1. Calidad del agua .....	119
2.9.2. Recarga hídrica .....	121
2.9.3. Basureros clandestinos .....	126
<b>3. CAPÍTULO III. INFORME DE SERVICIOS REALIZADOS EN LA DIRECCIÓN DE MEDIO AMBIENTE, MUNICIPALIDAD DE GUATEMALA.....</b>	<b>128</b>
3.1. PRESENTACIÓN.....	129
3.2. PROPUESTA DE LINEAMIENTOS .....	130
3.2.1. Definición del problema .....	130

	<b>Página</b>
3.2.2. Objetivos.....	131
3.2.3. Metodología .....	131
3.2.4. Resultados.....	134
3.2.5. Conclusiones .....	142
3.2.6. Recomendaciones.....	142
3.3. CENSO FORESTAL.....	143
3.3.1. Definición del problema .....	143
3.3.2. Objetivos.....	143
3.3.3. Metodología .....	144
3.3.4. Resultados.....	144
3.3.5. Conclusiones .....	155
3.3.6. Recomendaciones.....	155
3.4. BIBLIOGRAFÍA .....	156
3.5. ANEXOS .....	157
3.5.1. Censo forestal.....	157

### **ÍNDICE DE CUADROS**

Cuadro 1. Alcaldías Auxiliares Municipalidad de Guatemala .....	5
Cuadro 2. Mini Munis Guatemala .....	6
Cuadro 3. Clasificación de cuencas, subcuencas y microcuencas. ....	24
Cuadro 4. Enfoque de manejo de cuencas. ....	29
Cuadro 5. Precipitación pluvial para los años 2006-2016.....	43
Cuadro 6. Temperatura para los años 2006-2016.....	43
Cuadro 7. Humedad relativa media para los años 2006-2016. ....	43
Cuadro 8. Precipitación, temperatura, humedad relativa y ETP.....	44
Cuadro 9. Índices de la calidad de agua (BMWP-CR) en época lluviosa.....	46
Cuadro 10. Matriz de capacidad de uso.....	51

	<b>Página</b>
Cuadro 11. Niveles de calidad del agua según ISCA.....	60
Cuadro 12. Componentes del coeficiente de infiltración. ....	62
Cuadro 13. Punto de marchitez permanente y capacidad de campo .....	63
Cuadro 14. Radiación solar extraterrestre (mm/día). ....	64
Cuadro 15. Clasificación de recarga hídrica por volumen.....	68
Cuadro 16. Cantidad poblacional de los años 1994, 2002 y proyección 2017.....	69
Cuadro 17. Población del área de interés para los años 1994, 2002 y 2017.....	70
Cuadro 18. Población objetivo según grupo étnico.....	72
Cuadro 19. Cantidad de establecimientos educativos por zona. ....	74
Cuadro 20. Actividades productivas dominantes por zona de interés.....	75
Cuadro 21. Basureros ilegales encontrados en las zonas de interés.....	76
Cuadro 22. Sectores que contribuyen a la contaminación del recurso hídrico superficial..	77
Cuadro 23. Especies del cinturón ecológico municipal del río Guadrón. ....	78
Cuadro 24. Especies dentro de las zonas verdes urbanas. ....	79
Cuadro 25. Aspectos sociales, económicos y ambientales.....	80
Cuadro 26. Área real de las zonas de interés dentro de la microcuenca.....	81
Cuadro 27. Leyenda fisiográfica de la microcuenca del río Guardón.....	82
Cuadro 28. Niveles de uso de la tierra dentro de la microcuenca río Guadrón, 2017. ....	85
Cuadro 29. Clases de capacidad de uso de la tierra. ....	88
Cuadro 30. Clasificación de intensidad de uso de la tierra. ....	91
Cuadro 31. Morfometría de la microcuenca del río Guadrón. ....	93
Cuadro 32. Análisis fisicoquímico de la microcuenca del río Guadrón.....	95
Cuadro 33. Análisis ISCA del cauce principal del río Guadrón. ....	100
Cuadro 34. Localización de los puntos de muestreo.....	103
Cuadro 35. Infiltración promedio en milímetros al día y características del suelo. ....	104
Cuadro 36. Volumen de recarga hídrica microcuenca río Guadrón. ....	105
Cuadro 37. Clasificación de las zonas de amenaza a deslizamientos. ....	108
Cuadro 38. Clasificación de las zonas de amenaza a inundación. ....	110
Cuadro 39. Análisis FODA. ....	134
Cuadro 40. Análisis de priorización.....	136

	<b>Página</b>
Cuadro 41. Lineamientos de manejo propuestos. ....	138
Cuadro 42. Monitoreo para prevenir contaminación del sector industrial y comercial. ....	140
Cuadro 43. Manejo para el CEM de la microcuenca del río Guadrón. ....	141
Cuadro 44. Nombre científico y común de la especie encontrada. ....	146
Cuadro 45. Ubicación física de árboles identificados. ....	148

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Organigrama General de la Municipalidad de Guatemala. ....	7
Figura 2. Organigrama General de la Dirección de Medio Ambiente. ....	10
Figura 3. Diagrama de la metodología del diagnóstico municipal. ....	14
Figura 4. Diagrama del árbol de problemas. ....	15
Figura 5. Diagrama del árbol de objetivos. ....	17
Figura 6. Diagrama de una cuenca hidrográfica como sistema. ....	27
Figura 7. Diagrama relación hídrica de una cuenca. ....	34
Figura 8. Mapa de ubicación río Guadrón, municipio de Guatemala. ....	41
Figura 9. Gráfica del climadiagrama de microcuenca del río Guadrón. ....	44
Figura 10. Gráfica de la calidad de agua (BMWP-CR) en época lluviosa. ....	46
Figura 11. Gráfica de la edad de las zonas analizadas para el año 2017. ....	71
Figura 12. Gráfica del porcentaje de la población según el alfabetismo. ....	72
Figura 13. Gráfica del nivel de escolaridad proyectado para el año 2017. ....	73
Figura 14. Mapa de la fisiografía de la microcuenca del río Guardón. ....	84
Figura 15. Mapa del uso actual de la tierra. ....	86
Figura 16. Mapa de la capacidad de uso de la tierra. ....	89
Figura 17. Mapa de la intensidad de uso de la tierra. ....	92
Figura 18. Gráfica de la temperatura del río Guadrón. ....	96
Figura 19. Gráfica de la demanda química de oxígeno del río Guadrón. ....	97
Figura 20. Gráfica de sólidos suspendidos totales del río Guadrón. ....	97
Figura 21. Gráfica del oxígeno disuelto del río Guadrón. ....	98
Figura 22. Gráfica de la conductividad eléctrica del río Guadrón. ....	100
Figura 23. Mapa de la calidad del agua en época lluviosa. ....	102

	<b>Página</b>
Figura 24. Mapa de la calidad del agua en época seca .....	102
Figura 25. Mapa de las zonas de recarga hídrica. ....	107
Figura 26. Mapa de las amenaza a deslizamientos. ....	109
Figura 27. Mapa de la amenaza a inundaciones. ....	111
Figura 28A. Mapa puntos de muestro análisis de suelo.....	125
Figura 29A. Fotografía del basurero ilegal zona 21 .....	126
Figura 30A. Fotografía del basurero ilegal zona 21. ....	126
Figura 31A. Fotografía del basurero ilegal zona 21. ....	126
Figura 32A. Fotografía del basurero ilegal zona 21. ....	126
Figura 33A. Fotografía del basurero ilegal zona 8. ....	126
Figura 34A. Fotografía del basurero ilegal zona 8. ....	126
Figura 35A. Fotografía del basurero ilegal zona 9. ....	127
Figura 36A. Mapa de microcuencas dentro del municipio de Guatemala. ....	127
Figura 37. Diagrama de la metodología para la propuesta del plan de manejo. ....	132
Figura 38. Diagrama de la metodología para realizar el inventario. ....	144
Figura 39. Mapa del cuadrante analizado dentro de la zona 9. ....	145
Figura 40. Gráfica de las especies según la cantidad de árboles. ....	147
Figura 41. Gráfica del estado sanitario de cada árbol.....	148
Figura 42. Gráfica del estado sanitario deprecitado por especie. ....	149
Figura 43. Gráfica del estado sanitario enfermo por especie. ....	150
Figura 44. Gráfica del estado sanitario muerto por especie.....	150
Figura 45. Gráfica de la inclinación de cada árbol identificado. ....	151
Figura 46. Gráfica del ahuecamiento de cada árbol identificado. ....	152
Figura 47. Gráfica del porcentaje de árboles que intersectan con cables.....	153
Figura 48. Gráfica del porcentaje de árboles que intersectan con luminaires.....	153
Figura 49. Gráfica de las especies que generan daños a la infraestructura urbana. ....	154
Figura 50A. Fotografía del GPS utilizado para georreferenciación. ....	157
Figura 51A. Fotografía del la cinta metrica utilizada para medir el DAP. ....	157
Figura 52A. Fotografía de la regla utilizada para medir el altura.....	157
Figura 54A. Fotografía de la medición de DAP.....	158

## **Biophysical and social-economic characterization of the Guadron river microbasin**

### **Caracterización biofísica y socioeconómica de la microcuenca del río Guadrón**

#### **RESUMEN**

El presente documento corresponde a la fase final del programa Ejercicio Profesional Supervisado -EPS- de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, el cual se realizó en la Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Guatemala, en el periodo de febrero a noviembre del 2017.

En primera instancia se elaboró un análisis del funcionamiento general de la Municipalidad de Guatemala y su Dirección de Medio Ambiente, partiendo de un diagnóstico institucional donde se muestra en concreto las problemáticas de la Dirección de Medio Ambiente.

La problemática en la que se hizo énfasis, es la ausencia de un plan para proteger y conservar los espacios verdes naturales conocidos como el cinturón ecológico municipal que cubre 94.94 km<sup>2</sup> de área del municipio de Guatemala y el cual es afectado por diversas actividades humanas.

Es por ello que en la siguiente investigación se creó una base de datos mediante una caracterización biofísica y socioeconómica específicamente de la microcuenca del río Guadrón; esta abarca parte de las zonas capitalinas 21, 14, 13, 12, 10, 9 y 8 y compone tan solo el 2.29 % de todo el cinturón ecológico municipal.

La microcuenca del río Guadrón presenta el 83.05 % de extensión urbana.

Esta caracterización fue un punto de partida para plantear una propuesta de manejo sostenible acorde a las características sociales, económicas, ambientales y biofísicas que se identificaron y describieron en el área de estudio; esto se llevó a cabo como un servicio a la Municipalidad de Guatemala.



**1. CAPÍTULO I. DIAGNÓSTICO INSTITUCIONAL DE LA DIRECCIÓN DE MEDIO AMBIENTE, MUNICIPALIDAD DE GUATEMALA.**



## 1.1. PRESENTACIÓN

El presente diagnóstico corresponde a la fase inicial del programa de Ejercicio Profesional Supervisado -EPS- de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, “el cual promueve la práctica técnica de gestión profesional para aquellos estudiantes que hayan aprobado la totalidad de cursos y prácticas contenidas en el pensum de estudios de todas las carreras de la misma, con el fin de ampliar los conocimientos sociales, científicos, técnicos, etc” (FAUSAC). Y por medio de ello realizar acciones de investigación y servicio a la sociedad guatemalteca para retribuirle su aporte a la Universidad de San Carlos de Guatemala. Es por ello que a cada estudiante se le asigne una entidad específica para que pueda conocer la realidad nacional y promover el desarrollo social.

En este caso la institución asignada es la Municipalidad de Guatemala. Esta requiere diversos conocimientos y actividades para mejorar las condiciones ambientales actuales de este municipio, a través la Dirección de Medio Ambiente específicamente. Para conocer la funcionalidad de la institución se realizó un diagnóstico de la misma donde se presenta un análisis detallado de las operaciones, políticas y procedimientos internos y externos para identificar las principales necesidades y áreas sujetas de mejoramiento de la misma.

La municipalidad de Guatemala es la institución autónoma que realiza las funciones básicas para el desarrollo sostenible del municipio como lo son la administración, regulación y control de la infraestructura básica de uso público del territorio y la gestión financiera, tratando de optimizar los recursos de la comunidad.

El concepto del municipio según ANAM (2007), es el bien común de la sociedad local creando condiciones para la existencia y bienestar de la comunidad y para el bien de cada uno de sus miembros.

El presente diagnóstico es indispensable para la toma de decisiones que mejoraran la realidad actual de la institución y permitirá crear líneas de acción para responder a las necesidades, intereses y demandas de la Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Guatemala con el fin de defender el derecho de la población a vivir en un ambiente sano.

## **1.2. MARCO CONCEPTUAL**

La Municipalidad por ser la entidad más cercana a su población debe velar por el bien común de todos sus habitantes, brindándoles protección, garantizando el derecho social e individual así como la conservación del medio ambiente.

Las municipalidades de Guatemala se rigen a través del Código Municipal que tiene como objetivo “desarrollar los principios constitucionales referentes a la organización, gobierno, administración y financiamiento del municipio y demás entidades locales”.

Es necesario conocer las características específicas de la Municipalidad de Guatemala, determinando sus funciones, acciones y estrategias para mantener en óptimas condiciones la vida de sus habitantes.

### **1.2.1. Municipalidad de Guatemala**

#### **1.2.1.1. Nombre de la Institución:**

Municipalidad de Guatemala, Guatemala.

#### **1.2.1.2. Ubicación Física**

21A Calle 6-77, zona 1, Guatemala.

#### **1.2.1.3. Objetivos**

La Municipalidad de Guatemala ha formulado sus propios objetivos de la siguiente manera:

- Promover actividades económicas y sociales que contribuyan a mejorar la calidad de vida, mediante la satisfacción de las necesidades y aspiraciones de la población del municipio.
- Fortalecer la identidad ciudadana, a través del encuentro ciudadano, su interacción y participación efectiva.
- Fortalecer las funciones institucionales para asegurar que los servicios ofrecidos por la Municipalidad sean prestados de manera eficaz y eficiente.

#### **1.2.1.4. Visión**

“La visión de la Municipalidad de Guatemala es crear una "Ciudad para Vivir".”

#### **1.2.1.5. Misión**

La misión de la Municipalidad de Guatemala es dar a todos los vecinos los servicios que necesitan para mejorar su calidad de vida e impulsar una convivencia en armonía.

#### **1.2.1.6. Jurisdicción Administrativa**

La capital guatemalteca aglutina a 250 áreas declaradas residenciales esta declaratoria tiene como fin primordial brindar a las familias mejores condiciones y calidad de vida. Asimismo, establece las áreas residenciales dentro de la jurisdicción del municipio de Guatemala, con el propósito de proteger, conservar y manejar adecuadamente las que se definen en el documento, y evitar los usos incompatibles en su interior (Municipalidad de Guatemala).

Las áreas dentro del municipio de Guatemala se conglomeraron en urbanizaciones, colonias, barrios y demás conjuntos de viviendas que fueron creados con dicho propósito y han prevalecido para tal fin o se han convertido a uso residencia en la ciudad capital y las cuales conforman 22 zonas.

#### **1.2.1.7. Descentralización de servicios y actividades**

La municipalidad de Guatemala ha atravesado por un crecimiento poblacional en los últimos años por lo que se han visto en la obligación de implementar estrategias para ofrecer servicios más eficientes y cercanos a cada área bajo su restricción, es por ello, que ha desconcentrado todas sus actividades en las Alcaldías Auxiliares, Mini Munis.

#### **A. Alcaldías Auxiliares**

Las alcaldías auxiliares fueron creadas como parte de la descentralización y modernismo en la prestación de los servicios municipales, estas alcaldías gestionan todas las actividades para mejorar la calidad de vida de los vecinos de acuerdo a la zona asignada (Municipalidad de Guatemala).

Estas alcaldías están constituidas por un alcalde auxiliar quien de conformidad con lo establecido en el Código Municipal, actúa como delegado del gobierno municipal, también cuentan con un coordinador y promotores los cuales varían de acuerdo a las necesidades del lugar. La municipalidad cuenta con una alcaldía auxiliar en cada zona del municipio, las cuales se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Alcaldías Auxiliares Municipalidad de Guatemala

<b>Zonas</b>	<b>Alcalde Auxiliar</b>	<b>Ubicación Física</b>
Zona 1	Oscar de León	3ª calle 5-50 zona 1, Barrio San Sebastián
Zona 2	Jorge Palacios Aldana	3ª. avenida 3-39, zona 2, Barrio Jocotenango
Zona 3	Daniel Ponce	3 avenida 21-06, Barrio Santa Marta, zona 3
Zona 4	Elden Cabrera	Centro Comercial Plaza Zona 4, Segundo Nivel, Local 213
Zona 5	Fernando Reyes	29 calle 13-36, colonia San Pedrito, zona 5
Zona 6	Onelia Roca	24 calle 15-95, zona 6, colonia Bienestar Social.
Zona 7	Rodolfo Ramírez	27 calle y 33 avenida, zona 7, colonia Bethania (a un costado salón comunal)
Zona 8	Fernando García	34 calle 0-23, zona 8
Zona 9	Julio Campos	5 avenida 13-82, Edificio Vía Nápoli oficina 24, zona 9
Zona 10	Gunther Shoenbeck	11 calle 0-65, Edificio Vizcaya, zona 10
Zona 11	Héctor Flores	Diagonal 17 13-00 colonia Mariscal, zona 11
Zona 12	Alejandra Paiz	16 avenida 19-76 oficina 304, Edificio Petapa, zona 12
Zona 13	Isabel Urruela	Final Avenida Las Américas y 25 calle, Plaza Berlín
Zona 14	Kevin Aldana	5ª. Avenida 5-55 Zona 14, Edificio Europlaza Torre III, nivel 1 Oficina 103
Zona 15	Carlos Soberanis	Blv. Vista Hermosa 15-24 Col. EL Maestro 2o. Nivel Oficina E
Zona 16	Nery Llamas	Bulevar Rafael Landivar 10-05, Paseo Cayalá edificio "A4" 2o. Nivel oficina 204, zona 16
Zona 17	Augusto Ponce	11 avenida 11-01, entrada a Colonia Colegio de Maestros, zona 17
Zona 18	Mauricio Soto	13 avenida, entre 4 y 5 calle, Colonia Lavarreda
Zona 19	Kristian Morales	8ª. avenida, entre 5 y 6 calle, interior Parque 10 de Mayo, colonia La Florida, zona 19
Zona 21	Jorge Mario García	16 avenida 11-54 zona 21 colonia Bello Horizonte
Zona 24	Urbano Martínez	Edificio Central, Parque de Canalitos, zona 24
Zona 25	Nicolás Vega	Km 12.5 carretera al Atlántico, Lote 56.

Fuente: Municipalidad de Guatemala, 2017.

## B. Mini Munis

Las Mini Munis se ubican estratégicamente en distintos puntos de la ciudad buscando estar cada vez más cerca de los vecinos (cuadro 2).

Se han creado cinco Mini Munis en donde los vecinos pueden realizar sus trámites, brindando los servicios de cobros municipales, como: agua, multas de tránsito, IUSI, venta de Boleto de Ornato y otros cobros varios a sus habitantes. Además, puede realizar sus trámites, emisión de notas para pago de IUSI, Atención al Cliente de EMPAGUA, desplegados de multas de Emetra, entre otros.

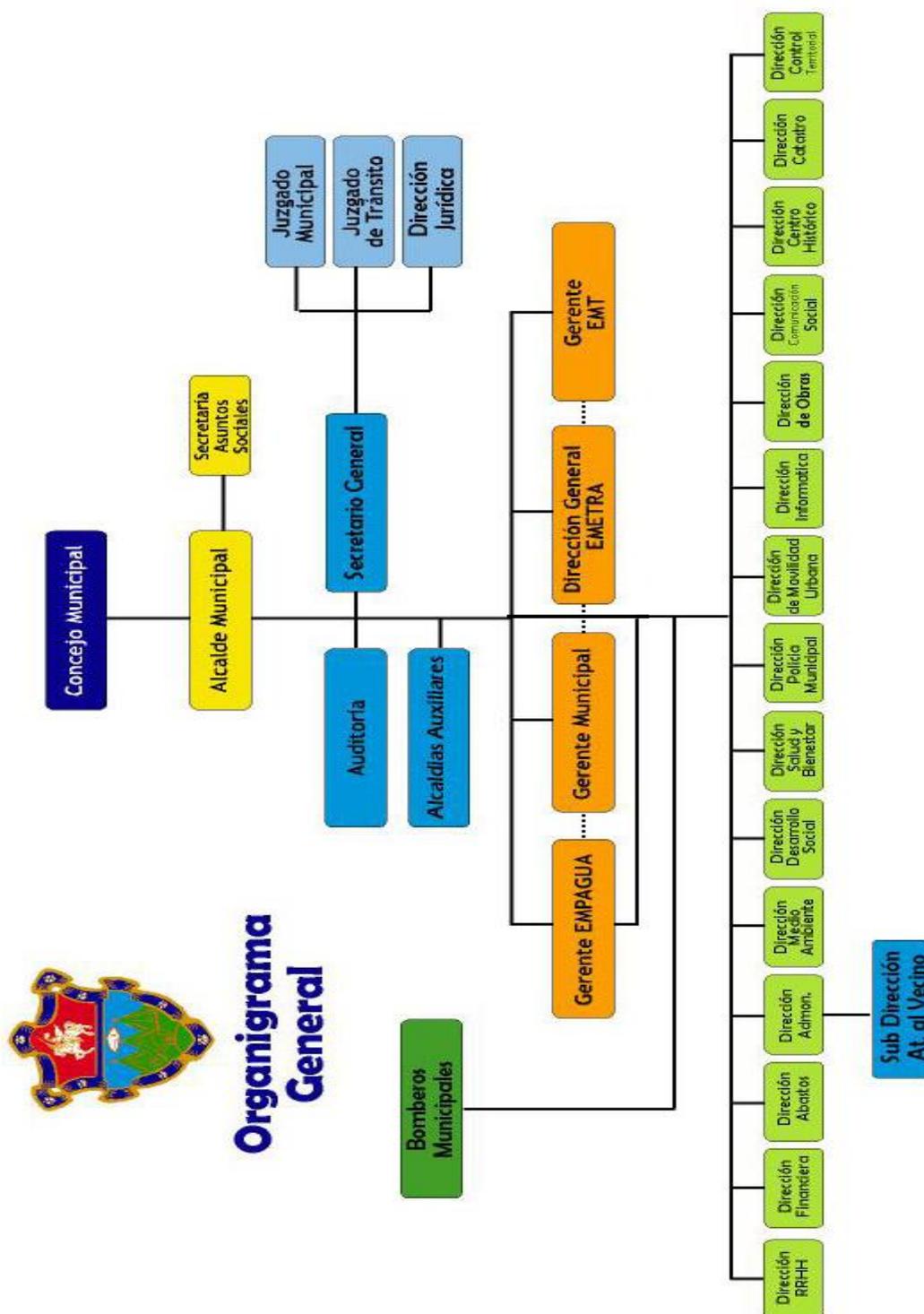
Cuadro 2. Mini Munis Guatemala

<b>Nombre</b>	<b>Ubicación Física</b>
Plaza España	7 avenida 12-39 zona 9, Edificio Etisa.
Regencia Norte	Centro Comercial Los Álamos, local 6 Km. 4.5, zona 17.
Galerías Primma	Calzada Roosevelt 14-82, Centro Comercial Galerías Primma, zona 7
Galerías del Sur	Calzada Raúl Aguilar Batres 34-70, Centro Comercial Galerías del Sur, locales 34-90, zona 11
Plaza Atanasio Tzul	Calzada Atanasio Tzul, 51-57, Centro Comercial Atanasio Tzul, local 136, zona 12

Fuente: Municipalidad de Guatemala, 2017.

### 1.2.1.8. Organigrama

En la figura 1 se muestra el organigrama general de la Municipalidad de Guatemala.



Fuente: Municipalidad de Guatemala, 2017.

Figura 1. Organigrama General de la Municipalidad de Guatemala.

La máxima autoridad del municipio de Guatemala es el Concejo Municipal, este es el órgano colegiado superior de deliberación y decisión de los asuntos municipales. Sin embargo el Alcalde es el jefe de la administración municipal y de todos los empleados administrativos.

“En un órgano colegiado todos los miembros tienen la misma calidad e igual poder de decisión. La única diferencia en el Consejo Municipal es que, en caso de empate, el Alcalde tiene doble voto” (PROMUDEL, 2007).

El Consejo Municipal es un órgano deliberante, por lo que antes de tomar una decisión se debe tener una discusión amplia según el tema. El papel del Consejo no se puede reducir a la aprobación inmediata de las propuestas del Alcalde.

### **1.2.2. Dirección de Medio Ambiente**

Tiene como finalidad la integración de todas las actividades que la Municipalidad realiza en concepto de manejo de los espacios abiertos públicos y privados, así como la coordinación interinstitucional relacionada con la gestión ambiental. Dirige todas las actividades que sean necesarias para la conservación y restauración de las áreas verdes espacios abiertos, así como mejorar la calidad de vida de la población (Dirección de Medio Ambiente, Municipalidad de Guatemala).

#### **1.2.2.1. Objetivos**

La Dirección de Medio Ambiente es la unidad encargada de velar por el bienestar socioambiental de la Municipalidad de Guatemala, con la finalidad de cumplir este bienestar se han formulado los siguientes objetivos:

- Planificar y ejecutar en coordinación con las instituciones que corresponda, todas las medidas y acciones para la protección, conservación mejoramiento y manejo ambiental del Municipio de Guatemala.
- Desarrollar programas que contribuyan a que la población del Municipio de Guatemala, perciba la importancia del medio ambiente en las diferentes actividades de desarrollo económico, social y cultural.

- Velar por la renovación urbana, sin el deterioro de los recursos naturales, la flora y la fauna del Municipio.
- Procurar una buena imagen urbana, el rescate, la restauración y/o conservación de los espacios públicos.
- Minimizar la contaminación ambiental del municipio de Guatemala.

#### **1.2.2.2. Visión**

“Tener una ciudad sin contaminación ambiental y que sus recursos naturales se manejen de forma sostenible.”

#### **1.2.2.3. Misión**

“La utilización de todos los recursos disponibles para tener una ciudad libre de contaminación, sin deterioro de sus recursos naturales y que ofrezca a los habitantes del Municipio las condiciones que les generen una mejor calidad de Vida.”

#### 1.2.2.4. Organigrama

En la figura 2 se muestra el organigrama de la Dirección de Medio Ambiente, Municipalidad de Guatemala



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 2. Organigrama General de la Dirección de Medio Ambiente, Municipalidad de Guatemala.

### **1.2.2.5. Función de las Unidades de Medio Ambiente**

#### **Área Técnica**

Las actividades que se realizan dentro del área técnica consisten en las siguientes actividades:

- Muestreos Ambientales.
- Geoprocesamiento de la información.

#### **A. Área Legal**

Son los encargados de realizar análisis jurídicos de acciones que provoquen impactos negativos al ambiente y por ende a los habitantes del municipio de Guatemala.

#### **B. Unidad de Residuos Sólidos**

Llevan a cabo procesos de capacitación para ejecutar el adecuado manejo de los desechos sólidos, buscando la reducción de materiales sólidos y su aprovechamiento dentro del Municipio.

#### **C. Planificación y Proyectos**

Esta área se encarga de evaluar, planificar y supervisar los proyectos de medio ambiente. También se enfoca en la ejecución de infraestructura, manual de parques, gimnasios al aire libre, parques ecológicos y recientemente han implementado la caracterización y manejo del cinturón ecológico municipal para crear lineamientos de conservación, recuperación protección, etc.

#### **D. Parques y Áreas Verdes**

Encargados del mantenimiento de parques, plazas y monumentos (Jardinización, riego, limpieza, pintura de bordillos), también son encargados de remodelación de parques, planificación, diseño y construcción de los mismos, control de poda y tala, mantenimiento y reforestación de áreas verdes y encargados de la reproducción de especies forestales en viveros específicos dentro de la Municipalidad de Guatemala.

## **E. Educación Ambiental**

Existe un Centro de Educación Ambiental, ubicado en la zona 2 capitalina, esta área se encarga de elaborar los programas de educación ambiental, ejecutan conferencias escolares y brindan asesoría a estudiantes de nivel primario, secundario universitario e investigadores en general. Este año realizaron su segundo rally por la educación, donde participan distintas instituciones educativas y dan a conocer su conocimiento sobre distintos aspectos ambientales.

## **F. Unidad de Sonido**

Dentro de esta área se ejecutan diversas actividades para evitar la contaminación sonora dentro del Municipio, para ello se realizan las siguientes actividades:

- Emisión de licencias para el uso de megáfonos o equipos de sonido expuestos al público en el Municipio de Guatemala.
- Recibir y revisar la documentación que se requiere para la emisión de licencias para la autorización y el uso de megáfonos equipos de sonido expuestos al público.
- Graduar el o los equipos de sonido de los establecimientos abiertos al público que hayan llenado los requisitos que establece el Acuerdo Com-2-2012.
- Atender procesos de denuncia.

## **G. Unidad de Control Ambiental**

Esta unidad le da atención y seguimiento a las diversas denuncias de contaminación que se da dentro del Municipio de Guatemala, realizan inspecciones de campo para garantizar las denuncias y por ende darle seguimientos a las mismas, realizan análisis de expediente en materia de contaminación y lo trasladan al Juzgado de Asuntos Municipales y otras dependencias del Estado de Guatemala.

## **H. Área Administrativa**

Esta área está encargada de gestionar y distribuir los fondos dentro de la Dirección de Medio Ambiente.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Conocer los procesos de la Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Guatemala, evaluando cada aspecto de relevancia, para esclarecer la problemática que se pretende atender.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

1. Recolectar información primaria y secundaria de la Municipalidad de Guatemala y Dirección de Medio Ambiente.
2. Priorizar las problemáticas de la Dirección de Medio Ambiente.
3. Plantear líneas de acción para satisfacer las necesidades de la Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Guatemala.
4. Caracterizar las funciones específicas de la municipalidad de Guatemala y la oficina de Medio Ambiente, conociendo sus mayores necesidades.

## 1.4. METODOLOGÍA

Para lograr los objetivos mencionados anteriormente se ejecutó un proceso sistemático para analizar la información de relevancia de la Municipalidad de Guatemala y su Dirección de Medio Ambiente, recolectada mediante entrevistas personales a empleados de la Dirección. También se utilizó fuentes de información secundaria; investigaciones, datos actualizados en su mayoría obtenidos directamente de la Municipalidad de Guatemala y Dirección de Medio Ambiente. Como se puede observar en la figura 3 se obtuvo el siguiente proceso:



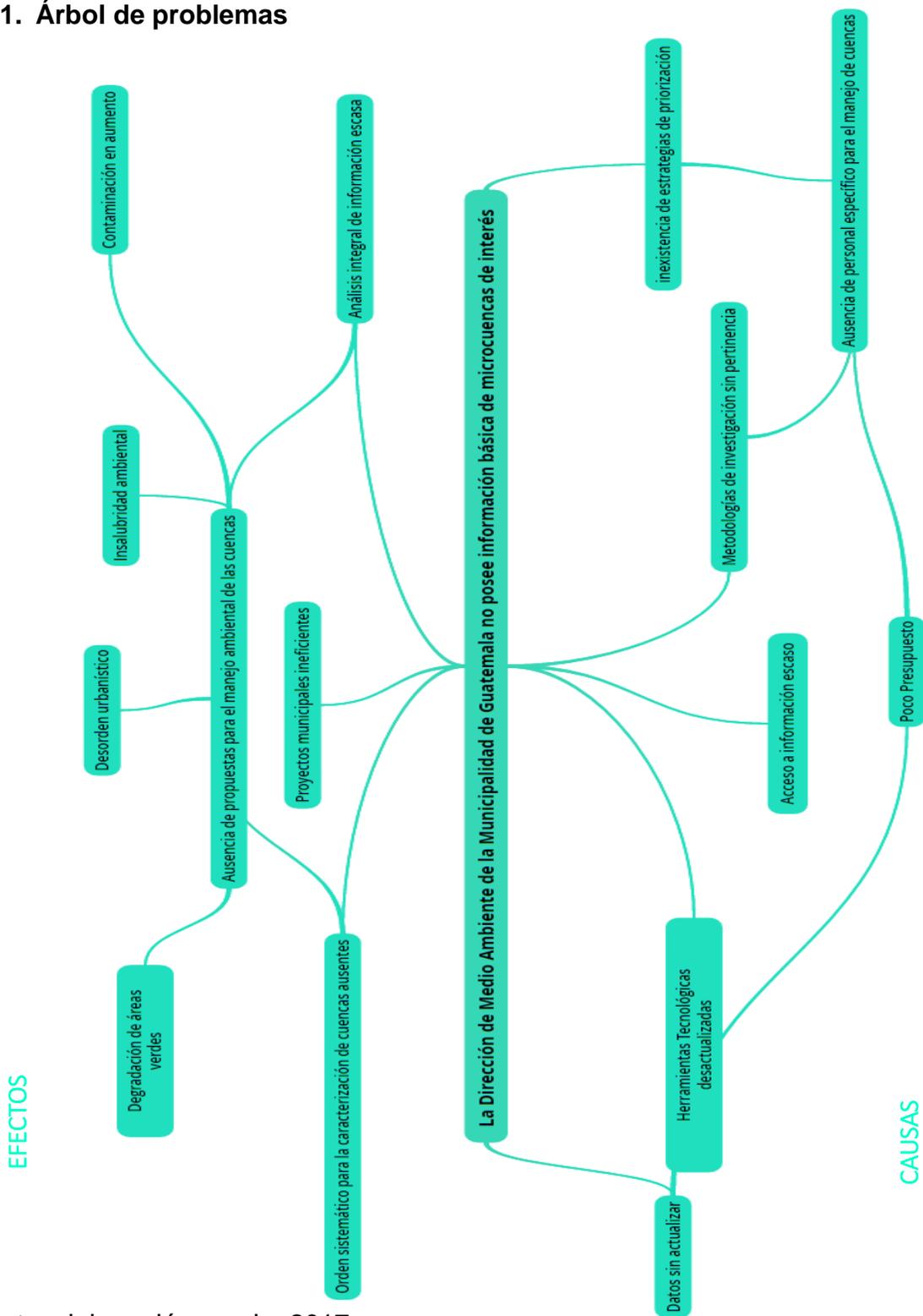
Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 3. Diagrama de la metodología del diagnóstico municipal.

Se determinó la situación actual de la Municipalidad de Guatemala y de la Dirección de Medio Ambiente, adjuntando información de distintos medios, para conocer sus estructuras y funciones de las mismas y así evaluar las acciones actuales de los diferentes grupos involucrados frente al problema de objeto de atención. Posteriormente se definió el problema de mayor interés, a su vez se identificó las causas y los efectos del mismo, ayudando a analizar las condiciones de la Municipalidad de Guatemala y su Dirección de Medio Ambiente también identificando aspectos positivos que aporten para la solución de la problemática señalada, la herramienta de apoyo en este proceso será la elaboración de un árbol de problemas y un árbol de objetivos.

## 1.5. RESULTADOS

### 1.5.1. Árbol de problemas



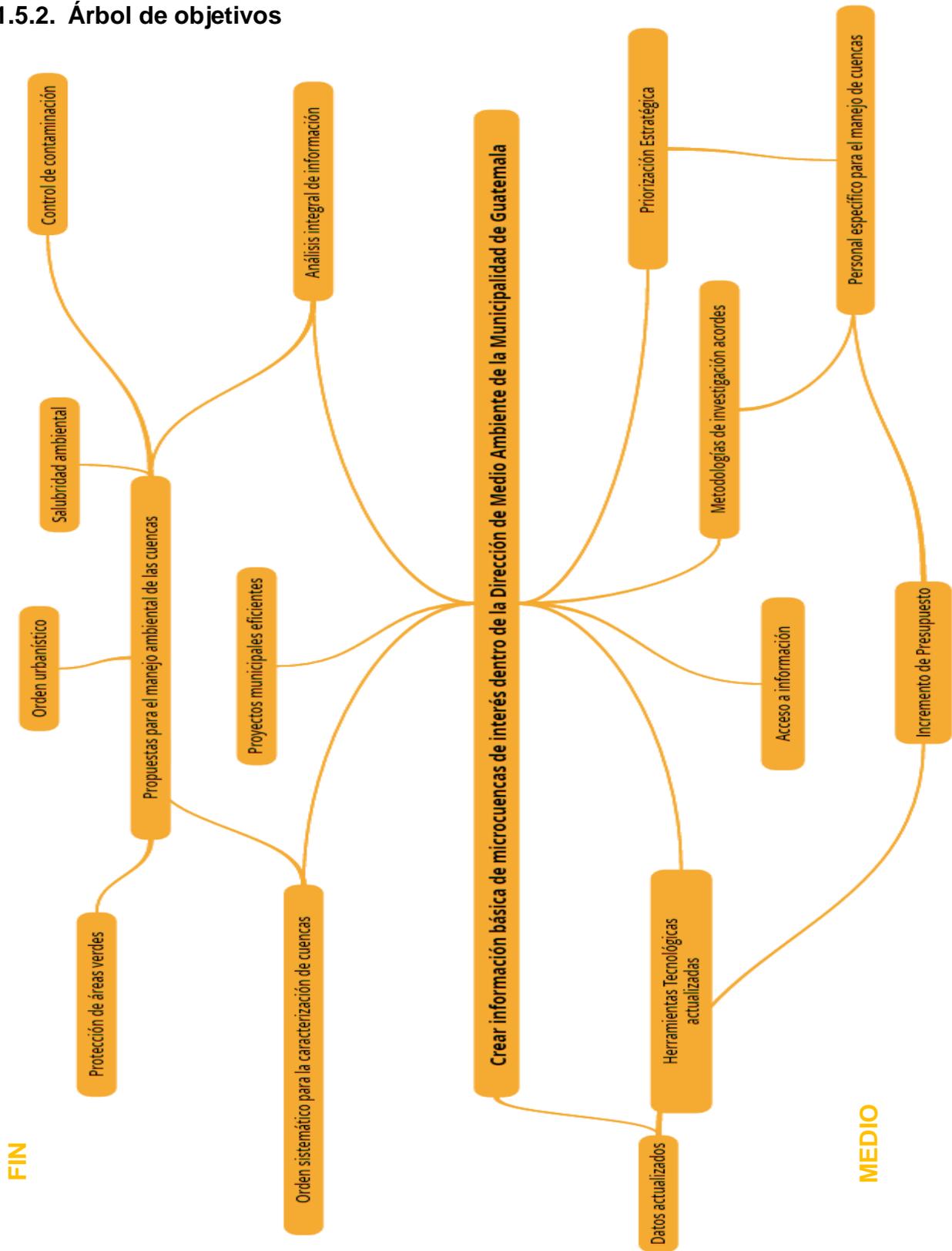
Fuente: elaboración propia, 2017.  
 Figura 4. Diagrama del árbol de problemas.

Como se puede observar en la figura 4, dentro de la Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Guatemala existen diversas problemáticas, la de mayor énfasis y preocupación para la dirección es la inexistencia de una base de datos que aporten al estudio integral de áreas de interés.

Una de las causas principales es el bajo presupuesto de la Dirección de Medio Ambiente generando diversos conflictos internos en la dirección. Entre ellos se puede mencionar la conflictividad al contratar a más personal dentro del área de investigación que aporte un análisis de manejo de cuencas, donde se brinde una priorización estratégica y metodologías para elaborar una caracterización exhaustiva. Asimismo se puede mencionar que con el presupuesto escaso no se pueden utilizar herramientas tecnológicas avanzadas para adquirir información satelital impidiendo la actualización de datos necesarios de un área específica dentro del municipio de Guatemala. Otra causa de importancia es el limitado acceso a información que se adquiere dentro de la Municipalidad de Guatemala.

Los efectos por su parte son muy notorios no solo para la dirección de Medio Ambiente sino para todos sus habitantes. No existe un orden sistemático de caracterización de cuencas ni un análisis integral de la información (inexistente) generando que los proyectos municipales sean ineficientes por no conocer la realidad de las condiciones sociales, económicas de sus habitantes dentro de su espacio físico. Sin esa información y sin un análisis de la misma no se pueden crear propuestas de manejo ambiental acordes a la situación actual de las cuencas que integran a la Municipalidad de Guatemala, generando degradación de áreas verdes, desorden urbanístico, insalubridad ambiental, contaminación en aumento, entre otros. Es por ello que se priorizará dar solución a la escasa información biofísica y socioeconómica actual de diferentes áreas municipales a través de una caracterización a nivel de microcuenca.

### 1.5.2. Árbol de objetivos



Fuente: elaboración propia, 2017.  
 Figura 5. Diagrama del árbol de objetivos.

Como se muestra en la figura 5, se deben plantear nuevas formas para resolver la carencia de información, con el fin de auxiliar el esfuerzo e iniciativa de la Municipalidad de Guatemala a través de la Dirección de Medio Ambiente para fortalecer y lograr avances en el manejo de los recursos naturales bajo su jurisdicción. Al implementar una priorización estratégica, metodologías de investigación acordes a la situación actual del área y restableciendo los datos primordiales para cualquier estudio integral, con ayuda de herramientas tecnológicas y personal de la dirección, se procurará satisfacer la necesidad mediante conocimientos y habilidades para el manejo de cuencas. Esto implica prácticas que promuevan un diseño eficiente y eficaz que considere características biofísicas y socioeconómicas.

El manejo de los recursos naturales es complejo e implica nuevos métodos de investigación que involucre acciones tanto técnicas como de evaluación local de los recursos naturales y sociales con el fin de brindar a la población bienestar ambiental con un enfoque participativo.

## **1.6. CONCLUSIONES**

1. Se adquirió una visión general de los procesos de la Municipalidad de Guatemala donde se encontraron diversas problemáticas internas, estableciendo su naturaleza y magnitud. Se priorizó la necesidad que se pretende atender.
2. Se recolectó información a través del personal técnico, administrativo y legal dentro de la Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Guatemala de libros y artículos que interpretan otros trabajos o investigaciones en páginas web en su mayoría, la cual se analizó para encontrar las ventajas que la institución tiene a la hora de querer resolver el problema de interés.
3. Se identificó el problema de priorización dentro de la institución el cual se resolverá creando una base de datos socioeconómicos y biofísicos en áreas de interés.
4. Se implementarán nuevas metodologías que ayudaran a sistematizar los procesos de caracterización socioeconómica y biofísica.
5. Se elaboró una caracterización de todas las funciones específicas de la Municipalidad de Guatemala y su dirección de medio ambiente.

## **1.7. RECOMENDACIONES**

1. Promover el uso y manejo adecuado de los recursos naturales administrados por la municipalidad de Guatemala bajo un concepto de desarrollo sostenible.
2. Generar líneas estratégicas ambientales para crear una armonía en la interacción entre los habitantes de la microcuenca y el medio ambiente.
3. Crear conciencia de la importancia de los recursos naturales y el medio ambiente para mejorar las condiciones de vida de los habitantes en el municipio de Guatemala.
4. Buscar más financiamiento para futuros proyectos dentro de la Dirección de Medio Ambiente.
5. Crear caracterizaciones biofísicas y socioeconómicas de microcuencas que todavía cuenten con área de posible protección.

## 1.8. BIBLIOGRAFÍA

1. Arteaga Basurto, C; González Montaña, MV. 2001. Diagnóstico (en línea). México, UNAM, En Desarrollo Comunitario no. 82: 82-116. Consultado 19 feb. 2017. Disponible en <http://trabajosocialmazatlan.com/multimedia/files/InvestigacionPosgrado/Diagnostico%20Carlos%20Arteaga.pdf>
2. Diagnostico institucional (en línea). 2010. SlideShare. Consultado 20 feb. 2017. Disponible en <http://es.slideshare.net/nelguzmon/diagnostico-institucional-3158540>
3. Moraga Conde, VL. 2016. Guía para elaborar plan de diagnóstico (en línea). Mazatenango, Guatemala, USAC, Centro Universitario del Suroccidente – CUNSUROC-. Consultado 14 feb. 2017. Disponible en <https://es.scribd.com/doc/69755470/GUIA-ELABORACION-PLAN-DE-DIAGNOSTICO>
4. Municipalidad de Guatemala. 2017. Municipalidad de Guatemala (en línea). Consultado 20 feb. 2017. Disponible en: <http://portal.muniguate.com/rb/471-250-sectores-residenciales>
5. Saquec, W. 2011. Módulo ley forestal decreto número 101-96, dirigido a los Consejos Comunitarios de Desarrollo (COCODE's) del municipio de Pastores, Sacatepéquez (en línea). Guatemala, USAC, Facultad de Humanidades. Consultado 13 feb. 2017. Disponible en [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/07/07\\_1124.pdf](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/07/07_1124.pdf)



**2. CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA Y SOCIOECONÓMICA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO GUADRÓN, GUATEMALA, C.A.**



## 2.1. INTRODUCCIÓN

La Municipalidad de Guatemala en su afán de proteger 94.94km<sup>2</sup> de espacios verdes naturales (denominado como Cinturón Ecológico Municipal), se ha visto en la necesidad de identificar áreas prioritarias e implementar el manejo sostenible de las mismas. Con este fin se realizó un estudio a nivel de microcuenca del río Guadrón.

Antes de realizar cualquier tipo de acción para el aprovechamiento y conservación de los recursos naturales, se debe tener una visión integral de todos los elementos biofísicos, sociales, económicos y ambientales claves que conforman el área prioritaria. De esta manera se hizo una descripción detallada de las condiciones actuales en que se encuentra cada elemento de relevancia. La caracterización de la microcuenca es esencial para la comprensión y diseño inicial de su manejo, con el propósito de identificar las problemáticas de mayor interés, así como las acciones actuales para resolverlos y sus posibles mejoras.

Por tal razón, la caracterización de la microcuenca debe ser tomada como un modelo guía de análisis, donde se identifiquen los elementos y los factores más representativos de importancia social, económica y ambiental, escenarios sobre los cuales deben sustentarse las medidas preventivas para controlar situaciones de contaminación de aguas superficiales, erosión de suelos, sedimentación, deforestación, inundaciones, desastres naturales y falta de ordenamiento territorial. En tal sentido las acciones por realizar se enmarcan en la caracterización de la microcuenca del río Guadrón.

Aunque la Municipalidad de Guatemala ha identificado y clasificado sus áreas verdes naturales en G0 (natural) y G1 (rural) dentro de su Plan de Ordenamiento Territorial, no ha implementado una caracterización de las mismas. Esto ha generado preocupación por parte de la Municipalidad ya que no existe una base de datos útil para el manejo sostenible de estas áreas de interés.

Los efectos por no poseer información, son muy notorios, no sólo para la Municipalidad sino para todos sus habitantes. No existe un orden sistemático de caracterización de cuencas ni un análisis integral de la información generando que los proyectos municipales sean ineficientes por no conocer la realidad de las condiciones sociales y económicas de sus habitantes dentro de su espacio físico. Sin esa información y sin un análisis de la misma no se pueden crear propuestas de manejo ambiental acordes a la situación actual de las cuencas que integran el municipio de Guatemala, generando degradación de áreas verdes, desorden urbanístico, insalubridad ambiental, contaminación en aumento, entre otros. Es por ello que se priorizó la generación de datos para completar y fortalecer la escasa información biofísica y socioeconómica de distintas áreas municipales que abarca la microcuenca.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Marco Conceptual**

#### **2.2.1.1. Cuenca hidrográfica**

Existe una división territorial natural cuyo límite es la línea divisoria de las aguas ubicada en los puntos más altos o de mayor cota topográfica del área que encierra a un río, conocidos como cerros o parteaguas (Ramakrishna, 1997).

De acuerdo a Basterrechea, *et al.*, (1996) y World Vision, (2004) existen tres características fundamentales que definen a las cuencas hidrográficas:

- 1) Sus líneas divisorias de aguas o “parte aguas” son límites naturales por medio de las cuales el territorio ya se encuentra dividido en cuencas.
- 2) Son una unidad de territorio drenada por un sistema de afluentes que contribuyen a alimentar un curso de agua principal, el cual su vez, conduce las aguas hasta su nivel de base donde la cuenca entrega sus aguas a otra cuenca, un lago o el mar.
- 3) Presentan una dinámica definida por las interacciones sistémicas entre los recursos agua, suelo y vegetación y el impacto que sobre estas interacciones tienen las decisiones en materia de uso de los recursos naturales tomadas por distintos agentes económicos.

#### **A. Clasificación de las cuencas**

Según el Modulo I del Curso Integral de Cuencas Hidrográficas de CATIE (2006), la clasificación de las cuencas puede ser:

##### **a. Por su concentración de drenaje**

- Cuenca: “Se entiende por cuenca hidrográfica la porción de territorio drenada por un único sistema de drenaje natural. Un cuenca hidrográfica se define por la sección del río al cual se hace referencia y es delimitada por la línea de las cumbres también llamada divisor de aguas”.
- Subcuenca: “Son los ríos secundarios que desaguan en el río principal. Cada afluente tiene su respectiva cuenca.” Es decir una cuenca puede dividirse en varias subcuencas.

- Microcuenca: “Son los afluentes de los ríos secundarios, entendiéndose por caños, quebradas, riachuelos que desembocan y alimentan a los ríos secundarios”.

La clasificación de la cuenca por su tamaño presenta estas características cualitativas pero existen otros criterios con un enfoque distinto, los cuales definen el tamaño de la cuenca con parámetros cuantitativos. Éstos están relacionados con el número de orden de drenaje o el área que abarca la delimitación natural del estudio. (Ver cuadro 3)

Cuadro 3. Clasificación de cuencas, subcuencas y microcuencas.

<b>Unidad</b>	<b>N° de Orden</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>
<b>Microcuenca</b>	1,2,3	10-500
<b>Subcuenca</b>	4,5	500-2000
<b>Cuenca</b>	6,7 o más	Más de 2000

Fuente: Jiménez, F., 2000.

Esta clasificación es relativa y depende de las condiciones y objetivos del área de interés.

#### **b. Por su conducción final**

- Exorreicas: Vierte sus aguas a un sistema mayor de drenaje como el mar u océano.
- Endorreicas: Desembocan en lagos o lagunas, sin llegar al mar.
- Arreicas: Este drenaje no logra desembocar a un río, mar o lago. Sus aguas se evaporan o se filtran en el terreno.
- Criptarréicas: Sus redes de drenaje superficial no tiene un sistema organizado y corren como ríos subterráneos.

#### **c. Por su relieve**

- Cuencas planas: Estas cuencas no muestran en su relieve un cambio considerado, ya que están al mismo nivel del mar.
- Cuencas de alta montaña: En este tipo de cuenca, la corriente del río se desplaza por una gran pendiente.

- Cuencas accidentadas o quebradas: Esta cuenca tiene dentro de su área distintos niveles de inclinación.

#### **d. Por su ecosistema**

- Cuencas áridas: Estas cuencas se caracterizan por escasas de agua.
- Cuencas tropicales: Las condiciones de temperatura y luz permanecen constantes durante todo el año dentro de la cuenca.
- Cuencas húmedas: Existe gran cantidad de agua, generalmente resaltan zonas planas, generando inundaciones.
- Cuencas frías: Áreas de temperaturas frías, acumulación y compactación de nieve.

#### **e. Por su objetivo**

- Para generar energía.
- Abastecimiento de agua potable.
- Agua para riego.
- Turístico.
- Ganaderas.
- Usos múltiples

### **B. Partes de la cuenca**

Las partes de la cuenca según la altitud:

- Parte alta: Parte donde existe recarga hídrica dando pauta al nacimiento de agua por procesos geológicos, además proporciona otros materiales a parte baja de la cuenca.
- Parte media: Punto de transición entre el material sólido que llega por la corriente y el material que sale. Escorrentía, transporte de sedimentos.

- Parte baja: Asolvamiento de todo el material extraído de la parte alta.

“En función de los rangos de altura que tenga la cuenca. Si la diferencia de altura es significativa y varía de 0 m a 2,500 m s.n.m., es factible diferenciar las tres partes, si esta diferencia es menor, por ejemplo de 0 m a 1,000 m s.n.m., posiblemente sólo se distingan dos partes, y si la cuenca es casi plana será menos probable establecer partes” (CATIE, 2006).

### **C. Funciones de la cuenca**

Dentro de las funciones de la cuenca de acuerdo con Modulo I del Curso Integral de Cuencas Hidrográficas de CATIE (2006) se puede mencionar:

#### **a. Funciones ambientales**

Las cuencas pueden albergar áreas verdes naturales que contribuyan a la absorción del CO<sub>2</sub> generado, regulan la recarga hídrica de los acuíferos y los ciclos hidrológicos, conserva la biodiversidad y procura mantener la integridad y la diversidad de los suelos.

#### **b. Función ecológica**

Las cuencas brindan un espacio para la acumulación de agua así como la interacción del mismo con otros factores ecológicos de relevancia. Provee hábitat a la flora y fauna que aporten a cada elemento biológico una interacción o conexión dentro del ecosistema.

#### **c. Función hidrológica**

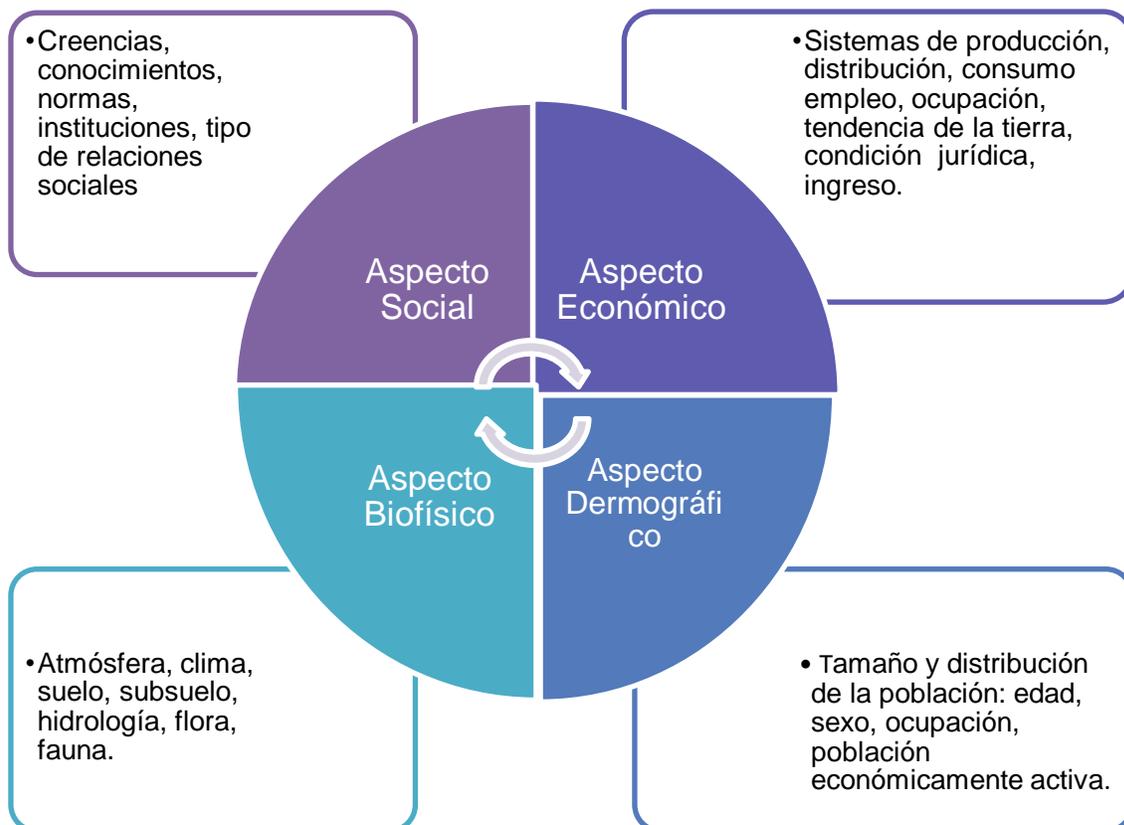
Captan el agua proveniente de diferentes fuentes, como la precipitación para formar el escurrimiento de manantiales, ríos y arroyos, almacenan el agua en diferentes formas y tiempos de duración y finalmente descarga el agua como escurrimiento.

#### d. Función socioeconómica

Provee recursos naturales a los seres humanos para el desarrollo de sus actividades productivas generando bienestar económico, también le da a la sociedad espacios de recreación, así como salubridad ambiental.

#### D. Cuenca hidrográfica como sistema

La cuenca concebida como sistema dentro del medio ambiente, está compuesta por las interacciones de los subsistemas social, económico, demográfico y biofísico según Jiménez, F., 2000. (figura 6).



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 6. Diagrama de una cuenca hidrográfica como sistema.

De la magnitud en calidad y cantidad de las interacciones de los mencionados subsistemas surge la dimensión de su cobertura y nivel de complejidad, es decir, el grado de sobreposición de los subsistemas entre si determinen el nivel de independencia de los

subsistemas o el grado de conflicto de los diferentes intereses concurrentes en el sistema. En relación al sistema social se define como un grupo humano que busca una imagen prospectiva y relativamente independiente, que ocupa un territorio, comparte una cultura y tiene dentro de este grupo a la mayoría de sus asociaciones. Dentro de los subsistemas de mayor relevancia dentro de una cuenca podemos citar los siguientes: el social, el económico, el demográfico y el biofísico (Jimenez, F. 2000).

### **E. Enfoques y criterios de cuenca hidrográficas**

Según la World Vision (2004) en su "*Manual de Manejo de Cuencas*" uno de los aspectos básicos a considerar en los procesos de planificación y manejo de cuencas o microcuencas, ha sido la delimitación física del ámbito de análisis. Resulta que los límites territoriales de las comunidades, poblaciones, cantones, municipios, departamentos, provincias, regiones y países son diferentes o no coinciden con los límites naturales de una cuenca, subcuenca o microcuenca. En algunos casos los límites político-administrativos coinciden con el curso de un río principal, o con otros detalles del terreno, pero muy pocas veces coinciden con las líneas divisorias de las aguas. Los límites político-administrativos obedecen a otras consideraciones, de índole económico, social, cultural o político.

Algunos proyectos de interés a ejecutar en una cuenca muchas veces fracasan debido a que no se le da un enfoque integral, simplemente plasman el manejo de cuencas como un medio de acción específico para el agua, cuando en realidad se debe conocer la relación del recurso hídrico con otros factores de interés y analizar cómo interactúan entre sí dentro de la cuenca como sistema. Conociendo esta interacción y sus características es importante priorizar la(s) problemática(s), según la necesidad de los afectados, el interés de resolverlos, la disponibilidad de los recursos, el compromiso de los actores e instituciones involucradas. Esta dinámica está dirigida a cuencas urbanas y/o cuencas municipales.

"En general, para desarrollar los procesos metodológicos, se pueden enfocar aspectos integrales, sectoriales, de recursos naturales o de desarrollo en general. La base de tomar a la cuenca como unidad de planificación y manejo, obedece a una decisión de ordenar y manejar los elementos de este sistema, aprovechando las ventajas y beneficios que le ofrece, comparando con otras alternativas de manejo, considerando las condiciones de cada lugar" (World Vision, 2004).

La prioridad del manejo de cuencas se debe enfocar directamente a los actores de interés, conocer su entorno social, cultural, económico y biofísico, y así plantear un manejo integral

ya sea para la conservación, recuperación y/o protección de sus recursos naturales o para mejorar el ambiente, según sea sus necesidades.

Por lo tanto para lograr esto, hay que capacitar a las personas (organizaciones, comunidades, familias, hombres, mujeres, jóvenes, niñas y niños), fortalecerlo en su capacidad de gestión y sobre todo para que sean capaces de crear alternativas que le brinden beneficios y pueda lograr su bienestar (World Vision 2004).

En el cuadro 4 se puede apreciar la relación de los principales enfoques de manejo de cuencas según World Vision (2004).

Cuadro 4. Enfoque de manejo de cuencas.

<b>Dimensión</b>	<b>Enfoque</b>	<b>Concepto</b>
Ambiente	Manejo Integral de Cuenca	Cuando el enfoque es amplio y se define que el centro de la planificación y manejo es el ambiente, pero manteniendo el rol estratégico del recurso hídrico. Se da origen al "Manejo Integral de Cuencas".
Recursos Naturales	Manejo Sostenible de Cuenca	Cuando los recursos naturales constituyen el centro de la planificación y manejo, pero se mantiene al recurso hídrico como elemento integrador en la cuenca. Se da origen al "Manejo Sostenible de Cuencas".
Agua	Manejo de Cuenca	Cuando el agua es el centro de la planificación y manejo, allí adquiere predominancia el concepto de calidad y cantidad de agua, y dependen de cómo funciona y cómo se maneja el sistema hídrico. Se da origen al "Manejo de Cuencas".

Fuente: elaboración propia, 2017.

“Una cuenca totalmente en equilibrio y sin presión de uso de la tierra o de sus recursos naturales, no requeriría una aplicación de esta naturaleza, aunque hoy en día sería poco probable encontrar esta situación. Por el contrario, ante diferentes situaciones de contaminación de aguas, erosión de suelos, sedimentación, deforestación, inundaciones, desastres naturales, baja productividad de la tierra y falta de ordenamiento territorial; se hace muy necesario aplicar alguna alternativa que logre resultados de impacto a favor del desarrollo sostenible y del bienestar humano” (World Vision, 2004).

## **F. Responsabilidad de la cuenca**

“Los actores y usuarios de las cuencas, en su variedad de tenencia de los espacios, recursos, obras físicas y actividades; adquieren responsabilidades y derechos, según

sistemas de propiedad adquiridos, concesiones, normas técnicas, leyes y decisiones propias” (World Vision, 2004).

Las decisiones para el manejo de las cuencas las deben tomar todos los actores involucrados, los dueños de la tierra, las instituciones y la sociedad en general, según su compromiso y responsabilidad de conservar los recursos naturales o resguardar el ambiente dentro de la cuenca por medio de actitudes favorables o bien de consenso. Por lo tanto la cuenca genera un compromiso colectivo.

Por otra parte sí existen entidades que toman la responsabilidad y la iniciativa de indicar, limitar, promover y realizar acciones específicas que logren el manejo sostenible e integral de la cuenca.

### **G. Cuencas sujetas a extensos centros urbanos**

Las cuencas además de ser los territorios apropiados para conducir los procesos de manejo, aprovechamiento, planeación y administración de los recursos naturales, en su sentido más amplio y general, son espacios geográficos donde los grupos y comunidades comparten identidades, tradiciones, cultura y en donde socializan y trabajan los seres humanos en función de su disponibilidad de recursos renovables y no renovables. En las cuencas la naturaleza obliga a reconocer necesidades, problemas, situaciones y riesgos comunes, por lo que debería ser más fácil coincidir en el establecimiento de prioridades y objetivos que permiten la práctica de principios básicos para la supervivencia de la especie, como el de responsabilidad y el de solidaridad en el cuidado y preservación de los recursos naturales llevando a cabo una gestión integral (CATIE, 2006).

Estas interacciones generan que dentro de las cuencas se asientan poblaciones y crezcan los espacios urbanos en particular aquellas que están ocupadas por grandes sectores poblacionales, comerciales e industriales. Estas cuencas son a veces denominadas en forma simplificada pero incorrectamente como “*cuencas urbanas*”. Para conducir procesos de gestión integrada de cuencas y de los recursos naturales se deben realizar alianzas entre múltiples actores principales dentro de las cuencas así como los que actúan en forma sectorializada sobre territorios que no coinciden con los límites de las mismas. En cuencas con estas características se debe enfatizar en la necesidad de rehabilitar el recurso del agua por el alto valor que tienen para la conservación de la calidad ambiental y consumo de la población urbana, la mitigación de ciertas amenazas, la supresión de espacios verdes y el control de contaminación ambiental (CEPAL, 1999).

## **a. Urbanización**

La urbanización o la concentración de la población en las zonas urbanas es un reflejo del movimiento migratorio del medio rural al urbano y de la reclasificación de las zonas rurales en urbanas. Este crecimiento se ha dado normalmente sin considerar la interacción que existe entre el medio urbano y los espacios físicos donde se asientan (CEPAL, 1999). El incremento de desechos sólidos y líquidos, las emisiones de gases de efecto invernadero, la deforestación, así como el deterioro de la calidad de vida de los habitantes son algunos de los impactos provocados por esta extensión urbana.

### **i. Contaminación Hídrica**

Las autoridades, industrias y la población en general han asignado poca importancia a la protección de la calidad del agua. Las principales fuentes de contaminación de las aguas son la descarga directa de aguas servidas de origen doméstico e industrial sin ningún tratamiento previo. Otro factor importante que contribuye a la contaminación de las aguas es la deposición directa de desechos sólidos en los cuerpos de agua cercanos a las poblaciones. En la distribución geográfica de las fuentes puntuales de la contaminación del agua, predominan los flujos provenientes de las grandes áreas metropolitanas. En consecuencia, muchos cuerpos de agua, cerca de las grandes zonas urbanas, son poco más que alcantarillas abiertas (CEPAL, 1999).

### **ii. Drenaje urbano**

Muchas veces suele ser limitado el uso de sistemas separados de drenaje de aguas de lluvia y de aguas servidas en las zonas urbanas (CEPAL, 1990 y 1992). En general, estos sistemas sólo existen en puntos estratégicos dentro de las ciudades. Muchas veces los centros urbanos se caracterizan por tener sistemas de desagüe combinados, en los cuales las aguas de escorrentía urbana son transportadas por el sistema de alcantarillado en conjunto con aguas servidas de origen doméstico e industrial (Díaz, 1980).

### **iii. Deforestación**

La expansión de las áreas urbanas contribuye a la degradación y pérdida de áreas boscosas debido a los distintos tipos de construcciones de infraestructuras de comunicación y productivas así como los asentamientos humanos en las áreas de laderas en su mayoría, generando un impacto inmediato en la pérdida de la cobertura forestal.

### **2.2.1.2. Caracterización de las cuencas**

De acuerdo a Ramakrishna, B. (1997), la visión preliminar de la cuenca es esencial para la comprensión y caracterización inicial de su manejo, con el propósito de identificar los grandes problemas, los esfuerzos hechos hasta ahora y la proyección futura. Esta es una actividad que provee elementos y juicios para definir las etapas y acciones posteriores de manera más detallada, tales como los diagnósticos, la planificación, la preparación de proyectos, la implementación y el monitoreo.

Para tener una visión preliminar de la cuenca de interés, se debe tener información estrechamente relacionada entre sí, esta información se puede agrupar en tres aspectos: biofísicos, socioeconómicos e institucionales, los cuales deben ser identificados y descritos de forma amplia y clara. También se requiere conocer los cambios que se han generado a través de los años dentro de la cuenca recalcando los eventos de mayor importancia que han afectado a la misma de forma positiva o negativa. Los aspectos con más peso sobre la cuenca se deben caracterizar de forma detallada para conocer el estado actualizado de la cuenca. Ya con esta información se puede analizar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de la cuenca.

A grandes rasgos los aspectos biofísicos deben de abarcar diversas características como; vulnerabilidad a degradación ambiental, conflictividad de uso, determinar áreas de conservación, estado general de los recursos hídricos y edáficos, especificidad local, oportunidades especiales del área.

En cuanto a los aspectos socioeconómicos se debe incluir información de la población, demografía, capacidad de adaptación a cambios dentro de la cuenca, cultura, educación, salubridad, tendencia de la tierra, accesibilidad a servicios básicos, principales fuentes de producción, entre otros.

Por otra parte las instituciones relacionadas con la cuenca demandan un análisis sintético donde se abarque la región, el gobierno local y el tipo de proyecto que probablemente incluya el manejo de la cuenca.

“Esta etapa consiste, entonces en un análisis de tipo diagnóstico, tanto biofísico como socioeconómico, más el análisis de las intervenciones institucionales, todos hechos en dos dimensiones; espacio y tiempo” (Ramakrishna, 1997).

En esta investigación se le dará prioridad a dos ejes fundamentales para el análisis dimensional de la cuenca, caracterización biofísica y socioeconómica.

## A. Caracterización biofísica

La caracterización biofísica en una cuenca hidrográfica está orientado a identificar, precisar y dimensionar las situaciones que se presentan en el medio biofísico; este análisis permite identificar la oferta y estado de los recursos naturales, el ambiente y la capacidad de carga de una cuenca en un momento dado; es decir, identificar el estado y la tendencia de los componentes biofísicos que constituyen el sistema de la Cuenca. Los estudios básicos de erosión de suelos, uso actual, uso potencial, conflictividad de uso, hidrología, hidroclimatología, etc., son aspectos técnicos que deben interpretarse a fondo para obtener de ellos la información necesaria tendiente a lograr la precisión y el dimensionamiento de las situaciones; además nos proporciona alternativas de solución para garantizar la modificación favorable del estado de las situaciones ambientales (Jiménez, F. 2000).

La interpretación e interrelación de los diferentes componentes del sistema cuenca permite establecer la gama de situaciones que ameriten ser manejadas de manera priorizada, el dimensionamiento de ellas permite cuantificar la magnitud del proyecto que debe formularse para obtener la modificación deseada en el ámbito biofísico, social y económico.

Como resultado del análisis, evaluación e interpretación se obtendrá:

- Situaciones dimensionales de los procesos biofísicos y recursos.
- Causas, origen o factotes determinantes del problema.
- Efectos, consecuencias o influencias del problema.
- Análisis espacial de los problemas o situaciones.
- Interpretación de conflictos.
- Tendencias de la situación y alternativas de la solución/proyectos.
- Prioridad y necesidades primarias. (Jiménez, F. 2000)

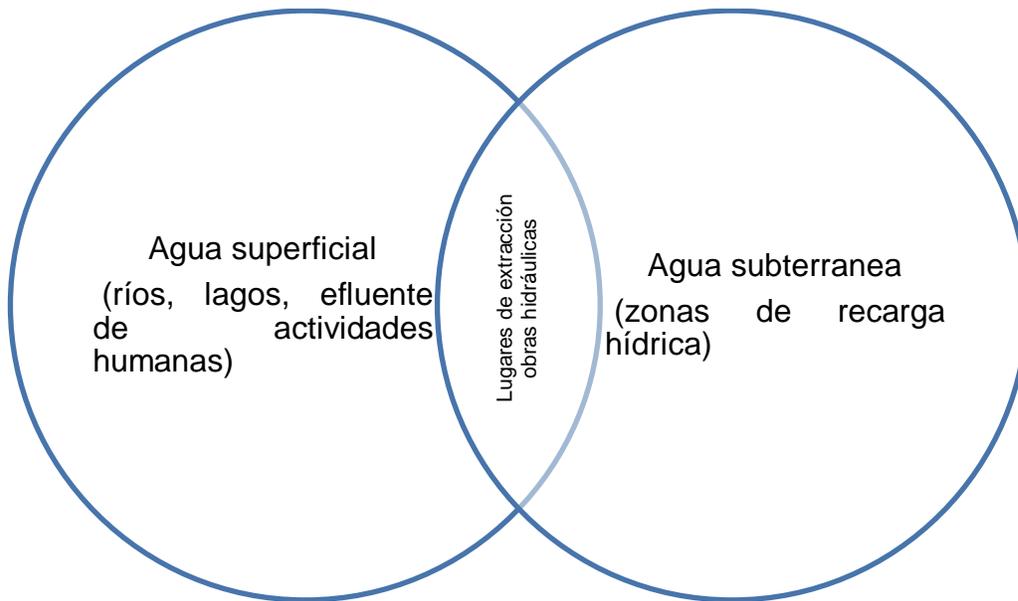
Dentro de la caracterización biofísica se priorizará el recurso agua y recurso suelo:

### a. Recurso hídrico

El agua es un recurso sumamente importante e indispensable para la vida del ser humano, lamentablemente todas sus características fisicoquímicas, biológicas, morfométricas, entre otras, están bajo diversas amenazas de origen antrópico o natural, que afectan al recurso superficial o subterráneo tanto en su calidad como en su cantidad.

De acuerdo con Dourojeanni, A. (2002), las cuencas son adecuadas para la gestión integrada del agua debido a que son las principales formas terrestres dentro del ciclo hidrológico que captan y concentran el agua que proviene de las precipitaciones.

En la figura 7, se presenta un diagrama que establece la relación de los recursos hídricos de una cuenca.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 7. Diagrama relación hídrica de una cuenca.

Las características físicas del agua generan un grado de interrelación e interdependencia (externalidades o efectos externos) entre los usos y los consumidores del agua en una cuenca.

“Las aguas superficiales y subterráneas, sobre todo ríos, lagos y fuentes subterráneas, así como las cuencas de captación, las zonas de recarga, los lugares de extracción de agua, las obras hidráulicas y los puntos de evacuación de aguas servidas, incluidas las franjas costeras, forman, con relación a una cuenca, un sistema integrado e interconectado” (Dourojeanni, 2002).

La importancia del agua en una cuenca va a depender del entorno en que se encuentre este recurso, priorizando su manejo ya sea para conservación del paisaje, aprovechamiento para riego o abastecimiento de agua potable. Independientemente del uso que se le dé al río, lago, fuentes subterráneas, etc., sus características físicas, químicas, biológicas y su disponibilidad se verá alterada en la parte alta de la cuenca repercutiendo aguas abajo. Esto quiere decir que, si hay una alteración en el patrón de drenaje, explotación descontrolada de agua, descarga de aguas residuales en la parte alta de la cuenca, la parte baja se verá afectada con escases del recurso, altos índices de contaminación en el agua, entre otros. De lo contrario, si al agua se le da un manejo adecuado desde la parte superior puede aprovecharse reiteradamente.

“El agua retorna a la corriente en cierto punto aguas abajo, ya sea en forma directa, mediante escorrentía superficial o indirecta, mediante el agua subterránea” (Dourojeanni, A. 2002).

Esto convierte a la cuenca en la unidad territorial apropiada de análisis para la toma de decisiones de gestión del agua, especialmente en cuanto a sus usos múltiples, su asignación y el control de su contaminación (Dourojeanni, A. 2002).

### **i. Morfometría de la cuenca**

La Morfometría de la cuenca analiza distintos parámetros físicos como lo son el tamaño, simetría, elongación y contorno con el fin de conocer el comportamiento del caudal perteneciente a la cuenca, es decir la forma de la cuenca condiciona la escorrentía superficial.

“La medición de los factores de forma de una cuenca se realiza por medio de una metodología que permite cubrir dos objetivos. El primero, es que permite comparar la forma de la cuenca con figuras geométricas conocidas; el segundo, es que permite comparar los resultados de las mediciones, los cuales son adimensionales, con los obtenidos en otras cuencas en las que se puede tener mayor información histórica de su comportamiento hidrológico” (Rojo, Julián. Morfometría de Cuencas).

### **ii. Recarga potencial**

La demanda de agua para consumo humano ha aumentado considerablemente y si a esto se le suma la contaminación desmesurada en aguas superficiales, la cantidad de agua dulce disponible se reduce de forma exagerada, ocasionando la explotación irresponsable

del agua subterránea debido a que presentan menos probabilidad de contaminación antrópica.

En un área con alta concentración poblacional se debe determinar el potencial de recarga de los mantos acuíferos para no extraer este recurso a través de pozos, más allá de su capacidad.

“Identificar adecuadamente las zonas de recarga es necesario para establecer estrategias de protección y preservación de las mismas hacia el manejo del recurso agua, ya que el deterioro de las zonas de recarga hídrica y la disminución de caudales se deben, por una parte, a que no se conoce dónde se ubican las principales zonas de recarga y, por otra, a que los actores locales u organismos responsables del manejo de las cuencas no disponen de metodologías prácticas necesarias de caracterización de estas zonas” (Chamorro Castillo, Katherine Mishell, 2017).

#### - **Recurso edáfico**

El suelo es la parte superficial de la corteza terrestre que abarca diferentes variables como la profundidad, textura, humedad, infiltración, fertilidad, en general indicadores que afectan a la vegetación y otros organismos. En esta parte de la corteza terrestre crecen las plantas que proporcionan al hombre bienestar ambiental (cobertura vegetal captación de CO<sub>2</sub>, recarga hídrica, etc.), económico (producción de materia prima) y social (seguridad alimentaria).

Por otra parte la tierra es una zona de la superficie terrestre que comprende todos los aspectos del ambiente natural de una parte de la superficie de la tierra, en la medida en que ellos ejerzan una influencia significativa sobre su potencial de uso por el hombre. Incluye la geología, la fisiografía, los suelos, el clima, la vegetación (FAO 1976, 1985, 1991).

### **iii. Calidad del agua**

Se debe conocer la calidad física, química y biológica del agua para cumplir con los requisitos necesarios para su uso y su vez garantizar la salud del humano, en dado caso la calidad de agua no se encuentre en sus mejores condiciones, se debe conocer los tipos de contaminantes presentes en el recurso hídrico. Teniendo estos conocimientos, el agua en mal estado puede ser tratada a través de procesos acordes para mejorar sus índices de calidad.

Los índices de calidad, como forma de agrupación simplificada de algunos parámetros, indicadores o variables de un deterioro en la calidad del agua, es una manera de evaluar la misma de cualquier cuerpo de agua. Sin embargo, para que los resultados se lleven a cabo a través de procedimientos prácticos se debe reducir la enorme cantidad de parámetros a una forma más simple. Por otro lado, si el diseño del índice es adecuado, el valor arrojado puede ser representativo e indicativo del nivel de contaminación y comparable con otros para enmarcar rangos y detectar tendencias.

Para determinar la calidad de agua se utilizara la siguiente metodología:

#### - **Índice simplificado de la calidad del agua (ISCA)**

En esta metodología la calidad del agua se verifica mediante distintos índices, los índices fisicoquímicos se fundamentan en analizar parámetros físicos y químicos, los cuales para calidad del agua tienen un valor adimensional (calificación) entre uno y cien, el cuerpo de agua que obtenga un valor cercano a cien posee excelente calidad de agua, y el valor cercano a uno posee baja calidad de agua. El índice simplificado de calidad del agua (ISCA), es un índice multiparámetro que analiza las siguientes variables: temperatura, demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), oxígeno disuelto (OD) y conductividad (Dirección de Medio Ambiente, Municipalidad de Guatemala, 2016).

### **b. Análisis de la tierra**

#### **i. Uso de la tierra**

Descripción de las formas de uso de la tierra. Puede ser expresado a un nivel general en términos de cobertura vegetal. A un nivel más específico se habla de tipo de uso de la tierra, el cual consiste en una serie de especificaciones técnicas dentro de un contexto físico, económico y social (FAO 1985, 1991).

#### **ii. Capacidad de uso de la tierra**

Determinación en términos físicos, del soporte que tiene una unidad de tierra de ser utilizada para determinados usos o coberturas y/o tratamientos. Generalmente se basa en el principio de la máxima intensidad de uso soportable sin causar deterioro físico del suelo (Klingebiel y Montgomery 1961).

### **iii. Uso potencial de la tierra**

Uso virtualmente posible con base en la capacidad biofísica de uso, y las circunstancias socioeconómicas que rodean a una unidad de tierra. Indica el nivel hasta el cual se puede realizar un uso según la supuesta capacidad del suelo, bajo las circunstancias locales y actuales. Bajo este contexto, el uso potencial es menos intensivo o de igual intensidad que el uso a capacidad, pero nunca más intensivo (Ritchers 1995).

### **iv. Uso correcto**

Uso que indica que no existe alguna diferencia entre la capacidad de uso de la tierra y el uso que se le esté dando actualmente.

### **v. Sobreuso de la tierra**

Es la unidad de tierra en la cual se está utilizando más allá de su soporte físico.

### **vi. Subuso de la tierra**

Unidad de tierra en la cual no se está aprovechando su mayor potencial.

### **vii. Análisis del paisaje**

Este análisis abarca la descripción y clasificación de las características externas e internas de los grupos de suelos, tomando en cuenta otros aspectos biofísicos como la geomorfología, geología, clima, hidrología y aspectos sociales como algunas actividades humanas.

De una parte, el suelo es un elemento de los paisajes fisiográficos y, de otra, el ambiente geomorfológico determinado por el relieve, el material parental y el tiempo, que junto con el clima, son los factores formadores de esos paisajes; por consiguiente, también lo serán de los suelos que encierran (Villota s.f.).

El estudio del suelo y de la tierra toma un papel importante dentro de la cuenca hidrográfica, ya que no es solo un cuerpo estático sino que mantiene procesos dinámicos con el medio que lo rodea.

Es por ello que en un estudio de este recurso se deben tomar en cuenta las diversas actividades que abarcan mayor cobertura de suelo dentro de la cuenca de interés, ya que en la actualidad el suelo se considera un recurso no renovable debido a la forma en el cual se ha acelerado su destrucción y limitado sus actividades de recuperación.

La demanda de suelo ha incrementado considerablemente, debido a que es un recurso natural que se ha destinado a la construcción de viviendas, infraestructura de servicios básicos, industrias e incluso como depósito de desechos, provocando su destrucción y limitando su superficie.

### **c. Zonificación de amenazas**

La zonificación de riesgo es una herramienta para determinar la probabilidad de un acontecimiento externo (riesgo) y los territorios e individuos a los que afecta y que se encuentran en una situación de desventaja y/o fragilidad (falta de capacidades) dentro del área prioritaria. Ambas circunstancias pueden presentarse en diferentes dimensiones, ocasionando daños en la economía, al ambiente, a la infraestructura, al bienestar y desarrollo de la población (Sánchez, D. Vulnerabilidad sociodemográfica y ambiental viejos y nuevos riesgos).

“La zonificación consiste en la división del terreno en áreas homogéneas y la calificación de cada una de estas áreas de acuerdo con el grado real o potencial de amenaza o de riesgo” (Suarez, J.2009).

“La humanidad en forma constante está expuesta a amenazas existentes en su entorno. Añade a esta vulnerabilidad, el uso inapropiado del espacio y su conducta a menudo transgresora, de allí el riesgo resulta una constante y los desastres una consecuencia lógica” (Gálvez, W. UNMSM, Lima, Perú).

### **B. Caracterización socioeconómica**

Este proceso es uno de los más importantes para conocer la realidad de la cuenca y proponer alternativas de solución, se considera que el factor social (hombre y comunidad) es clave para movilizar las acciones de manejo de cuencas por lo tanto se requiere una interpretación cuidadosa de las respectivas características socioeconómicas. Mediante este proceso se caracterizó la demanda de la población (rural y urbana), sus problemas, sus necesidades, sus tendencias y el conflicto con la capacidad de carga de la cuenca (Jiménez, F. 2000).

La interpretación de esta información debe ser guía para determinar los problemas sociales y económicos bajo la influencia de otros elementos legales, administrativos, culturales e institucionales. Es importante conocer las acciones de la población, sus actitudes positivas y/o negativas, el valor que tiene hacia sus conocimientos tradicionales, que capacidad tienen de generar cambio o adaptarse al mismo, conocer sus características organizativas.

“Hoy se plantea la hipótesis que el manejo de cuencas depende de la participación de la población local y del apoyo catalizador de las instituciones no gubernamentales y gubernamentales” (Jiménez, F. 2000).

## **2.2.2. Marco Referencial**

El municipio de Guatemala se ha convertido en un municipio predominantemente urbano, esta situación es la resultante del rápido crecimiento poblacional en donde se concentran diversas dinámicas; procesos económicos, financieros, sociales, institucionales, académicos, comunitarios, seguridad así como el fácil acceso de bienes y servicios generando mejor calidad de vida para las personas. Estos desordenados procesos de urbanización han provocado el deterioro de los recursos naturales y considerables impactos negativos al ambiente por el exceso de contaminación.

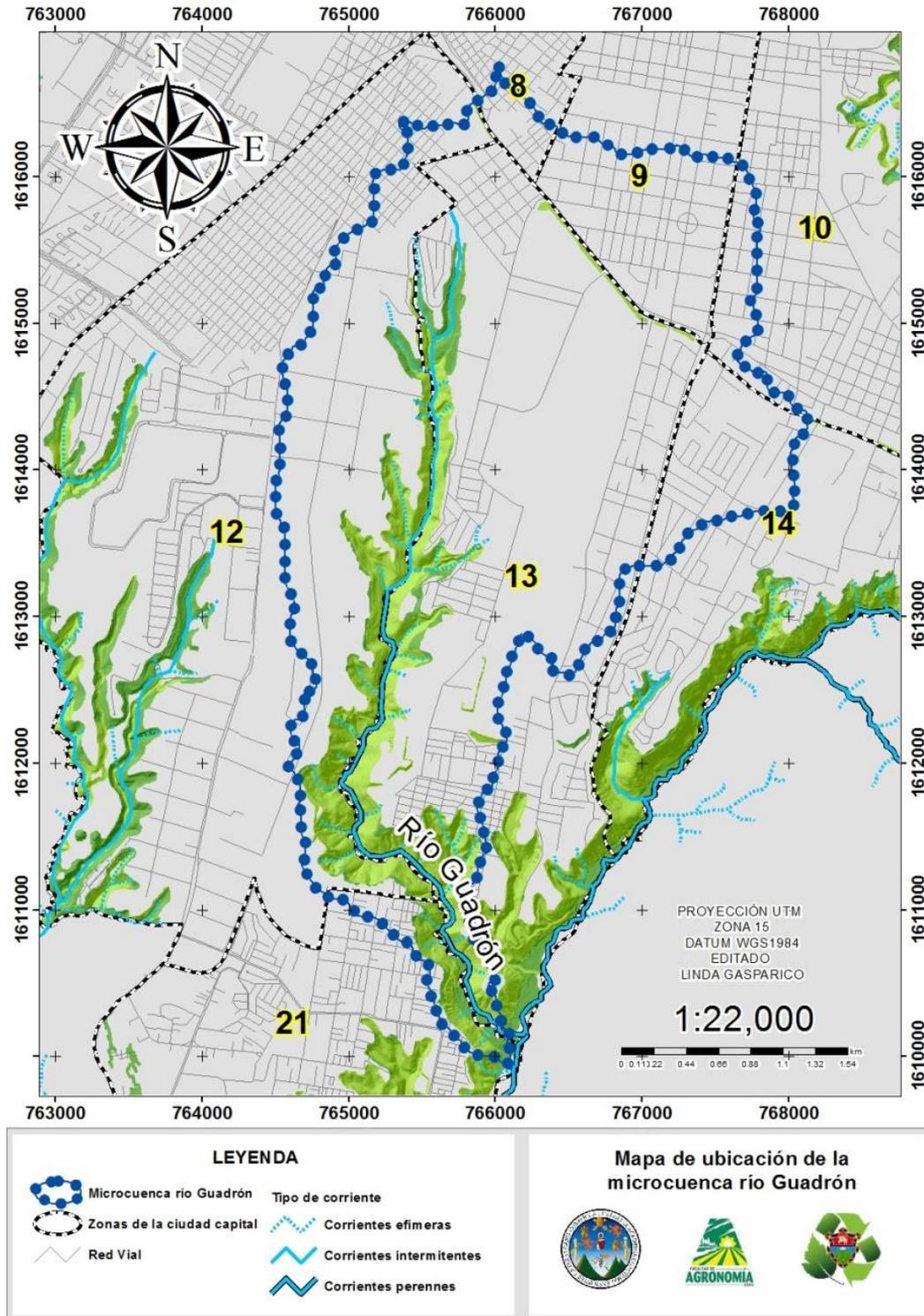
### **2.2.2.1. Georreferenciación**

La República de Guatemala está conformada por 38 cuencas principales; el Municipio de Guatemala abarca tres de ellas, Cuenca del río Motagua, Cuenca del río María Linda, Cuenca del río los Esclavos. Por otro lado los afluentes secundarios que descargan a estas cuencas corresponden a la Subcuenca del Río las Vacas, Subcuenca del río Plátanos y la Subcuenca correspondiente del río Villalobos, estas subcuencas se dividen en 16 microcuencas bajo jurisdicción de la Municipalidad de Guatemala. La microcuenca que se priorizará es la del río Guadrón ubicada en la subcuenca del río Villalobos. A grandes rasgos la microcuenca del río Guadrón abarca 12.89 km<sup>2</sup> de área y 19.93 km de perímetro.

### **2.2.2.2. Ubicación geográfica**

El río Guadrón se encuentra en el municipio de Guatemala, este río es la línea divisoria de las zonas 12 y 13. Nace cerca del Parque Nacional “La Aurora” (zona 13 capitalina). Su corriente se dirige de Norte a Sur, descargando en el río Pinula. Pasa al Este del

Aeropuerto Nacional La Aurora y al Oeste de la Aldea “Guajitos”. El río se ubica en las coordenadas GTM, latitud: 14°43’02”, longitud 90°31’47” (figura 8).



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 8. Mapa de ubicación río Guadrón, municipio de Guatemala.

### **2.2.2.3. Colindancias**

Al Norte de la microcuenca se encuentran las zonas 8 y 9 capitalinas y colinda con las microcuencas del río Zapote y río Chinautla, al Este se encuentran las zonas 10 y 14 del municipio de Guatemala y la microcuenca del río Negro, al Sur se encuentran las zonas 13 y 21 capitalinas junto con la microcuenca del río Pinula y al Oeste se encuentra la zona 12 de la ciudad de Guatemala con la microcuenca del río del Frutal.

### **2.2.2.4. Clima**

La microcuenca del río Guadrón al presentar una altitud máxima de 1,530 m s.n.m. genera una temperatura anual promedio de 24.26 °C, en cuanto a la humedad relativa se registra un 84.3 %, estos factores dan como resultado una precipitación pluvial anual de 1658.35 mm.

Esta información climatológica fue recopilada de la estación central del INSIVUMEH, ubicada en la 7ª avenida 14-57 zona 13 capitalina, coordenadas UTM; X: 234139.2013, Y: 1614143.17.

Se optó por tomar esta estación meteorológica pues son datos precisos en cuanto al área de estudio, debido a que se encuentra en la parte media de la microcuenca. En este análisis se realizó un promedio de los datos registrados los últimos 10 años de precipitación pluvial expresada en milímetros, temperatura en grados centígrados y humedad relativa en porcentaje, los cuales se representan en los cuadros 5, 6 y 7 respectivamente.

Cuadro 5. Precipitación pluvial para los años 2006-2016.

AÑO	VARIABLE	DIMEN	ENE	FEB	MZO	ABR	MY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2006	LLUVIA	MM	11.3	0.4	6.3	32.6	153.5	449.8	192.6	94.3	211.7	216.9	39.2	9.1	1,417.7
2007	LLUVIA	MM	1.4	0.0	0.9	31.2	84.8	206.7	219.6	333.0	287.0	114.4	2.1	1.5	1,282.6
2008	LLUVIA	MM	3.3	11.9	3.4	22.4	169.6	460.3	410.6	187.3	354.8	67.4	0.0	0.0	1,691.0
2009	LLUVIA	MM	0.0	4.0	0.0	17.3	161.0	189.6	94.4	141.5	90.2	81.2	130.5	29.5	939.2
2010	LLUVIA	MM	0.0	1.3	0.0	108.2	427.4	376.9	317.4	470.8	342.9	26.8	6.4	0.0	2,078.1
2011	LLUVIA	MM	0.0	7.2	13.4	15.0	101.5	222.6	238.6	414.2	246.8	384.5	14.2	1.5	1,659.5
2012	LLUVIA	MM	3.2	5.3	5.1	40.9	135.8	165.5	121.1	397.5	128.9	71.9	3.2	1.1	1,079.5
2013	LLUVIA	MM	0.2	2.6	34.2	12.7	167.1	166.9	262.1	300.2	273.7	224.3	4.9	2.0	1,450.9
2014	LLUVIA	MM	0.00	2.10	63.70	10.60	178.4	358.3	52.00	151.50	300.4	239.8	6.30	2.3	1,365.4
2015	LLUVIA	MM	0.30	0.40	28.90	79.60	194.4	174.3	159.3	104.70	333.4	156.9	69.1	1.8	1,303.1
2016	LLUVIA	MM	1.40	0.00	10.00	23.70	62.40	225.8	97.70	177.20	352.7	41.30	4.30	3.0	999.50
PROMEDIO 10a	LLUVIA	MM	2.37	4.02	17.64	42.68	197.3	326.9	236.3	298.72	317.6	176.5	32.5	5.8	1,658.4

Fuente: INSIVUMEH, 2006-2016.

Cuadro 6. Temperatura para los años 2006-2016.

AÑO	VARIABLE	DIMEN	ENE	FEB	MZO	ABR	MY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2006	TMEDIA	°C	18.0	20.8	19.3	21.6	20.5	20.1	20.3	20.7	20.2	20.4	18.1	19.2	19.9
2007	TMEDIA	°C	19.4	19.2	19.1	20.5	21.1	20.5	20.8	20.2	20.1	18.9	18.7	19.2	19.8
2008	TMEDIA	°C	17.6	18.6	18.6	21.2	20.1	20.2	19.8	25.6	19.6	19.5	18.6	17.9	19.8
2009	TMEDIA	°C	19.0	19.0	19.0	21.5	21.5	20.8	21.2	21.0	20.7	20.5	18.9	19.4	20.2
2010	TMEDIA	°C	17.8	19.4	19.5	21.2	20.9	20.0	20.3	19.8	19.7	18.9	18.4	16.5	19.4
2011	TMEDIA	°C	19.0	19.6	19.5	20.9	20.8	20.6	20.5	20.4	19.9	19.3	19.5	18.5	19.9
2012	TMEDIA	°C	18.3	19.7	20.2	21.0	21.7	20.5	21.2	20.9	20.7	20.7	18.6	19.4	20.2
2013	TMEDIA	°C	19.6	20.3	20.0	22.2	21.6	21.3	21.1	20.4	20.0	20.8	20.0	19.1	20.5
2014	TMEDIA	°C	18.70	20.40	21.30	22.00	21.40	20.90	21.60	21.50	20.30	20.00	19.10	18.60	20.48
2015	TMEDIA	°C	18.40	19.40	20.60	22.00	22.20	21.50	21.70	22.40	20.90	21.10	20.50	26.60	21.44
2016	TMEDIA	°C	19.20	18.70	21.80	22.70	23.10	21.60	22.00	21.50	21.00	21.30	19.90	20.00	21.07
PROMEDIO 10a	TMEDIA	°C	22.31	23.42	23.90	25.79	25.61	24.84	25.10	25.50	24.30	24.12	22.91	23.31	24.26

Fuente: INSIVUMEH, 2006-2016.

Cuadro 7. Humedad relativa media para los años 2006-2016.

AÑO	VARIABLE	DIMEN	ENE	FEB	MZO	ABR	MY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2006	HRMED	%	70	69	70	****	63	80	77	72	79	81	75	73	74
2007	HRMED	%	69	73	74	75	77	81	80	85	84	84	78	71	78
2008	HRMED	%	74	67	67	66	73	79	77	75	80	77	80	80	75
2009	HRMED	%	77	73	71	71	76	80	79	81	86	81	80	79	78
2010	HRMED	%	75	78	77	84	84	87	94	89	86	79	69	74	81
2011	HRMED	%	75	79	72	73	73	76	77	81	84	80	73	72	76
2012	HRMED	%	78	72	70	73	79	81	75	80	80	79	75	73	76
2013	HRMED	%	72	72	70	72	75	78	78	83	86	81	76	76	77
2014	HRMED	%	71	71	69	70	77	81	73	71	83	97	90	75	77
2015	HRMED	%	74	71	70	73	74	77	74	73	84	81	82	75	76
2016	HRMED	%	73	71	71	70	89	76	71	90	79	74	75	73	76
PROMEDIO 10a	HRMED	%	80.80	79.60	78.10	72.70	84.00	87.60	85.50	88.00	91.10	89.40	85.30	82.10	84.30

Fuente: INSIVUMEH, 2006-2016.

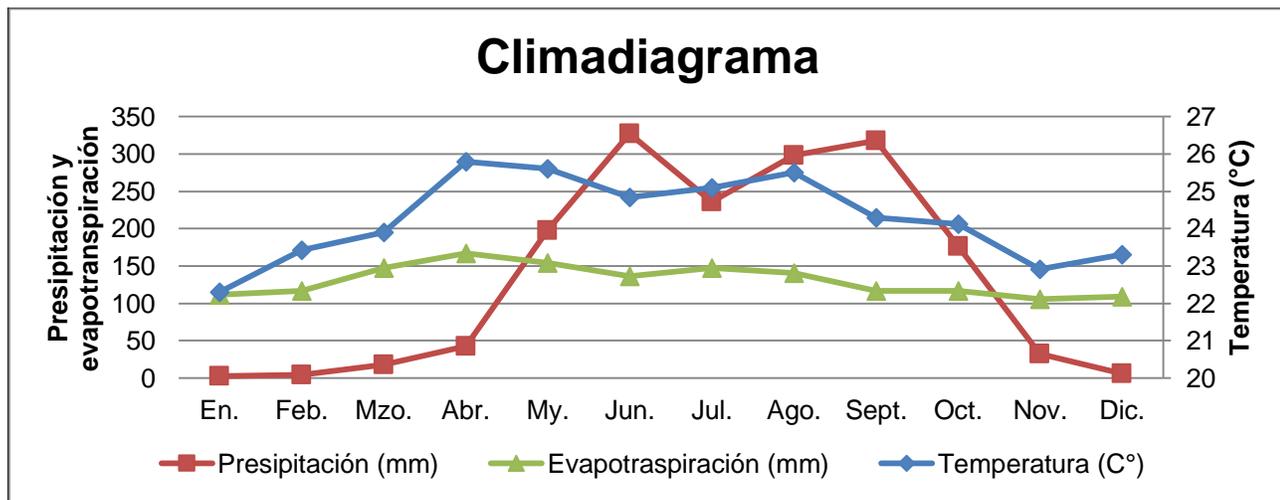
En el cuadro 8 se muestran las variables mensuales y anuales de precipitación pluvial (LLUVIA), temperatura media (TMEDIA), humedad relativa media (HRMED) y evapotranspiración potencial (ETP).

Cuadro 8. Precipitación, temperatura, humedad relativa y ETP.

Promedio de 10 años	Variable	Dimensión	En.	Feb.	Mzo.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
	LLUVIA	MM	2.37	4.02	17.64	42.68	197.33	326.86	236.34	298.72	317.62	176.5	32.49	5.78	1658.35
	TMEDIA	°C	22.31	23.42	23.9	25.79	25.61	24.84	25.1	25.5	24.3	24.12	22.91	23.31	24.26
	HRMED	%	80.8	79.6	78.1	72.7	84	87.6	85.5	88	91.1	89.4	85.3	82.1	84.3
ETP	MM	114.45	118.56	148.38	168.66	154.27	137.42	148.75	142.39	119.65	118.04	108.32	111.70	1590.57	

Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la figura 9 se puede observar el comportamiento de las condiciones climáticas dentro de la microcuenca.



Fuente: INSIVUMEH, 2006- 2016.

Figura 9. Gráfica del climadiagrama de microcuenca del río Guadrón.

La curva que representa la precipitación establece un cambio evidente en los meses de mayo (197.33 mm), junio (326.86 mm), julio (236.34 mm), agosto (298.72 mm), septiembre (317.62 mm) y octubre (176.5 mm), siendo junio el mes con más lluvias en el año.

En cuanto a la temperatura no se observa alguna variación en su comportamiento, las temperaturas no son mayores de los 26 °C y el mes que muestra menor temperatura es enero con 22.31 °C.

La evapotranspiración potencial (ETP), se calculó mediante el método de Hargreaves, el cual se utilizan los datos de temperatura, humedad relativa, radiación solar extraterrestre,

entre otros. Estos dieron como resultado valores que oscilan entre los 108.32 mm a 168.66 mm.

#### **2.2.2.5. Fisiografía**

La microcuenca del río Guadrón se encuentra en el valle tectónico de la ciudad de Guatemala, dentro de la Provincia Volcánica o Cinturón Volcánico que posee características propias de altas montañas, cadenas de altos conos y domos, varios de ellos todavía activos, como por ejemplo los volcanes Fuego y Pacaya. A raíz de esto el paisaje del área de estudio ha sido modificado por la presencia de materiales volcánicos generando la presencia de rocas de relleno piroclástico de pómez. La morfometría de este valle es una fosa tectónica que se encuentra limitada por pilares tectónicos, tierras altas volcánicas, zona montañosa y planicie central (Tepán-Jalpatagua). También posee un drenaje subpatalelo a subdendrítico (MAGA).

#### **2.2.2.6. Geología**

La geología de la microcuenca del río Guadrón está en relación con el cinturón volcánico ya que presenta rocas ígneas y metamórficas, cuaternario, rellenos y cubiertas gruesas de ceniza pómez de origen diverso. Materiales de rocas volcánicas andesita basaltos fijos riolíticos (obsidiana, perlitas) materiales aluviales sedimentos fluvio-lacustres, lahares y ceniza volcánica (MAGA).

#### **2.2.2.7. Calidad del agua**

La calidad de agua registrada dentro de la microcuenca del río Guadrón, fue previamente evaluada mediante la metodología británica modificada para las condiciones de Costa Rica, Biological Monitoring Working Party (BMWP-CR) en la época lluviosa. Esta metodología sólo requiere llegar hasta nivel taxonómico de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica (Roldán, 2003). Las familias entre más sensibles sean recibirán un puntaje alto; por otro lado, las más tolerantes a la contaminación reciben puntuaciones menores.

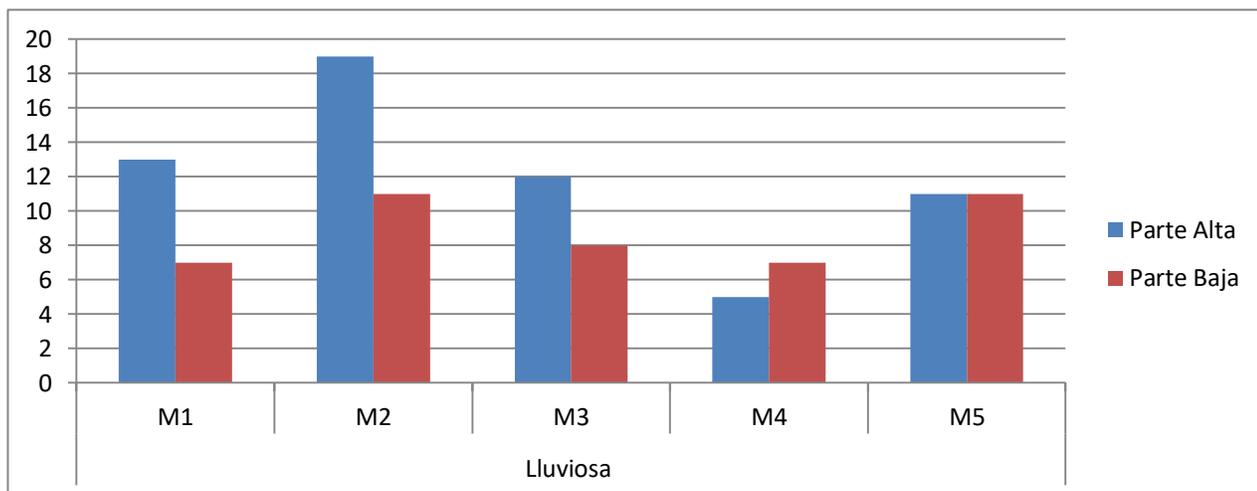
El puntaje se asigna una sola vez por familia, independientemente de la cantidad de individuos o géneros encontrados. La suma de los puntajes de todas las familias encontradas en el sitio de estudio brinda el valor final del índice (Portuguez, M. 2013).

En el cuadro 9 y figura 10 representan los índices de calidad del agua de la microcuenca en época lluviosa donde se muestra una variación en su calidad de agua ligada a la topografía de la misma.

Cuadro 9. Índices de la calidad de agua (BMWP-CR) en época lluviosa.

No.	MUESTREO	PARTE	Época	BMWP	RESULTADO
1	M1	Alta	Lluviosa	13.0	Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas.
2	M1	Baja	Lluviosa	7.0	Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas.
3	M2	Alta	Lluviosa	19.0	Aguas de calidad mala, muy contaminadas.
4	M2	Baja	Lluviosa	11.0	Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas.
5	M3	Alta	Lluviosa	12.0	Aguas de calidad muy mala extremadamente contaminadas.
6	M3	Baja	Lluviosa	8.0	Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas.
7	M4	Alta	Lluviosa	5.0	Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas.
8	M4	Baja	Lluviosa	7.0	Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas.
9	M5	Alta	Lluviosa	11.0	Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas.
10	M5	Baja	Lluviosa	11.0	Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas.

Fuente: Dirección de Medio Ambiente Municipalidad de Guatemala, 2015-2016.



Fuente: elaboración propia, 2015-2016.

Figura 10. Gráfica de la calidad de agua (BMWP-CR) en época lluviosa.

Los datos más relevantes se pueden ver en el segundo muestreo realizado ya que muestra aguas muy contaminadas dentro del cauce del río en la parte alta con un grado de contaminación considerable, teniendo la máxima ponderación con 19 puntos dando como resultado agua de calidad mala. Otro dato relevante se refleja en el cuarto muestro realizado debido a que presenta las peores condiciones de calidad de agua dentro del río en la parte alta y baja de la microcuenca teniendo cinco puntos y siete puntos respectivamente, estos valores catalogan las aguas en un estado crítico; fuertemente contaminadas. En conclusión estos índices dan como resultado un alto grado de contaminación en el recurso hídrico superficial propio de la microcuenca del Río Guadrón en época lluviosa.

Los estudios realizados previamente dentro de la microcuenca orientan a esperar pésimas condiciones en los estudios fisicoquímicos del agua, ya que las puntuaciones asignadas a las distintas familias de macroinvertebrados acuáticos encontrados dentro del área de estudio son tolerantes a un alto grado de contaminación debido a sus ponderaciones demasiado bajas.

## **2.3. OBJETIVOS**

### **2.3.1. Objetivo General**

Proveer al municipio de Guatemala una base de datos cualitativos y cuantitativos de la microcuenca del río Guadrón, útiles para su futuro manejo sustentable.

### **2.3.2. Objetivos Específicos**

1. Describir los aspectos socioeconómicos y ambientales del área de estudio, relacionados con la microcuenca.
2. Realizar un análisis del uso de la tierra.
3. Determinar las condiciones de recurso hídrico de la microcuenca.
4. Identificar amenazas de inundaciones y deslizamientos que pueden existir dentro del área en estudio.

## 2.4. METODOLOGÍA

Para completar la información primaria obtenida se recopiló información secundaria extraída de diferentes instituciones relacionadas con el tema ambiental, económico y social con injerencia en la microcuenca del Río Guadrón como lo son las alcaldías auxiliares, Ministerios del Estado (Educación, Ambiente), INSIVUMEH, Instituto Nacional de Estadística (INE), la cual se suma a la información disponible en la Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Guatemala y la información recogida en cinco entrevistas a alcaldes auxiliares sobre los aspectos más relevantes dentro de cada zona capitalina pertenecientes al área de estudio. También se realizaron observaciones estratégicas en cada visita realizada a los diferentes lugares de interés dentro de la microcuenca del Río Guadrón.

La descripción social, económica y ambiental se elaboró mediante un análisis específico para cada zona capitalina (8, 9, 10, 12, 13, 14, 21), que abarca la microcuenca.

A continuación se describen los métodos y procesos para caracterizar todos los aspectos socioeconómicos, ambientales y biofísicos, de forma amplia y específica:

### 2.4.1. Aspecto social

#### 2.4.1.1. Censo poblacional

Se realizó una proyección poblacional para el año 2017 de las zonas 8, 9, 10, 12, 13, 14 y 21 con información extraída de los censos ejecutados en los años 1994 y 2002 por el Instituto Nacional de Estadística (INE), sobre temas de crecimiento poblacional, género, edad, etnia, alfabetismo, nivel de escolaridad.

Para realizar las proyecciones se utilizó el modelo de Malthus:

$$A(t) = A_0 e^{kt}$$

Donde

A(t) = Población en un tiempo

A<sub>0</sub> = Población inicial

t = Tiempo

k = Índice de crecimiento poblacional

## **2.4.2. Aspectos biofísicos**

### **2.4.2.1. Análisis de la tierra**

#### **A. Análisis del paisaje**

Se elaboró un análisis detallado del paisaje a escala 1:25,000 identificando los elementos fisiográficos basados en criterios de relieve utilizando un área mínima cartografiable de 0.01 km<sup>2</sup> correspondiente a la microcuenca mediante un modelo de elevación digital a 20 metros.

#### **B. Uso de la tierra**

Se identificó el uso actual de la tierra mediante una imagen satelital del año 2017 proporcionado por el programa Google Earth®, donde se elaboraron los polígonos según los usos de la nomenclatura de CORINE Land Cover adaptada para El Salvador. Posteriormente los polígonos se trasladaron a la herramienta de Sistema de Información Geográfica (SIG) para un análisis más detallado.

#### **C. Capacidad de uso de la tierra**

Para determinar la capacidad de uso de la tierra específicamente del área del Cinturón Ecológico, representado en este caso por la cobertura de bosque mixto dentro de la microcuenca, se utilizó la metodología del Instituto Nacional de Bosques (INAB,2000), debido a que ésta clasifica la aptitud de la tierra según las condiciones de clima, geología y fisiografía. Dentro de la República existen diversas regiones a las cuales en la metodología del INAB les denominan, regiones naturales.

En este caso la región natural que representa al área de estudio es la región de Tierras Altas Volcánicas por ser un espacio comprendido por el fragmento central del país.

En el cuadro 10 se muestran las características de pendiente y profundidad efectiva del suelo según la región.

Posteriormente se realizó un análisis cartográfico de pendientes en el cual se identificaron cinco puntos de muestreo para determinar la profundidad efectiva del suelo mediante un barreno y a través del reconocimiento del área se caracterizó el componente limitante de pedregosidad.

Cuadro 10. Matriz de capacidad de uso de la tierra para la región “tierras altas volcánicas”.

Pendientes (%)					
Profundidad del suelo (cm)	<12	12-26	26-36	36-55	>55
>90	A	Am/Aa	Ss/Ap	Ap/F	F/ Fp
50-90	A/Am	Am/Aa	Ss/Ap	Ap/F	F/ Fp
20-50	Am/Aa	Ss/Ap	Ss/Ap	Ap/F	Fp
<20	Aa	Ss/F	Ss/Fp	Fp	Fp

Fuente: INAB, 2000.

#### D. Intensidad de uso de la tierra

Se realizó un análisis cartográfico con el traslape del mapa de uso de la tierra con el mapa de capacidad de uso de la tierra a una escala de 1:25,000.

#### 2.4.2.2. Recurso hídrico

##### A. Morfometría

##### a. Aspectos Lineales

##### i. Perímetro de la microcuenca

Se utilizó la herramienta SIG, recurriendo a la tabla de atributos de la microcuenca, agregando una fila para el perímetro y mediante *calculate geometry* se determinó en kilómetros.

##### ii. Clases de corrientes

Se determinaron las corrientes efímeras, intermitentes y perennes mediante el shapefile de ríos de todo el municipio de Guatemala, utilizando únicamente el perteneciente a la microcuenca del río Guadrón.

##### iii. Orden de corrientes

En este procedimiento se optó por utilizar el método de Horton, donde el orden de las corrientes se identifican y clasifican según la ramificación del cauce principal, posteriormente cuantificarlas (número de corrientes) y medirlas (longitud de corrientes).

#### iv. Gráfica de logaritmo del número de corrientes versus el orden de corrientes

Se ejecutó esta gráfica mediante el programa de Excel®, colocando el orden de corrientes en el eje de las abscisas y el logaritmo del número de corrientes en el eje de las ordenadas. La recta de la gráfica de logaritmo del número de corrientes versus el orden de corrientes debe contar con una pendiente negativa, de lo contrario brinda un indicio de algún error en la asignación del orden o conteo de las corrientes.

#### v. Radio de bifurcación media

Esta característica se determinó mediante la relación existente entre cada número de corriente de un orden dado y el orden superior siguiente, posteriormente se hace una sumatoria de los mismos. El radio de bifurcación media se determinó con la siguiente ecuación.

$$Rbn = \frac{Nu}{N(u + 1)} \text{ [Adimensional]}$$

$$Rb = \frac{\varepsilon Rbi}{n} \text{ [Adimensional]}$$

Donde:

Rb = Radio de bifurcación

Nu = Número de corrientes de orden u.

N(u + 1) = Número de corrientes de orden superior siguiente.

#### vi. Longitud media de corrientes

Para calcular este parámetro se utilizó la siguiente ecuación.

$$Lmc = \frac{Lu}{Nu} \text{ [km]}$$

Donde:

Lmc = Longitud media de corrientes.

Lu = Longitud de corrientes de orden u (km).

Nu = Número de corrientes de orden u.

### vii. Gráfica de logaritmo longitud de corrientes versus el orden de corrientes

Se elaboró esta gráfica mediante el programa de Excel®, colocando el orden de corrientes en el eje de las abscisas y el logaritmo de la longitud media de las corrientes en el eje de las ordenadas.

### viii. Radio de longitud medio

En este procedimiento se relacionó la longitud acumulada de corrientes de orden de corrientes respecto a las de orden inferior, luego se sumó cada resultado. Para determinar el radio de longitud medio de cada corriente se utilizó la siguiente ecuación:

$$Rlm = \frac{Lu}{L(u-1)} [km]$$

Donde:

Rlm = Radio de longitud medio.

Lu = Longitud de corrientes de orden u (km).

L (u-1) = Longitud de corrientes de orden inferior.

### ix. Longitud acumulada de las corrientes

Para determinar esta medida se cuantificó el total de las longitudes de cada número de corriente de orden "u", éste se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$La = Lu * Nu [km]$$

Donde:

La = Longitud acumulada de las corrientes.

Lu = Longitud de las corrientes de orden u (km).

Nu = Número de corrientes de orden u.

## **b. Aspectos de Superficie**

### **i. Área de la microcuenca**

Se utilizó la herramienta SIG, recurriendo a la tabla de atributos de la microcuenca, agregando una fila para el área y mediante *calculate geometry* se determinó el área en kilómetros cuadrados.

### **ii. Longitud del cauce principal**

Se tomó el shapefile de todos los ríos del municipio de Guatemala utilizando específicamente el perteneciente de la microcuenca del río Guadrón, se editaron las corrientes por medio de la herramienta SIG eliminando las ramificaciones de las corrientes del río dejando únicamente el cauce principal, luego en su tabla de atributos se calculó la longitud en kilómetros.

### **iii. Forma de la microcuenca**

Para conocer la forma de la cuenca se determinaron diversos indicadores relacionando el área con el perímetro.

#### **- Relación de la forma**

En este índice se optó por el método que expone Horton (1945) con la siguiente ecuación:

$$Rf = \frac{Ak}{Lc^2} [Adimensional]$$

Donde:

Rf = Relación de la forma.

Ak = Área de la microcuenca (km<sup>2</sup>).

Lc = Longitud del cauce principal (km).

### - Relación circular

Se relacionó el área de la microcuenca con el área de un círculo con perímetro igual a la microcuenca, su ecuación es la siguiente:

$$Rc = \frac{Ak}{Ac} [Adimensional]$$

Donde:

Rc = Relación circular.

Ak = Área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

Ac = Área de un círculo con perímetro igual al de la microcuenca (km<sup>2</sup>).

Dónde:

$$Ac = \pi * r^2$$

$$r = \frac{P}{2\pi}$$

### - Coeficiente de compacidad

Se utilizó el método propuesto por Gravelius (1914) donde establece la siguiente ecuación:

$$Kc = 0.28 \left( \frac{P}{\sqrt{A}} \right) [Adimensional]$$

Donde:

Kc = Coeficiente de compacidad.

P = Perímetro de la microcuenca (km).

A = Área de la microcuenca (km<sup>2</sup>).

### - Radio de elongación

Se relacionó el diámetro de un círculo de área igual a la de la microcuenca y la longitud del cauce principal con la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{dcA}{Lc} [Adimensional]$$

Donde:

dcA = Diámetro de un círculo de área igual a la de la microcuenca.

Dónde:

$$A = \pi * r^2 \rightarrow r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \rightarrow D = r * 2$$

Lc = Longitud del cauce principal (km).

#### iv. Densidad de drenaje

Este parámetro se estableció a través de la relación existente entre la longitud total de las corrientes de agua de la microcuenca y el área total de la misma. La ecuación que permitió su cuantificación se establece por:

$$D = \frac{La}{Ak} [km/km^2]$$

Donde:

D = Densidad de drenaje.

La = Longitud acumulada de las corrientes (km).

Ak = Área de la microcuenca (km<sup>2</sup>)

#### v. Frecuencia de corrientes

Este indicador se calculó a través de la relación entre el número total de corrientes en la microcuenca y el área total de la misma mediante la siguiente ecuación:

$$Fc = \frac{Nc}{Ak} [Causes/km^2]$$

Donde:

Fc = Frecuencia de corrientes.

$N_c$  = Número total de corrientes

$A_k$  = Área de la microcuenca ( $\text{km}^2$ ).

## vi. Tiempo de concentración

Este parámetro se determinó relacionando el tiempo que le lleva a la microcuenca aportar agua a su punto de salida a través de la siguiente ecuación:

$$t_c = 0.3 \left( \frac{L}{S_{cp}^{1/4}} \right)^{0.76} [h]$$

Donde:

$T_c$  = Tiempo de concentración (h).

$L$  = Longitud del cauce principal (km).

$S_{cp}$  = Pendiente media del cauce principal (km).

## c. Aspectos de Relieve

### i. Pendiente media de la microcuenca

Este parámetro se determinó mediante un modelo de elevación digital, analizado con la herramienta SIG, elaborando un *contour* con una equidistancia de 20 metros (0.02 km), posteriormente se acudió a la tabla de atributos de la misma calculando la distancia entre sus curvas sumando sus longitudes. Finalmente se ejecutó la siguiente ecuación:

$$S_m = \left( \frac{\sum L_i * E}{A_k} \right) * 100 [\%]$$

Donde:

$S_m$  = Pendiente media de la microcuenca.

$\sum L_i$  = Sumatoria de longitudes entre curvas de nivel (km).

$E$  = Equidistancia entre curvas de nivel (km).

$A_k$  = Área de la microcuenca ( $\text{km}^2$ ).

## ii. Pendiente media del cauce principal

La ecuación que representa la inclinación promedio del cauce principal de la microcuenca a través de su diferencia de alturas entre curvas a nivel determinadas mediante la herramienta SIG y un modelo de elevación digital y su cauce principal corresponde a la siguiente:

$$Scp = \frac{Hmax - Hmin}{L} * 100 [\%]$$

Donde:

Scp = Pendiente media del cauce principal (km).

Hmax = Altura máxima (km).      Hmin = Altura mínima (km).

L = Longitud del cauce principal (km).

## iii. Curva Hipsométrica

Para realizar la curva hipsométrica se optó por utilizar la herramienta de SIG donde se elaboró un raster de altura específico de la microcuenca utilizando un modelo de elevación digital, luego se reclasificó con intervalos de 0 a 20, donde se pudo determinar las áreas entre curvas de nivel mediante un *zonal statistics* que nos brindó información en su tabla de atributos como, las cotas mínimas y máximas, el área entre las mismas, luego en el programa Excel® se realizó un promedio de las cotas y el porcentaje acumulado de sus áreas.

Esta gráfica determinó el grado de madurez de la microcuenca y su elevación media.

## iv. Coeficiente de relieve

Para determinar la longitud entre cada curva de nivel perteneciente a la microcuenca se trabajó con la herramienta de SIG un modelo de elevación digital, luego para determinar este parámetro se utilizó la siguiente ecuación:

$$Rh = \frac{\Delta h}{(1000 * Ltc)} [Adimensional]$$

Donde:

Rh = Coeficiente de relieve.

$\Delta h$  = Distancia entre curva de nivel más alta y la más baja de la microcuenca.

Ltc = Longitud total de cada curva de nivel dentro de la microcuenca.

#### **v. Coeficiente de robustez**

Se calculó mediante:

$$Rr = \frac{(\Delta h * D)}{1000} [Adimensional]$$

Donde:

Rr = Coeficiente de robustez.

$\Delta h$  = Diferencia entre curvas de nivel de la microcuenca (km).

D = Densidad de drenaje (km/km<sup>2</sup>).

## **B. Calidad del Agua**

### **a. Temporalidad del estudio**

La región de Guatemala cuenta con dos estaciones climáticas durante el año, época seca y época lluviosa. Estos dos periodos generan ciertas alteraciones en el comportamiento del río de la microcuenca tanto en su cantidad como calidad. En la época seca la contaminación proviene de vertidos directos al cuerpo de agua los cuales se concentran y se estancan, por otro lado la época lluviosa provoca escorrentía diluyendo la contaminación de las descargas directas. Por tanto no es aceptable realizar un estudio de contaminación hídrica sin tomar en cuenta este fenómeno (Dirección de Medio Ambiente, Municipalidad de Guatemala).

### **b. Área de estudio**

Para determinar la calidad del agua la Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Guatemala realizó 10 muestreos dentro del área de estudio, cinco en época lluviosa y otros cinco en época seca, éstos se realizaron en el invierno del año 2015 y verano del año 2016 en la parte alta y baja de la microcuenca del Río Guadrón específicamente en el cauce principal del río, dando como resultado 20 muestras de agua en donde se

establecieron diversos parámetros los cuales se obtuvieron mediante la metodología ISCA. Luego se realizó la tabulación de los datos obtenidos para proporcionar el rango de calidad de cada una de las muestras, con el fin de realizar el análisis correspondiente a los resultados.

En el cuadro 11 se muestra la valorización correspondiente para la metodología ISCA.

Cuadro 11. Niveles de calidad del agua según ISCA.

Rango	Valor
16 – 100	Buena
51 – 75	Regular
26 – 50	Mala
0 – 25	Pésima

Fuente: Dirección de Medio Ambiente Municipalidad de Guatemala, 2016.

## C. Recarga potencial del acuífero

### a. Unidades de muestreo

Para determinar las unidades de muestreo de recarga hídrica se tomó en cuenta las áreas que aportan mayor cantidad de volumen al acuífero, es decir las áreas permeables. Por ello se realizó un traslape de los mapas temáticos a escala 1:25,000 de uso de la tierra con el mapa de fisiografía.

Con base en estas unidades de muestreo también se realizaron las pruebas de infiltración, textura de suelo, capacidad de campo, punto de marchitez y densidad aparente.

### b. Balance de suelos

La recarga potencial al acuífero se determinó mediante la metodología modificada por Gunther Schosinsky N. (2006), que consiste en realizar un balance de suelos donde se toman en cuenta variables que influyen en la cantidad final de absorción de agua, tales como: precipitación mensual, capacidad de infiltración, textura del suelo, retención pluvial, cobertura vegetal, profundidad de las raíces, evapotranspiración, entre otros.

### i. Pruebas de infiltración

La metodología utilizada para determinar la capacidad de infiltración ( $f_c$ ) en cada uno de los puntos de muestreo fue la de Porchet que corresponde a la permeabilidad del suelo saturado. Al tener los datos se utilizó la siguiente fórmula:

$$f_c = \frac{R}{2(t_2 - t_1)} \ln \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \text{ [mm/día]}$$

Donde:

R = Radio.

t<sub>2</sub> = Fin de infiltración. t<sub>1</sub> = Inicio de infiltración.

h<sub>1</sub> = Altura inicial (mm). h<sub>2</sub> = Altura final (mm).

### ii. Fracción de lluvia interceptada por el follaje

Lluvias menores de 5 mm mensuales, no van a generar infiltración ya que se considera que en un mes con lluvia, al menos 5 mm son retenidos por el follaje sin llegar al suelo (Schosinsky & Losilla, 2000). Se definió el coeficiente de follaje (Cfo) según la cantidad de vegetación, coeficiente (Cfo) follaje ralo= 0.12 (12%), coeficiente (Cfo) follaje denso= 0.20 (20%).

Para calcular la retención de la precipitación mensual (P) interceptada por el follaje (Ret), se aplicó las siguientes condicionales:

Si P es menor o igual a 5 mm/mes, Ret = P, si el producto (P)(Cfo) es mayor o igual de 5 mm/mes, Ret = (P)(Cfo). Finalmente si P es mayor de 5mm/mes y el producto (P)(Cfo) menor de 5, Ret = 5.

### iii. Infiltración

Para determinar la infiltración se tomó en cuenta los factores que influye en ésta, como es el caso del coeficiente de infiltración relacionado con la intensidad de lluvia. La ecuación para determinar el coeficiente es la siguiente:

$$k_{fc} = 0.267 \ln(f_c) - 0.000154(f_c) - 0.723 \text{ [Adimensional]}$$

Donde:

$k_{fc}$  = Coeficiente de infiltración (fracción que infiltra por textura del suelo).

$f_c$  = Infiltración básica del suelo (mm/día).

Esta fórmula será utilizada si y sólo si  $f_c$  se encuentra entre los rangos de 16 a 1568 mm/día. En otros escenarios si  $f_c$  es  $<$  a 16 mm/día  $k_{fc} = 0,0148f_c/16$  o si  $f_c$  es  $>$  de 1568 mm/día,  $k_{fc} = 1$ .

El coeficiente de infiltración no solo influye en la intensidad de lluvia, para determinar la capacidad del suelo para absorber cierta cantidad de agua también hay que tomar en cuenta el coeficiente de pendiente del terreno ( $K_p$ ) y el coeficiente de la vegetación ( $K_v$ ). Al sumar estos coeficientes dan como resultado el coeficiente de infiltración del suelo ( $C_i$ ), basado en la siguiente ecuación (ONU, 1972):

$$C_i = K_p + K_v + k_{fc} [\%]$$

Esta ecuación tiene las siguientes condicionales: Si  $k_p+k_v+k_{fc}$  es  $> 1$ ,  $C_i = 1$ , si  $k_p+k_v+k_{fc}$  es  $\leq 1$ , entonces  $C_i = k_p + k_v + k_{fc}$ . En el cuadro 12 se exponen el coeficiente de pendiente que tiene relación con la fisiografía del área y el coeficiente de vegetación, que es la cobertura vegetal propia de la microcuenca.

Cuadro 12. Componentes del coeficiente de infiltración.

Por Pendiente	Pendiente (%)	$K_p$	Por Cobertura Vegetal	$K_v$
<i>Muy plana</i>	0.02-0.06	0.30	<i>Cobertura con pastizal menos del 50%</i>	0.09
<i>Plana</i>	03-04	0.20	<i>Terrenos cultivados</i>	0.10
<i>Algo plana</i>	1-2	0.15	<i>Cobertura de pastizal</i>	0.18
<i>Promedio</i>	2-7	0.10	<i>Bosques</i>	0.20
<i>Fuerte</i>	$>7$	0.06	<i>Cobertura con pastizal más del 75%</i>	0.21

Fuente: Schosinsky & Losilla, 2000.

#### - Infiltración pluvial mensual

Los factores que se tomaron en cuenta para determinar la infiltración pluvial mensual ( $P_i$ ) son: la precipitación mensual ( $P$ ), la retención pluvial respecto al follaje ( $Ret$ ) y el coeficiente de infiltración del suelo ( $C_i$ ), estas se expresan en la siguiente ecuación:

$$P_i = (C_i)(P - Ret) [mm]$$

#### iv. Escorrentía superficial

Para determinar la escorrentía se tomó en cuenta la variable de precipitación (P) se le resta la retención de lluvia (Ret) y la infiltración pluvial mensual (Pi), quedando la siguiente ecuación:

$$ESC = P - Ret - Pi [mm]$$

#### v. Balance de suelos

Para realizar el balance del suelo es necesario determinar la capacidad de campo y punto de marchitez del suelo correspondiente a cada uno de los ocho puntos de muestreo. Estos valores se estipularon mediante el método de la parcela de campo.

En el cuadro 13 se representa el punto de marchitez, capacidad de campo y densidad aparente, relacionado con la textura del suelo.

Cuadro 13. Punto de marchitez permanente y capacidad de campo en porcentaje por peso de suelo seco de diferentes texturas de suelos.

TEXTURA DEL SUELO	Porcentaje por Pedo del Suelo Seco		
	PMP (%)	CC (%)	Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )
<i>Arenoso</i>	2-6	6-12	1.55-1.80
<i>Franco-arenoso</i>	4-8	10-18	1.40-1.60
<i>Franco</i>	8-12	18-26	1.35-1.50
<i>Franco-arcilloso</i>	11-15	23-31	1.30-1.40
<i>Arcilla-arenoso</i>	13-17	27-31	1.25-1.35
<i>Arcilloso</i>	15-19	31-39	1.20-1.30

Fuente: Grassi, 1976.

#### vi. Evapotranspiración

Para determinar la evapotranspiración potencial se utilizó el método Hargreaves ya que es un cálculo que toma en cuenta las condiciones de brillo solar, humedad relativa media y temperatura específicas para la región centroamericana. Este método lo representa la siguiente ecuación:

$$ETP = 0.0075 * TMF * RSM [mm/mes]$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración

TMF = Temperatura media mensual (°F)

RSM = Radiación solar incidente mensual

Donde:

$$RSM = 0.075 * RMM * \frac{S1}{2} [mm/mes]$$

Donde:

RMM: Radiación mensual extraterrestre (mm/mes)

$$RMM = RS * No. de días del mes$$

RS = Radiación solar (cuadro 12)

S = Brillo solar mensual (%)

$$S = Ks * (100 - HR)^{1/2}$$

Ks = Constante (12.5, para región de Centro América)

HR = Humedad relativa media (%)

Debido a que la microcuenca se encuentra en la latitud 15 ° Norte se tomarán los valores medios mensuales de radiación solar extraterrestre, extraído del estudio de Herrera, 2001. Recarga hídrica, expresados en el cuadro 14.

Cuadro 14. Radiación solar extraterrestre (mm/día).

Latitud Norte	ENE	FEB	MZO	ABR	MY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
15	12.29	13.51	14.83	15.77	16.02	16.00	16.02	15.93	15.33	14.07	12.66	11.91

Fuente: Herrera, 2001.

## vii. Humedad del suelo

### - Coeficiente de humedad

Para determinar el coeficiente de humedad se transformaron los porcentajes en volumen para seguir con la congruencia de las dimensionales utilizando la siguiente ecuación:

$$LHD = \frac{CC \% - PM \%}{100} * Da * Pr [cm]$$

Donde:

LHD = Lámina de humedad

CC = Capacidad de campo en porcentaje (%)

PM = Punto de marchitez en porcentaje (%)

Da = Densidad aparente (gr/cm<sup>3</sup>)

Pr = Profundidad de las raíces (cm)

Según Schosinsky (Revista Geológica de América Central, 2009), el coeficiente de humedad sin tomar en cuenta la evapotranspiración se expresa en la siguiente ecuación:

$$C1 = \frac{hSi - PM + Pi}{LHD} [Adimensional]$$

Donde:

C1 = Coeficiente de humedad máximo.

hsi = humedad al inicio del mes, humedad de suelo inicial en (mm).

PM = Punto de marchitez en (mm).

Pi = Precipitación que infiltra en (mm/mes).

LHD = Lámina de humedad (mm/mes).

Al contrario si se toma en cuenta la evapotranspiración la ecuación sería:

$$C2 = \frac{hSi - PM + Pi - ETR1}{LHD} \text{ [Adimensional]}$$

$$ETR1 = (C1)(ETP) \text{ [mm/mes]}$$

Donde:

C2 = Coeficiente de humedad mínimo.

ETR1 = Evapotranspiración potencial real, considera la humedad correspondiente al coeficiente C1.

Se debe tomar nota que ninguno de los coeficientes C1 y C2 deben de ser mayores a 1 o menores a 0.

#### - **Evapotranspiración potencial**

Posteriormente se debe realizar un promedio del coeficiente C1 y coeficiente C2 para determinar el coeficiente de humedad mensual con respecto a la evapotranspiración potencial real correspondiente al mes a determinar.

$$ETPR = ((C1 + C2)/2)ETP \text{ [mm/mes]}$$

#### - **Humedad disponible**

Schosinsky define la humedad disponible en la revista Geológica de América Central (2009), como aquella humedad que las raíces de las plantas son capaces de captar para lograr su evapotranspiración. Esta ecuación se expresa:

$$hD = hSi + Pi - PM \text{ [mm/mes]}$$

Donde:

hD = humedad disponible.

hsi = humedad de suelo inicial (al inicio del mes) (mm).

Pi = Precipitación que infiltra (mm/mes).

PM = Punto de marchitez (mm).

### - **Evapotranspiración real**

Luego de determinar la humedad disponible y evapotranspiración potencial real, se calculó la evapotranspiración real, la cual se calcula con las siguientes condicionales:

Si ETPR es  $\leq$  a hD, entonces ETR= ETPR, si ETPR es  $>$  hD, entonces ETR = hD

Donde:

ETR = Evapotranspiración real (mm/mes).

ETP = Evapotranspiración potencial (mm/mes).

hD = humedad disponible (mm/mes).

### - **Humedad del suelo final**

La humedad del suelo final de cada mes se expresa en la siguiente ecuación:

$$H_{sf} = hD + PM - ETR \quad [mm]$$

hSf = humedad del suelo final del mes (mm).

hD = humedad disponible (mm/mes).

PM = Punto de marchitez (mm).

ETR= Evapotranspiración real (mm/mes).

En ningún momento la humedad final de suelo puede ser mayor que la capacidad de campo, si fuera el caso, se tomaría como humedad final la capacidad de campo.

### **viii. Recarga potencial del acuífero**

Según Schosinsky (revista geológica de América Central, 2009) el agua sobrante, una vez satisfecha la capacidad de campo y la evapotranspiración, es la que recarga al acuífero, la que se calcula con la siguiente ecuación:

$$Rp = Pi + HSi - HSf - ETR \quad [mm/mes]$$

Donde:

$R_p$  = Recarga potencial mensual.

$P_i$  = Precipitación que infiltra (mm/mes).

$h_{Sf}$  = humedad del suelo al final del mes (mm).

ETR = Evapotranspiración real (mm/mes).

### c. Clasificación de recarga hídrica

Para clasificar las zonas de recarga hídrica se utilizó los rangos propuestos por Herrera (2005) expresados en el cuadro 15.

Cuadro 15. Clasificación de recarga hídrica por volumen.

<b>Rango</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/año)</b>
<b>Muy alta</b>	>300,000
<b>Alta</b>	150,000 a 300,000
<b>Media</b>	50,000 a 150,000
<b>Baja</b>	<50,000

Fuente: FODECYT No. 035-2009, 2012.

### 2.4.3. Identificación de amenazas

#### 2.4.3.1. Amenaza a deslizamientos

Se identificaron zonas susceptibles a deslizamientos mediante un análisis de pendientes en un SIG, precipitación anual y tipo de fisiografía. Posteriormente se asignó una clasificación a dicha amenaza según la metodología de Mora-Vahrson.

#### 2.4.3.2. Amenazas a inundaciones

Se determinó las zonas propensas a inundaciones mediante un análisis de pendientes en un SIG, también se consideraron los aspectos de altitud, precipitación anual, cercanía al cuerpo de agua y drenaje natural del área de estudio. Posteriormente se asignó una clasificación de susceptibilidad de baja, media y alta.

## 2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.5.1. Aspectos socioeconómicos y ambientales

Una desventaja al trabajar a nivel de microcuenca es que ésta abarca distintas zonas capitalinas creando límites geopolíticos indefinidos, a pesar de que es el mismo municipio y su gobernabilidad presenta la misma base, las características de cada zona son totalmente distintas.

Las zonas 8, 9, 10, 12, 13, 14, y 21 son parte del área de estudio, sin embargo el territorio de cada zona no se encuentra dentro de la microcuenca en su totalidad, lo cual dificulta el estudio y se debe optar por un análisis complementario.

Es por ello que para caracterizar los aspectos sociales, económicos y ambientales se modificó el límite de estudio ampliando el espacio geográfico a nivel de zonas.

#### 2.5.1.1. Descripción de indicadores sociales

##### A. Total de la población

En el cuadro 16 se puede observar el total de la población de las zonas que forman parte del área de estudio, con información extraída del INE para los años 1994 y 2002; así como las proyecciones realizadas para el año 2017, utilizando el modelo de Malthus.

Cuadro 16. Cantidad poblacional de los años 1994, 2002 y proyección 2017.

Municipio	Categoría	Total de Población		
		Año 1994	Año 2002	Año 2017
Guatemala	Zona 8	13,888	12,439	10,117
	Zona 9	2,301	1,750	1,047
	Zona 10	10,050	12,090	17,097
	Zona 12	42,040	43,398	46,064
	Zona 13	23,263	26,734	34,698
	Zona 14	15,474	18,322	25,150
	Zona 21	53,621	75,265	142,135
<b>Total</b>		<b>160,637</b>	<b>189,998</b>	<b>276,309</b>

Fuente: elaboración propia, 2017.

El municipio de Guatemala está sujeto a cambios en la cantidad de sus habitantes y se ve reflejado un incremento desenfrenadamente en las proyecciones del año 2017 para las

zonas 12 y 21, las cuales tiene un impacto negativo en la capacidad de uso de la tierra y en los recursos naturales.

En cuanto las zonas 8 y 9 reflejan un fenómeno distinto en el comportamiento demográfico debido a que la población inicial presenta un descenso según los registros estadísticos de los censos realizados en el año 1994 y 2002.

Este fenómeno se origina debido a que estas zonas se utilizan en su mayoría para la actividad comercial y de servicios, disminuyendo el uso del territorio con fin de vivienda.

## B. Población según el género

A continuación se presenta el cuadro 17 el cual refleja la cantidad exacta de hombres y mujeres en los censos poblacionales realizados en los años 1994 y 2002; así como la proyección para el año 2017, utilizando el modelo de Malthus.

Cuadro 17. Población del área de interés para los años 1994, 2002 y 2017.

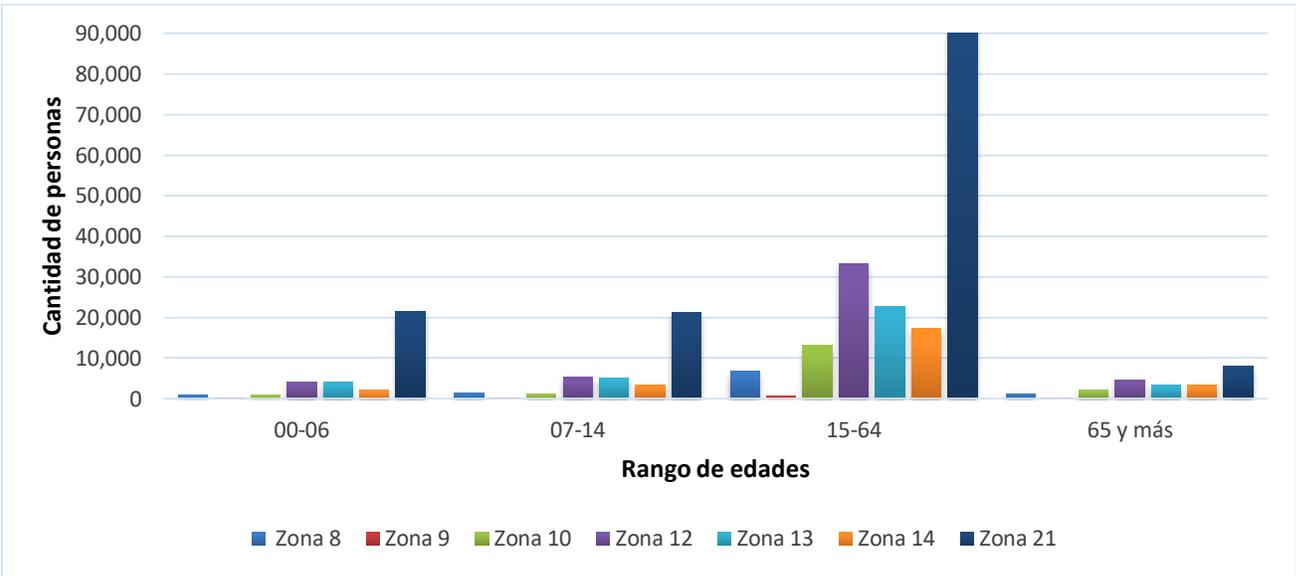
Municipio	Categoría	Sexo					
		Hombres			Mujeres		
	Año	1994	2002	2017	1994	2002	2017
Guatemala	Zona 8	6,613	5,997	4,992	7,275	6,442	5,129
	Zona 9	943	758	503	1,358	992	551
	Zona 10	4,219	5,533	9,199	5,831	6,557	8,171
	Zona 12	19,779	20,325	21,390	22,261	23,073	24,676
	Zona 13	10,941	12,503	16,058	12,295	14,231	18,720
	Zona 14	6,730	8,066	11,327	8,744	10,256	13,831
	Zona 21	25,212	35,876	69,510	28,045	39,389	74,469

Fuente: elaboración propia, 2017.

Como se muestra en el cuadro 17 la distribución poblacional de las zonas estudiadas según su género presentan cantidades semejantes, y por muy poca diferencia la población objetivo superior es el sexo femenino con el 53 %, mientras el sexo masculino lo representa el 47 %.

**C. Edad de la población**

En la figura 11 muestra la conducta de la población según las edades, estos resultados provienen de la proyección realizada para el año 2017.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 11. Gráfica de la edad de las zonas analizadas para el año 2017.

La población guatemalteca en lo general es joven, es por ello que los resultados reflejan cantidades elevadas en el rango de 15 – 64 años de edad. Esta variable se puede relacionar con la población productiva laboral de las zonas indicadas.

**D. Grupo étnico**

Guatemala es uno de los municipios con menor población indígena, es por ello que para el año 2017, la proyección refleja una población baja en cuanto a los distintos grupos étnicos existentes dentro del país, estos datos se aprecian en el cuadro 18.

Como se puede observar en el cuadro 18 los datos provenientes de los censos realizados por el INE en el año 1994 y 2002, la población indígena es minoría y no se proyecta ningún cambio significativo para el año 2017.

Cuadro 18. Población objetivo según grupo étnico.

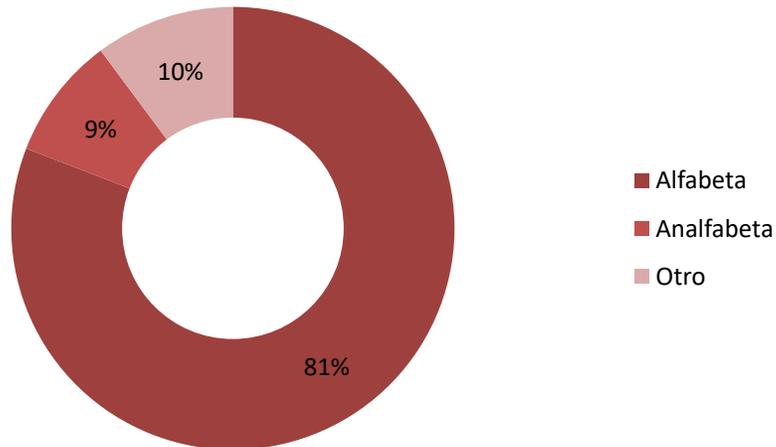
Municipio	Categoría	Grupo Étnico					
		Indígena			No Indígena		
	Año	1994	2002	2017	1994	2002	2017
Guatemala	Zona 8	2,033	2,040	2,053	11,405	10,399	8,746
	Zona 9	214	208	197	2,003	1,542	944
	Zona 10	572	865	1,878	9,164	11,225	16,420
	Zona 12	2,419	3,083	4,858	38,068	40,315	44,892
	Zona 13	878	1,938	8,552	21,547	24,796	32,266
	Zona 14	938	1,045	1,280	14,052	17,277	25,451
	Zona 21	2,402	6,498	41,992	49,892	68,767	125,505

Fuente: elaboración propia, 2017.

## E. Educación

### a. Alfabetismo

En la figura 12 se puede apreciar los porcentajes de población con respecto al alfabetismo.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 12. Gráfica del porcentaje de la población según el alfabetismo.

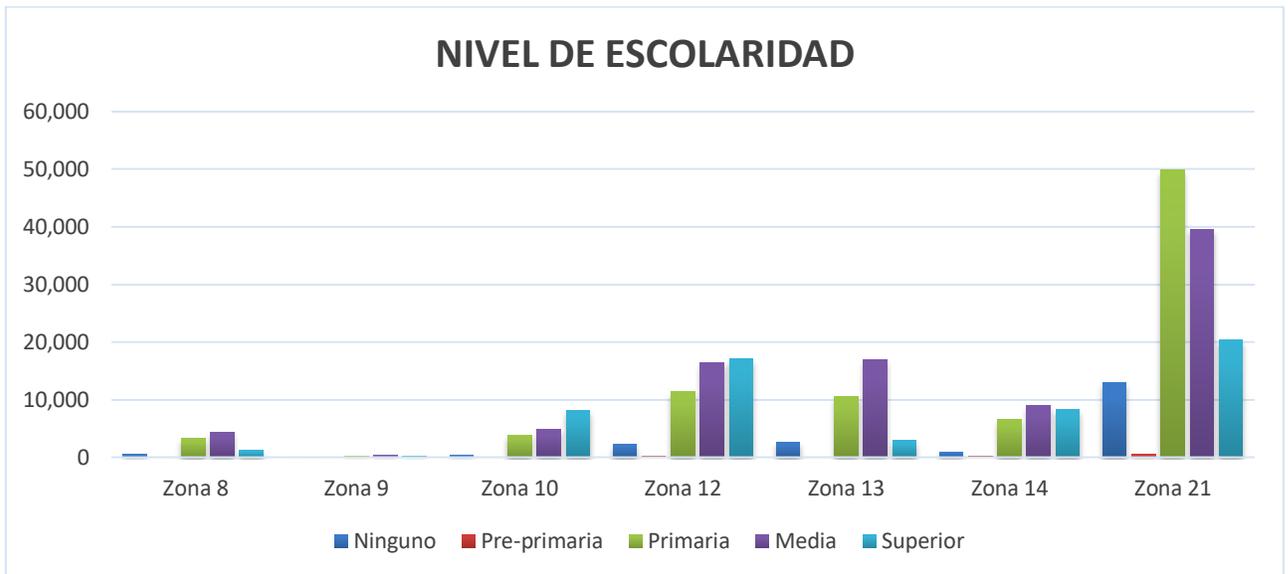
Los resultados en la proyección para el año 2017 reflejan una población con índices altos de alfabetismo pues lo representa el 81 % de los habitantes, el 10 % no presenta información detallada tan solo el 9 % de la población son analfabetas.

El alfabetismo está estrechamente ligado a las condiciones estructurales del sistema educativo. Los resultados reflejan una cantidad elevada de habitantes con aprendizaje

básico de lectura y escritura debido a que la zona metropolitana no presenta condiciones tan precarias y excluidas como en las zonas rurales.

### b. Nivel de escolaridad

Las proyecciones para el año 2017 de las zonas analizadas presentan un grado de escolaridad variado, predominando el nivel educativo de primaria para la zona 21, el nivel medio para la zona 13, 14 y 8. El superior para las zonas 12 y 10, los cuales se pueden observar en la figura 13.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 13. Gráfica del nivel de escolaridad proyectado para el año 2017.

Los resultados muestran una población con niveles altos de escolaridad, debido a que el área urbana brinda una diversa gama de oportunidades en cuanto a educación, pues existe mayor cobertura de centros educativos, facilitando su acceso. Otro factor de relevancia que facilita el acceso a la educación dentro del área urbana, es el respaldo económico que se requiere para mantener y garantizar cualquier proceso de aprendizaje.

### c. Establecimientos educativos

En el cuadro 19 se muestra la cantidad de establecimientos educativos dentro de las zonas de interés según el nivel de escolaridad que se imparte según el Ministerio de Educación.

Cuadro 19. Cantidad de establecimientos educativos por zona.

<b>Establecimientos</b>					
<b>Niveles</b>	<b>Párvulos</b>	<b>Primaria</b>	<b>Primaria Adultos</b>	<b>Básico</b>	<b>Diversificado</b>
<b>Zona 8</b>	9	10	2	3	3
<b>Zona 9</b>	6	5	0	8	12
<b>Zona 10</b>	0	15	1	15	9
<b>Zona 12</b>	59	52	6	56	56
<b>Zona 13</b>	24	26	1	27	26
<b>Zona 14</b>	15	9	1	8	6
<b>Zona 21</b>	39	39	2	21	10

Fuente: MINEDUC, 2017.

Como se puede observar en el cuadro 19 la mayor concentración de establecimientos educativos se presenta en la zona 12 ya que existen 59 establecimientos que ofrecen el nivel de párvulos, 52 centros que imparten el nivel de primaria y 56 establecimientos que brindan conocimientos para los niveles de básico y diversificado. Además es la zona que contiene más establecimientos para la educación primaria específicamente para adultos.

Otra zona que presenta también una concentración considerable de establecimientos educativos tanto privados como públicos es la zona 21, seguida de la zona 13. Las zonas con poca cobertura educativa son la 14, 10, 9 y 8.

#### **2.5.1.2. Descripción de indicadores económicos**

Dentro del área de estudio existe una fuerte dinámica productiva, creando diversas condiciones de empleo en cuanto cantidad y calidad.

#### **A. Principales actividades productivas**

Los sectores productivos que predominan dependen de la zona y se muestran en el cuadro 20.

Cuadro 20. Actividades productivas dominantes por zona de interés.

Zona	Actividades dominantes
8	Comercio; resaltando las ventas de muebles, deshuesadoras (chatarra), venta de repuestos, bodegas, transporte y comunicaciones (buses extraurbanos), ventas informales, venta de lácteos y un mercado pequeño.
9	Sector hotelero importante, restaurantes, centros nocturnos, servicios financieros, transporte y comunicaciones, comercio, ventas informales, macro y microindustrias, ferreterías, oficinas, servicios de salud y sociales, embajadas, organizaciones internacionales, venta de maquinaria.
10	Centros nocturnos, sector hotelero importante, restaurantes, centros comerciales, servicios financieros, organizaciones internacionales, embajadas, oficinas, empresas privadas e instituciones públicas.
12	Presenta el sector industrial con mayor cobertura dentro del área de estudio, diversos comercios, establecimientos educativos, servicios financieros, centros comerciales, restaurante, bodegas, expendio de gas.
13	Aeropuerto Internacional, centros comerciales, transporte y comunicaciones, áreas recreativas (gran variedad de museos, zoológico nacional), hoteles y restaurantes.
14	Embajadas, organizaciones internacionales, diversas oficinas, variedad de comercio, empresas privadas.
21	Sector inmobiliario, pequeños comercios como tiendas y mercados, ferreterías, farmacias, expendios de gas, una pequeña parte del sector industrial.

Fuente: elaboración propia, 2017.

### 2.5.1.3. Descripción de indicadores ambientales

Sobre el área urbana se ejecutan diversas actividades humanas que alteran la calidad del ambiente y la cantidad de los recursos naturales de forma negativa.

Dentro del área de estudio existe un desenfrenado crecimiento poblacional y el sector de servicios, comercio e industria es amplio, los cuales generan diversos tipos de desechos. Es por ello que el tema con mayor relevancia dentro del municipio de Guatemala es el manejo de desechos sólidos y líquidos.

Otro indicador relevante dentro del área analizada es la cantidad arbórea que existe en la zona urbana, pues los espacios verdes dentro de la ciudad brindan servicios ambientales que están estrechamente ligados a la densidad de cobertura vegetal.

#### A. Desechos sólidos

Según información del Perfil Ambiental de Guatemala 2010-2012 (IARNA, 2012), el departamento de Guatemala es uno de los que más desechos generan. El desecho per cápita para el departamento es de 146 kg/persona/año, el cual el 72.2 % de los desechos generados son extraídos por algún tipo de servicio formal privado o municipal, el 13.1 %

de los desechos son quemados, el 10.1 % presenta una disposición final indefinida (basureros clandestinos), el 1.6 % es enterrado y el 2.9 % se desecha de otra forma.

Al no tratar las grandes cantidades de desechos sólidos de forma adecuada y al no asegurar su manejo desde que el desecho se produce, trae como consecuencia la acumulación en áreas que no son aptas para verter los desechos, convirtiendo espacios de cielo abierto públicos o privados en basureros clandestinos, generando un impacto negativo al ambiente y afectando la salud de los habitantes.

Esta inadecuada disposición final de los desechos sólidos son focos de contaminación urbana de mucho interés pues se deben erradicar de forma inmediata para garantizar y fomentar el bienestar del ciudadano. Para ello se debe de identificar y localizar los espacios que estén siendo afectados por vertederos no controlados.

En el cuadro 21, se georreferencia cada uno de los basureros ilegales que están dentro de las zonas de interés.

Cuadro 21. Basureros ilegales encontrados en las zonas de interés.

Zona	Coordenadas UTM		Dirección
	X	Y	
8	233246.61	1617644.69	30 calle A y 11 avenida
9	232773.67	1617194.42	1 y 2 calle entre 0 a 5 avenida
	232883.47	1617213.21	
	232987.34	1617237.60	
	233097.37	1617249.62	
	233409.91	1616968.59	0 avenida entre 3 a 6 calle
	233449.85	1616896.75	
21	234344.68	1609333.96	11 calle y 34 avenida, zona 21, Guatemala, Guatemala.
	234398.36	1609284.48	
	234374.79	1609210.01	
	234251.38	1609099.42	
	234295.65	1609038.05	

Fuente: elaboración propia, 2017.

El tipo de desecho sólido dependerá del sector en el cual éste se genere. En algunos espacios se encontraran desechos domésticos, acumulación de tierra y ripio, desechos electrónicos, tóxicos y peligrosos. También se puede encontrar desechos de sectores productivos de embutidos, derrames de aceites y chatarra.

Estos basureros disminuyen la calidad de vida de los habitantes ya que son vectores de enfermedades, tienen un impacto negativo visual sobre el espacio invadido, contaminan el

suelo por el lixiviado generado, limitando el desarrollo de actividades forestales y vegetales, aumenta la erosión del suelo, los cuerpos de agua también son vulnerables a degradarse pues disminuye la calidad del agua cuando la materia se descompone.

## B. Desechos líquidos

Dentro del área de estudio existen diversas actividades humanas las cuales generan aguas residuales y son vertidas al río Guadrón, las zonas 21, 13 y 12 vierten efluentes directos al río, las cuales la mayoría se descargan sin previo tratamiento.

Existen diversos factores que alteran la calidad del agua superficial del área de estudio los cuales provienen del uso previo que le dan al agua potable en el sector industrial y residencial en su mayoría.

En el cuadro 22 se muestran los sectores los cuales existe mayor problemática en cuanto a las descargas de aguas residuales.

Cuadro 22. Sectores que contribuyen a la contaminación del recurso hídrico superficial.

Zona	Sector	
12	Amplio sector Industrial y Comercial (sin datos específicos)	
13	Residencial	Colonia forestal
		Colonia Reyna Barrios
		Aurora II
		Colonia Santa Fe
21	Residencial	Colonia Tamarindo
		Guajitos

Fuente: elaboración propia, 2017.

Actualmente no existe un sistema de control el cual monitoree e identifique las descargas residuales de estos grandes sectores, por lo que no se tiene conocimiento exacto si están cumpliendo con el requisito de descarga de aguas residuales a cuerpos receptores según el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 “Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y disposición de lodos”.

El cuerpo de agua correspondiente al área de interés transporta grandes cantidades de desechos sólidos, los cuales han sido depositados a orillas de río o en los barrancos, los cuales por su topografía llegan hasta él.

Existen algunas plantas de tratamiento, pero no existen datos específicos que éstas estén en funcionamiento o si cumplen con los requisitos de descarga final.

### C. Vegetación

Debido al incremento poblacional en el área urbana y sus actividades de desarrollo económico se han eliminado y/o degradado los escasos espacios verdes dentro del área de estudio, los cuales son de suma importancia para la población debido a que mejora la calidad de vida y mantiene un equilibrio ambiental.

Los árboles dentro de la ciudad no solo permiten infraestructuras estéticas, las cuales incrementan el valor inmobiliario, también brindan condiciones favorables para el bienestar, seguridad y salud de los habitantes. Mantienen las condiciones necesarias para la conservación del suelo y agua (reducción de escorrentía, mantiene la calidad del agua superficial acumulando nutrientes, aumenta la recarga hídrica), disminuye la probabilidad de desastres naturales, reduce la contaminación auditiva, visual y atmosférica (captura de CO<sub>2</sub>), ayuda a regular las altas temperaturas y brindan condiciones adecuadas útiles para crear espacios recreativos o deportivos.

Dentro del área analizada se puede encontrar dos tipos de vegetación urbana; las que han tenido intervención del hombre (plantación y mantenimiento), por lo tanto se encuentra dentro de la infraestructura gris y la vegetación dentro del barranco, parte del cinturón ecológico municipal (CEM).

#### a. Vegetación del cinturón ecológico municipal

Representa una superficie de 2.17 km<sup>2</sup>, la vegetación de esta área ha sido afectada directamente por la expansión horizontal de centros poblados, industrias y comercios. En el cuadro 23 se puede apreciar las especies que predominan.

Cuadro 23. Especies del cinturón ecológico municipal del río Guadrón.

Nombre común	Nombre científico
Ciprés común	<i>Cupressus sempervirens</i>
Pino	<i>Pinus oocarpa</i>
Eucalipto	<i>Eucalyptus cloeziana</i>
Amate	<i>Ficus insipida</i>
Encino	<i>Quercus ssp.</i>
Jacaranda	<i>Jacaranda mimosifolia</i>
Gran variedad de herbáceas	

Fuente: elaboración propia, 2017.

## b. Arbolado urbano

En el cuadro 24 se muestra las especies que se pueden encontrar dentro de la ciudad, específicamente en las zonas de interés.

Cuadro 24. Especies dentro de las zonas verdes urbanas.

No.	Nombre común	Nombre científico
1.	Araucaria	<i>Araucaria araucana</i>
2.	Calandria	<i>Calliandra tweedii</i>
3.	Calistemo rojo	<i>Callistemon rigidus</i>
4.	Calistemo blanco / Corcho	<i>Melaleuca quinquenervia</i>
5.	Casuarina	<i>Casuarina equisetifolia</i>
6.	Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i>
7.	Ciprés común	<i>Cupressus sempervirens</i>
8.	Coralillo	<i>Citharexylum donnell-smithii</i>
9.	Costa rica	<i>Bauhinia variegata</i>
10.	E. cloeziana	<i>Eucalyptus cloeziana</i>
11.	Eugenia	<i>Eugenia involucrata</i>
12.	Farolillos	<i>Koelreuteria paniculata</i>
13.	Ficus	<i>Ficus benjamina</i>
14.	Flamboyán	<i>Delonix regia</i>
15.	Fresno	<i>Fraxinus sp.</i>
16.	Jacaranda	<i>Jacaranda mimosifolia</i>
17.	Llama del bosque	<i>Spathodea campanulata</i>
18.	Magnolia	<i>Magnolia champaca</i>
19.	Manzanote	<i>Casimiroa edulis</i>
20.	Matilisguate	<i>Tabebuia rosea</i>
21.	Nispero	<i>Eriobotrya japónica</i>
22.	Pino	<i>Pinus oocarpa</i>
23.	Sauce	<i>Salix sp.</i>
24.	Schefflera	<i>Schefflera arboricola</i>
25.	Timboque	<i>Tecoma stans</i>
26.	Trueno	<i>Ligustrum lucidum</i>

Fuente: elaboración propia, 2017.

### 2.5.1.4. Descripción general de las zonas de interés

En el cuadro 25 se muestran algunas características económicas, sociales y ambientales específicas de las zonas 8, 9, 10, 12, 13, 14 y 21, las cuales se determinaron a través de visitas de campo e información obtenida de cada una de las alcaldías auxiliares correspondientes.

Cuadro 25. Aspectos sociales, económicos y ambientales.

Zona	Descripción general
8	<p>Esta zona tiene un amplio sector comercial. Por otro lado carece de espacios verdes por lo que utilizan las banquetas para reforestar, algunas de están sobre la Atanacio Tzul, Santa Cecilia, 4 calle y parte de la Avenida Bolívar. La zona estaba invadida por 18 basureros clandestinos, los cuales se han erradicado 15 con acciones ejecutadas por la alcaldía auxiliar.</p> <p>Existen varios Comités Únicos de Barrio los cuales apoyan en la comunicación directa entre vecinos y la alcaldía auxiliar. También se ha trabajado con establecimientos educativos y el Centro de Educación Ambiental (CEA) de la Municipalidad, los cuales implementan acciones de concientización ambiental.</p> <p>Se han podido recuperar algunos espacios los cuales eran basureros convirtiéndolos en espacios deportivos y/o recreativos.</p>
9	<p>Este sector es principalmente comercial y presenta algunos servicios, sin embargo se encuentra una pequeña área donde todavía hay una dinámica doméstica. Esto ha generado que los pocos vecinos se organicen para mantener tranquila la zona de establecimientos nocturnos y la invasión de espacios públicos (banquetas de calles y avenidas) por ventas informales. La zona no presenta problemas con focos de contaminación. Sin embargo ha afectado el desborde de desechos sólidos de la Terminal (zona 4) y desborde de desechos de aceites y grasas en la colindancia con la zona 8.</p> <p>Esta zona carece de espacios verdes por lo que al igual que la zona ocho han utilizado las banquetas como espacios para reforestar y ampliar la vegetación urbana de la zona. Al ser zona destino es muy transitada lo cual congestiona todas las vías vehiculares, esto provoca altas concentraciones de emisiones vehiculares.</p>
10	<p>Esta zona contiene amplio sector comercial y residencial. Los problemas de mayor magnitud se encuentran sobre el río Negro, ya que se pueden encontrar diversos basureros clandestinos, descargas de aguas residuales y la deforestación sobre estos barrancos es amplia por la expansión horizontal de la colonia Alcazar y el uso que se le da a la madera.</p> <p>Se ha reforestado diversas áreas, Campo Marte, zona Pradera, Ciudad Vieja, Okland. Dentro de la zona también se pueden encontrar cinco parques municipales, Ciudad Vieja, Dante Alighieri, Las Araucarias, Joya de Okland y La Villa.</p>
13	<p>Presenta un amplio sector residencial y un sector comercial importante. La alcaldía auxiliar ha reforestado sectores importantes dentro de la zona, Lomas de Pamplona, El Carmen, Aeronáutica, parte del INSIVUMEH son algunos de esos espacios. Actualmente trabajan en la elaboración de un nuevo parque ecológico municipal.</p> <p>La zona presenta apoyo de algunos grupos sociales para la ejecución de actividades relevantes, algunos de estos son COCODES, COMUDES, escuelas e iglesias. Han tenido diversas jornadas de educación en establecimientos educativos con el apoyo del Centro de Educación Ambiental (CEA) de la municipalidad.</p> <p>El mayor problema de la zona es la gran cantidad de basureros clandestinos en la colonias Plaza de Toros, Eucaliptos, Santa Fe y Aurora I y II.</p>
21	<p>Esta zona capitalina presenta amplio sector residencial, cuenta con tejido urbano continuo y presenta a su vez tejido urbano precario sobre las pendientes de la microcuenca del río Guadrón. También presenta algunos sectores de servicios y comercio. Es un área con pocos espacios verdes, sin embargo la alcaldía auxiliar lleva cinco años reforestando áreas dentro del Cerro Gordo (Colonia Junto Rufino Barrios) y algunas partes de la colonia Nimajuyú, en la parte de Guajitos no existen espacios verdes públicos solamente privados.</p> <p>La zona presenta actualmente un basurero clandestino de mayor impacto sobre el río Pinula en la colonia Justo Rufino Barrios, el cual presenta desechos industriales y domésticos. Por otro lado la alcaldía auxiliar ha erradicado con éxito diversos basureros clandestinos con ayuda de algunos COCODES, que detectan estos focos de contaminación.</p>

Fuente: elaboración propia con información de alcaldías auxiliares, 2017.

## A. Dinámica real de las zonas sobre la microcuenca

En el cuadro 26 muestra el área total de las zonas 8, 9, 10, 12, 13, 14 y 21, las cuales son de interés para conocer ampliamente las condiciones del área de estudio, así mismo se encuentran las dimensiones reales de la superficie de las zonas dentro de la microcuenca del río Guadrón.

Cuadro 26. Área real de las zonas de interés dentro de la microcuenca.

Municipio	Categoría	ÁREA TOTAL	ÁREA CUENCA		
		km <sup>2</sup>	% zona	km <sup>2</sup>	% cuenca
Guatemala	Zona 8	1.3	14	0.19	1
	Zona 9	2.4	49	1.18	9
	Zona 10	5.5	6	0.35	3
	Zona 12	12.1	29	3.52	27
	Zona 13	8.1	79	6.43	50
	Zona 14	4.7	18	0.86	7
	Zona 21	5.5	7	0.37	3
<b>Total</b>		<b>39.7</b>		<b>12.89</b>	<b>100</b>

Fuente: elaboración propia, 2017.

El 79 % del área total de la zona 13 está dentro del perímetro de la microcuenca proporcionando el 50 % de la superficie a la misma, el 29 % del área de la zona 12 representa el 27 % de la microcuenca, en cuanto la zona 21 solamente el 7 % del área total de zona se encuentra dentro de la microcuenca representado el 3% de la superficie de la misma, estas zonas son de suma importancia ya que tienen relación directa con la zona barrancosa.

### 2.5.1.5. Análisis social, económico y ambiental

La ciudad capitalina presenta una constante transformación en su dinámica social y económica así como una alteración en su entorno ambiental.

Dentro de la microcuenca del río Guadrón es notoria la estratificación social que existe y caracteriza a todo el municipio de Guatemala en general. La parte alta de la microcuenca presenta la dinámica económica más representativa y sectores sociales exclusivos en desarrollo del municipio, por otro lado, la parte baja y la zona más susceptible a amenazas de la microcuenca se establecen algunos sectores con problemas de exclusión y desigualdad social, los cuales por sus condiciones aportan a la degradación de espacios verdes naturales así como la contaminación edáfica e hídrica.

La relación entre la Municipalidad de Guatemala y el sector industrial es delicada y un tema complejo, pues no existe un sistema eficiente que controle al sector industrial y evalúe si los procesos de producción son amigables con el ambiente.

Es importante identificar cada grupo social dentro de la microcuenca y conocer sus condiciones debido a que son focos principales de participación y colaboración en proyectos de saneamiento ambiental.

## 2.5.2. Análisis de la tierra

### 2.5.2.1. Análisis del paisaje

La microcuenca del río Guadrón se encuentra sobre la región fisiográfica de “Tierras Altas Volcánicas” y su gran paisaje lo define el “Valle tectónico de la ciudad de Guatemala”. Mediante un análisis de pendientes se determinaron tres categorías de sub paisaje y cuatro elementos del paisaje los cuales se representan en el cuadro 27 y su distribución espacial se muestra en la figura 14.

Cuadro 27. Leyenda fisiográfica de la microcuenca del río Guadrón.

Región fisiográfica	Sub región fisiográfica	Zona de vida	Gran paisaje	Paisaje	Sub paisaje	Elementos del paisaje	Código
Tierras altas volcánicas	Zona montañosa y planicie central (Tepán-Jalpatagua)	Bosque húmedo sub tropical (Templado)	Valle tectónico de la ciudad de Guatemala	Valle de la ciudad de Guatemala de la Asunción	Complejo de colinas residuales	Muy fuertemente inclinados	A.1
					Complejo de terrazas y barrancos	Fuertemente inclinados	B.1
						Medianamente inclinados	B.2
					Altiplanicies	Muy ligeramente inclinados	C.1

Fuente: elaboración propia, 2017.

La fisiografía del área de estudio da lugar a características propias de un valle alterado por la actividad constante del cinturón volcánico del país, por ende las unidades inferiores que se encuentran dentro de la microcuenca son:

#### **A. Complejo de colinas residuales**

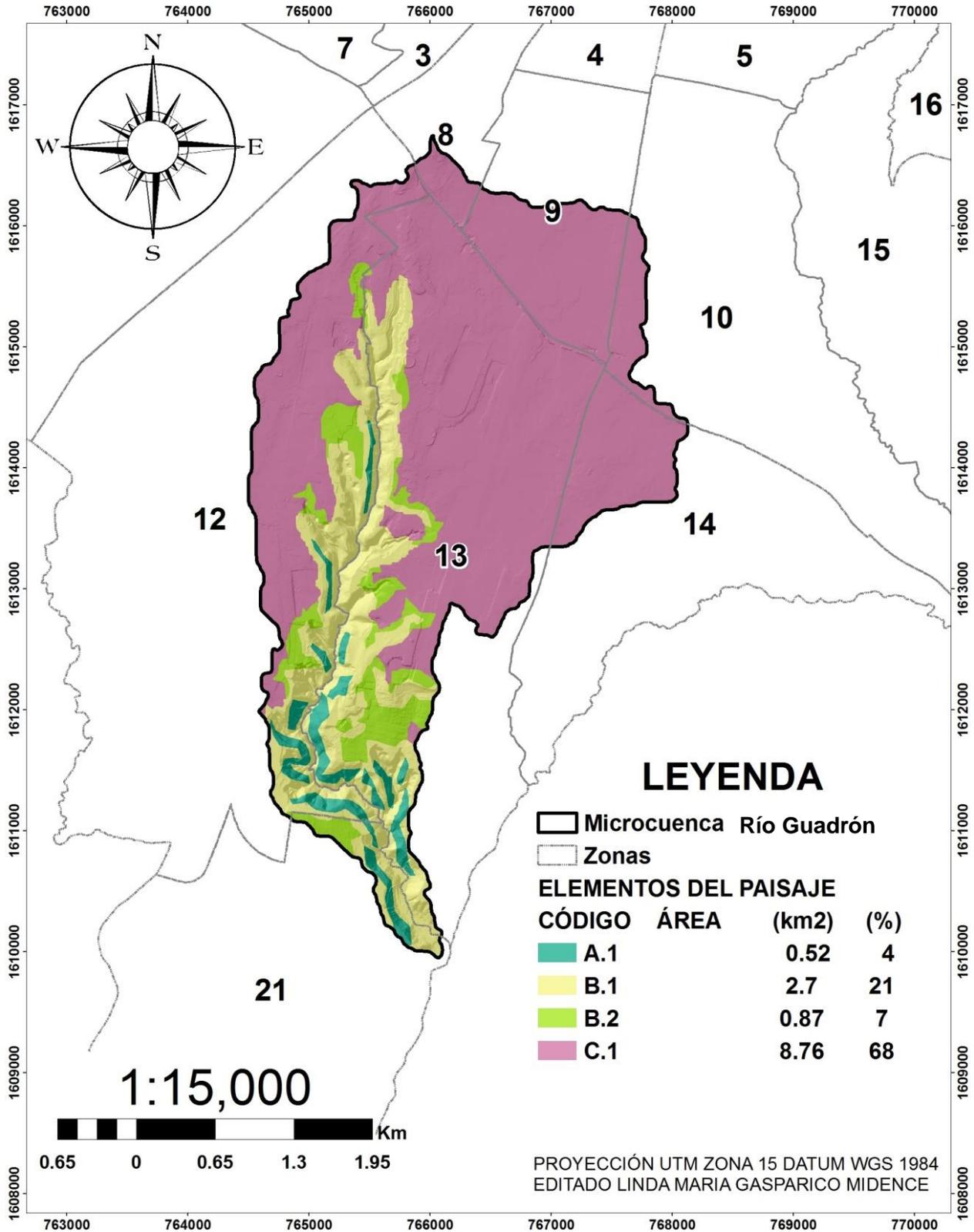
Esta categoría da lugar a terrenos con elevaciones sutiles o ligeras dentro de la microcuenca, cuyo origen es de material piroclástico de pómez que se ha dado por la actividad volcánica cerca al valle y que se ha acumulado a través de los años por diferentes procesos evolutivos. Este complejo de colinas residuales se caracterizan por estar muy fuertemente inclinadas (A.1), es decir que sus pendientes son mayores a 30 °.

#### **B. Complejo de terrazas y barrancos**

Este complejo se ha formado a través de los años por erosión que ocasiona el río en la cual va degradando una superficie plana y por otro lado el arrastre de sedimentos del mismo se depositan a los lados del cauce y cuya distribución determina la red de drenaje subparalelo a subdendrítico propio de la microcuenca. Dentro del área de estudio existe este complejo fuertemente inclinado (B.1) con pendientes que oscilan entre 10 °- 30 ° y medianamente inclinadas (B.2) con pendientes entre 3 °- 10 °.

#### **C. Altiplanicies**

Estas abarcan mayor área dentro de la microcuenca (68 %) en la parte Norte del área de estudio, presentan alta altitud formando una meseta, con pendientes muy ligeramente inclinadas (C.1) menores a 3 °.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 14. Mapa de la fisiografía de la microcuenca del río Guadrón.

### 2.5.2.2. Uso de la tierra

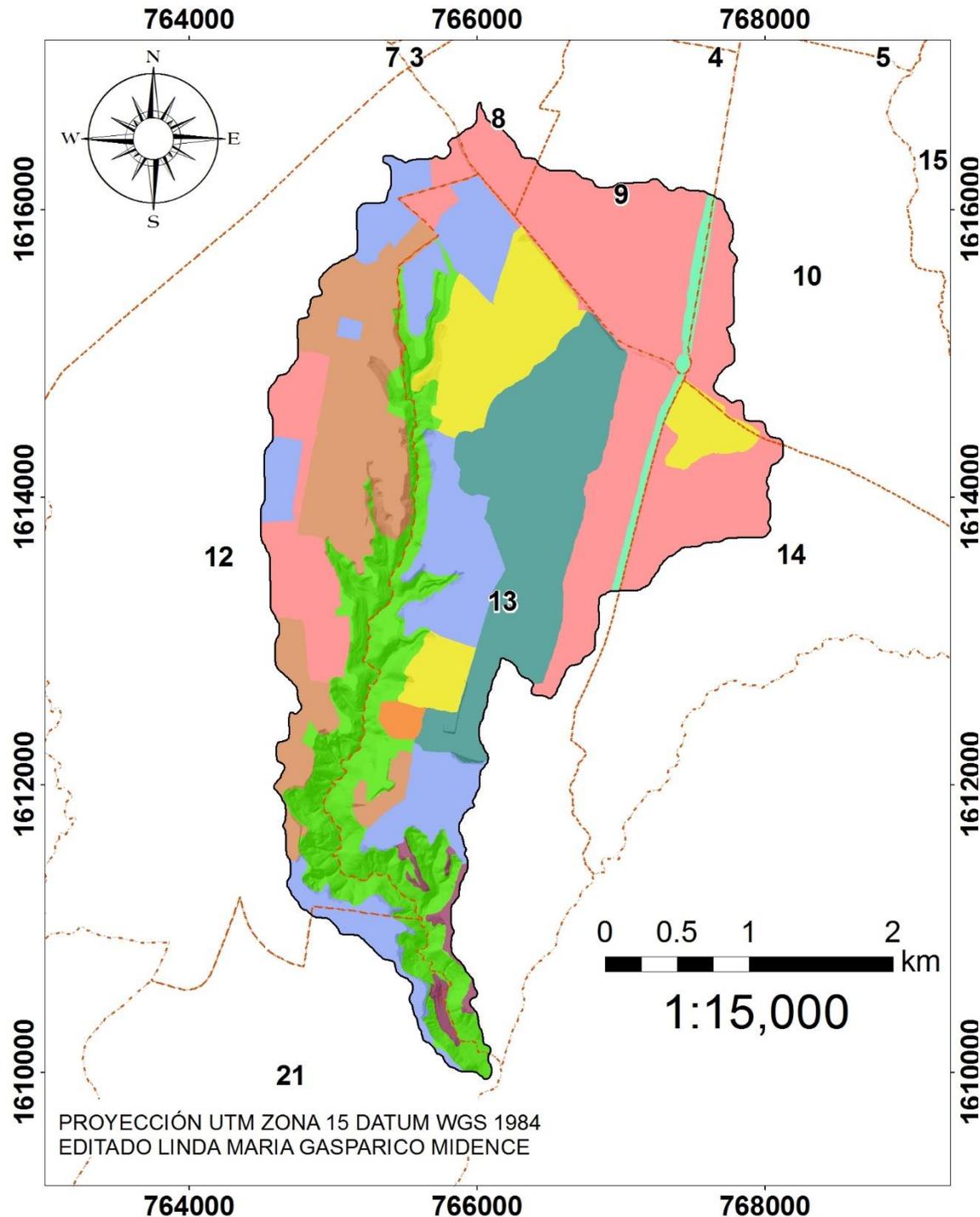
La microcuenca del río Guadrón ha estado sujeta a extensos centros urbanos pues presenta el 83 % de todo el territorio del área de estudio, particularmente el área comercial, área industria y amplios sectores poblacionales. Es una microcuenca que presenta un orden en su estructura de uso a pesar de la falta de ordenamiento territorial.

Cada sector está distribuido homogéneamente en su mayoría, sin embargo hay sectores donde existe una combinación de usos. En el cuadro 28 se muestran los usos dominantes y en la figura 15 muestra la distribución espacial dentro de la microcuenca.

Cuadro 28. Niveles de uso de la tierra dentro de la microcuenca río Guadrón, 2017.

<b>Uso Actual</b>		
<b>Nivel 1</b>	<b>Nivel 2</b>	<b>Nivel 3</b>
Territorios artificializados	Zonas Urbanizadas	Tejido urbano continuo
		Tejido urbano precario
	Zonas industriales o comerciales y redes varias	Zonas industriales
		Comercios y servicios
		Aeropuerto
	Zonas verdes artificiales no agrícolas	Zonas verdes urbanas
Instalaciones deportivas y recreativas		
Territorios agrícolas	Pastos	Pastos naturales
Bosques y medios seminaturales	Bosques	Bosques mixtos

Fuente: elaboración propia, 2017.



**LEYENDA**

USO ACTUAL			USO ACTUAL		
CATEGORIAS	ÁREA (Km2)	ÁREA (%)	CATEGORIAS	ÁREA (Km2)	ÁREA (%)
Aeropuerto	1.80	14	Instalaciones deportivas	1.24	10
Bosques mixtos	2.17	17	Tejido urbano continuo	1.93	15
Comercios y servicios	3.81	29	Tejido urbano precario	0.12	0.92
Pastos naturales	0.07	0.5	Zonas industriales	1.63	13
Zonas verdes urbanas	0.17	1.3			

Fuente: elaboración propia, 2017.  
Figura 15. Mapa del uso actual de la tierra.

Dentro de la microcuenca el uso que predomina es el de comercio con un 29 % del área total sobre el territorio de la misma, en ella se puede encontrar una gama amplia de comercios y servicios, centros comerciales, el sector hotelero de mayor relevancia, servicios de salud (hospitales, clínicas, farmacias, etc.), instalaciones educativas, estaciones de buses públicos tanto municipal como privado, también se encuentra el Aeropuerto Internacional La Aurora que abarca un porcentaje considerable de área (14 %) total del territorio. Cabe mencionar que dentro del área comercial existe un sector combinado con viviendas (casas individuales, apartamentos).

Otro uso con alta distribución espacial son los bosques seminaturales que conforman el cinturón ecológico municipal representado con el 17 % total del territorio dentro de la microcuenca. Estos bosque son mixtos y algunas partes son más densas que otras, ya que por la expansión del tejido urbano continuo (15 %), tejido urbano precario (0.92 %) y el sector industrial (13 %) se va degradando constantemente.

Otro uso de mayor relevancia es el de instalaciones deportivas y recreativas (10%), ya que se pueden encontrar diversas zonas polideportivas y recreativas como el Zoológico La Aurora, el Teatro al Aire Libre, distintos museos como el de Los Niños, Arte Moderno Carlos Mérida y el museo de Arqueología y Etnología.

Existen otros usos a menor escala como lo son las zonas verdes urbanas que abarcan el 1.3 % del área total de la microcuenca, estos espacios son esenciales para la calidad de vida de esta zona urbana sin embargo son muy escasas y solo se encuentra en zonas exclusivas de la ciudad.

La microcuenca no presenta una zona agrícola relevante debido a que solamente existe una pequeña parte (0.5 %) de plantaciones de pastos naturales.

### **2.5.2.3. Capacidad de uso de la tierra**

A raíz de la matriz de decisión planteada por el INAB en el año 2000 para la región de Tierras Altas Volcánicas, se signaron las categorías de uso específicamente para la zona barrancosa que aún queda dentro de la microcuenca. Las cuales se reflejan en el cuadro 29 y en cuanto la figura 16 muestra la distribución geográfica de la capacidad de uso.

Esta asignación de usos servirá para reorganizar el cinturón ecológico de la microcuenca del río Guadrón y aprovechar su potencial de forma sostenible, sin alterar su condición ambiental sobre el área estudiada.

Cuadro 29. Clases de capacidad de uso de la tierra.

Capacidad de uso del cinturón ecológico microcuenca Río Guadrón		Área	
Clase de capacidad	Descripción	km <sup>2</sup>	%
Aa	Agroforestería con cultivos anuales	0.263334	11.78
Ap	Agroforestería con cultivos permanentes	0.40697	18.21
F	Tierras forestales para producción	0.573646	25.67
Fp	Tierras forestales para protección	0.990847	44.34
<b>Total</b>		<b>2.234797</b>	<b>100</b>

Fuente: elaboración propia, 2017.

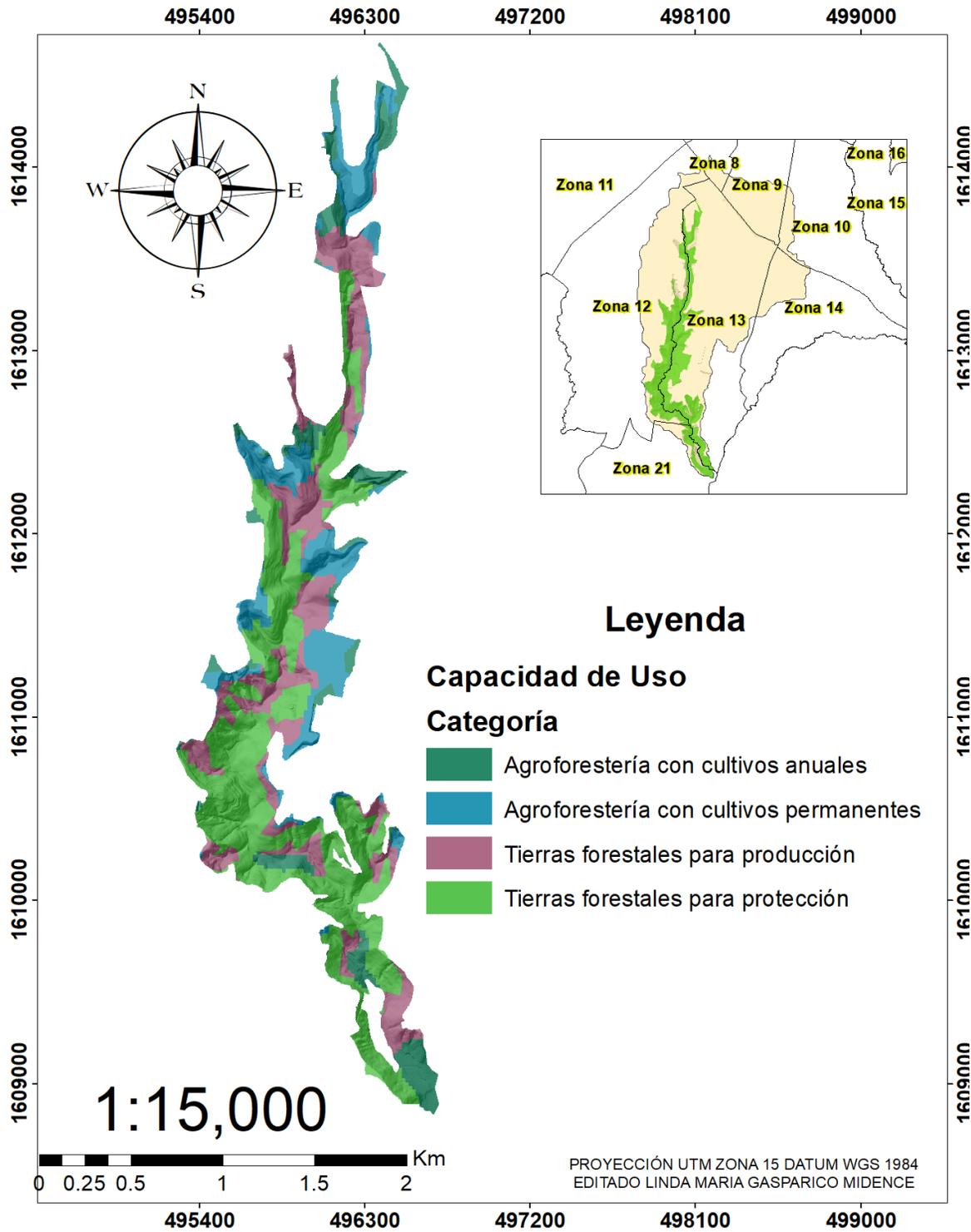
Como se puede apreciar en el cuadro 29 la superficie total evaluada fue de 2.23 km<sup>2</sup>, donde cada una de las categorías finales de capacidad de uso respecto a la tierra del cinturón ecológico municipal de la microcuenca del río Guadrón aplican para fines forestales, basadas en aspectos de pendiente y profundidad efectiva del suelo, cada una refleja distintas proporciones y limitaciones. A continuación se describen de manera amplia cada aptitud.

#### A. Agroforestería con cultivos anuales

Esta categoría ocupa una pequeña área de 0.26 km<sup>2</sup> lo que equivale al 11.78 % de la zona barrancosa de la microcuenca. Sus condiciones presentan pendientes muy bajas menores a 12 % y alrededor de 20 cm – 50 cm de profundidad efectiva del suelo lo cual podría generar alguna limitación en su uso. Según el INAB estas áreas tienen capacidad para ejecutar obras de conservación de suelo a través de prácticas agronómicas de cultivos asociados con árboles.

#### B. Agroforestería con cultivos permanentes

Esta categoría muestra un área de 0.41 km<sup>2</sup> equivalente al 18.21 % del área boscosa dentro del área de estudio. El entorno característico de esta clasificación son pendientes entre 12 % y 36 % algunas relativamente bajas y otras catalogadas como medianas, la profundidad efectiva oscila entre 20 cm – 50 cm y también presenta profundidad mayor a



Fuente: elaboración propia, 2017.  
Figura 16. Mapa de la capacidad de uso de la tierra.

los 90 cm. Estas dos condiciones pueden ser factores limitantes dentro del área. Este espacio puede ser utilizado para cultivos permanentes ya sea frutales o de algún otro producto forestal. Esta aptitud puede ser aprovechada para conservar el suelo a través de barreras vivas las cuales evitan la erosión por escorrentía.

### **C. Tierras forestales para producción**

Presenta un espacio amplio con 0.57 km<sup>2</sup>, lo cual equivale a un porcentaje del 25.67 % del bosque de la microcuenca. Presenta una pendiente alta (36 % - 55 %) y una profundidad efectiva del suelo mayor de 90 cm. Según el INAB esta área presenta limitaciones por el factor de pendiente por lo que dentro de ésta área se debe realizar un manejo forestal sostenible pues otro uso puede causar deterioro a los recursos naturales y degradación productiva de los suelos.

### **D. Tierras forestales para protección**

Esta categoría ocupa la mayor parte del cinturón ecológico municipal de la microcuenca del río Guadrón con 0.99 km<sup>2</sup> de área es decir el 44.34 % del área. Esta aptitud presenta pendientes mayores del 55 % y una profundidad efectiva del suelo entre 20 cm – 50 cm. Las pendientes muy altas representan limitaciones severas dentro de este espacio. Esto da como resultado actividades exclusivas para preservar el entorno ambiental natural.

#### 2.5.2.4. Intensidad de uso de la tierra

La superposición de los mapas de uso de la tierra y capacidad de uso de la tierra refleja un territorio delimitado por zonas de sub uso y uso correcto. En el cuadro 30 se muestra el área de cada clasificación de intensidad de uso de la tierra dentro del cinturón ecológico municipal correspondiente a la microcuenca del río Guadrón.

Cuadro 30. Clasificación de intensidad de uso de la tierra.

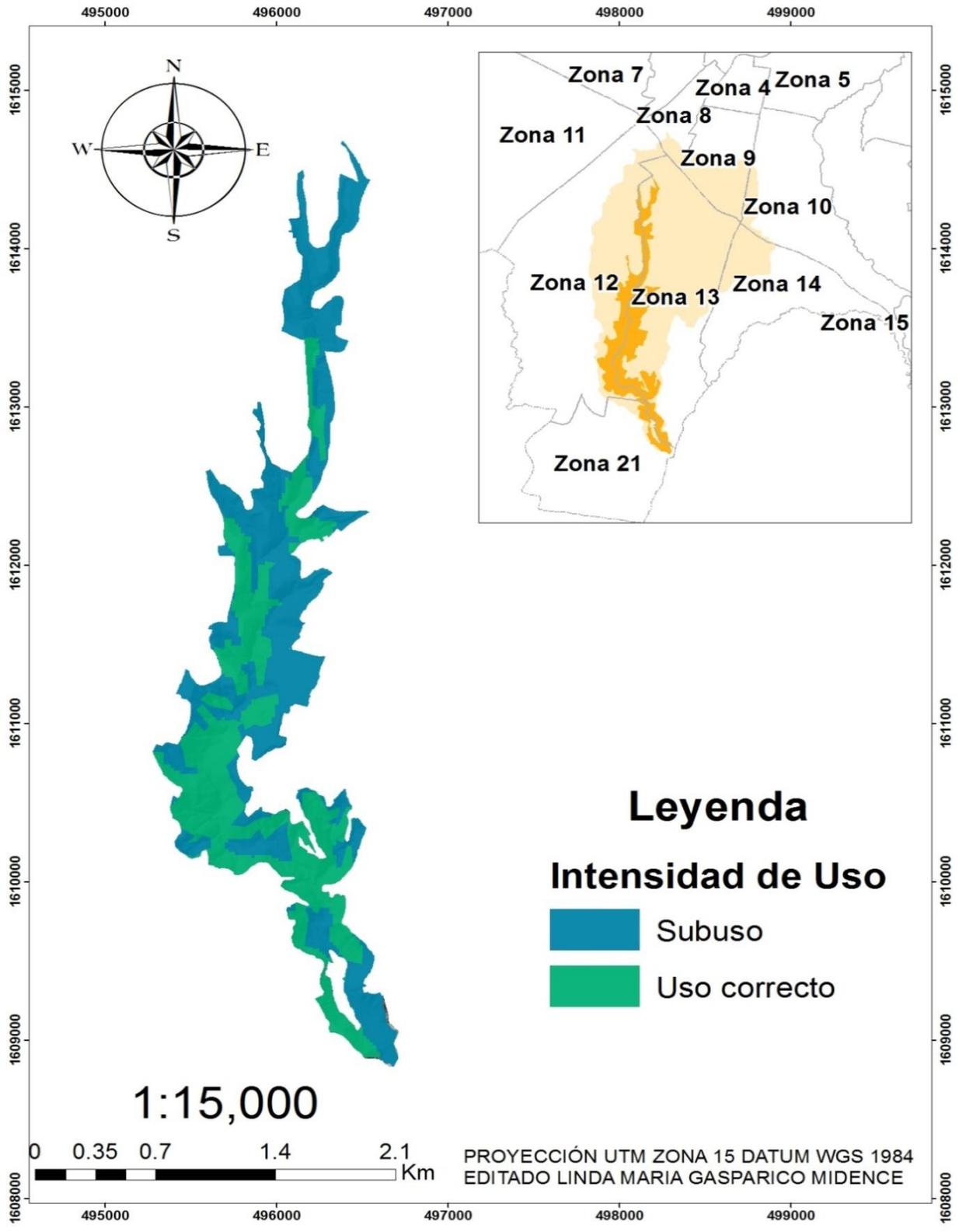
Intensidad de uso de la tierra	Área	
	Km <sup>2</sup>	%
<b>Sub uso</b>	1.24395	55.66
<b>Uso correcto</b>	0.990847	44.34
<b>Total</b>	<b>2.234797</b>	<b>100</b>

Fuente: elaboración propia, 2017.

Como se puede observar en el cuadro 30 la intensidad de uso de la tierra se clasifica de la siguiente forma:

- A. Tierras en sub uso: Es la clasificación que presenta mayor área dentro del cinturón ecológico municipal, debido a que tiene un área de 1.24 km<sup>2</sup> (55.56 %). Este territorio no está aprovechado toda la capacidad de uso. Podría utilizarse como tierras forestales para producción y por las condiciones topográficas del territorio y las necesidades de los habitantes se podrían habilitar espacios verdes públicos recreativos accesibles dentro de la ciudad capital.
- B. Tierras en uso correcto: Son espacios barrancosos con bastante vegetación la cual se debe proteger y conservar mediante un manejo sostenible para mantener el equilibrio ambiental dentro de la zona metropolitana. Las pendientes del terreno son pronunciadas lo cual dificulta la urbanización, al hacerlo generaría un terreno sobre utilizado. Esta clasificación representa el 44.34 % del cinturón ecológico municipal correspondiente a la microcuenca del río Guadrón.

En la figura 17, se muestra la distribución de las áreas con uso correcto o subuso de la tierra.



Fuente: elaboración propia, 2017.  
Figura 17. Mapa de la intensidad de uso de la tierra.

## 2.5.3. Recurso hídrico

### 2.5.3.1. Morfometría

Las características morfométricas de la microcuenca, se presentan en el cuadro 31.

Cuadro 31. Morfometría de la microcuenca del río Guadrón.

<b>Morfometría</b>		
<i>Aspectos Lineales</i>		<i>Unidades</i>
Perímetro	19.93	km
Clases de corrientes	Permanentes	1
	Intermitentes	1
	Efímeras	34
Orden y número de corrientes	Orden 1	35
	Orden 2	3
	Orden 3	1
Radio de bifurcación media	7.33	
Longitud de corrientes	15.82	km
Longitud media de corrientes	5.423942857	km
Radio de longitud medio	4.13	km
Longitud acumulada de corrientes	325.474	km
<i>Aspectos de Superficie</i>		<i>Unidades</i>
Área de la microcuenca	12.89	km <sup>2</sup>
Longitud del cauce principal	6.796992	km
Forma de la microcuenca		
a) Relación forma (Rf)	0.28	
b) Relación circular (Rc)	0.41	
c) Coeficiente de compacidad (kc)	1.55	
d) Radio de elongación (Re)	1.87	
Densidad de drenaje	25.23	km/km <sup>2</sup>
Frecuencia o densidad de corrientes	3.02	Cauces/ km <sup>2</sup>
Tiempo de concentración	2.39	h
<i>Aspectos de Relieve</i>		<i>Unidades</i>
Pendiente media de la microcuenca	14.12	%
Pendiente media del cauce principal	3.83	%
Elevación media de la microcuenca	1,502.43701	msnm
Grado de madurez de la microcuenca	La microcuenca se encuentra en la etapa de desequilibrio lo cual contiene una geología joven y presenta características de una microcuenca propia de una meseta.	
Coeficiente de relieve	2.8546 x 10 <sup>-6</sup>	
Coeficiente de robustez	0.007	

Fuente: elaboración propia, 2017.

En el cuadro anterior se muestran los resultados lineales, superficiales y de relieve, estableciendo el comportamiento hidrológico de la microcuenca del río Guadrón. De manera preliminar la información lineal obtenida del SIG nos muestra un perímetro equivalente a 19.93 km, presentando una corriente permanente, una intermitente y 35 corrientes efímeras a una escala cartográfica 1:25,000. El cauce principal presenta una longitud de 6.8 km. En cuanto a la ramificación del cauce principal es una microcuenca pequeña por ser de orden 3, presentando corrientes de orden 1 con una longitud total de 8.96 km; 2.54 km las corrientes de orden 2 y las de orden 3 con 4.32 km en total. La longitud media de corrientes presenta 5.42 km. La microcuenca cuenta con un radio de bifurcación media de 7.33 lo cual representa pequeñas variaciones de región a región y según Strahler establece que sus vertientes por su estructura geológica no deforman el patrón de drenaje. La longitud media de corrientes es de 5.42 km lo que refleja pendientes suaves o planas.

Se puede considerar a la microcuenca, según sus aspectos de superficie, muy pequeña ya que contiene un área de 12.9 km<sup>2</sup> y según su relación de forma (0.28) es propia de una microcuenca ligeramente estrecha, con un coeficiente de compacidad de 1.55 que nos muestra una microcuenca oval oblonga indicando tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento. Por su alta densidad de drenaje (25.23 km/km<sup>2</sup>) da respuesta hidrológica rápida, alta eficiencia en el drenaje y muestra materiales erosionables, suelos impermeables y pendiente fuerte con poca cobertura vegetal. Debido a que el sistema de drenaje de la microcuenca es de mayor magnitud, es de esperarse que el tiempo de concentración sea considerablemente baja (2.39 h). Esto genera mayor capacidad de producción de caudal superficial por parte de la microcuenca.

En cuanto a los aspectos de relieve nos indica que la pendiente de la microcuenca no es pronunciada (14.12 %) sin embargo es un terreno accidentado y considerando que la pendiente del cauce principal es de 3.83 %, la velocidad de flujo de agua es baja y alta contribución a las aguas subterráneas. La elevación media es de 1,502.44 m s.n.m. y considerando el coeficiente de relieve muy bajo  $2.8546 \times 10^{-6}$  y su grado de madurez obtenida de la curva hipsométrica muestra una etapa de desequilibrio lo cual contiene valles profundos, praderas amplias con gran potencial erosivo debido a su geología joven.

Esta representa una microcuenca propia de una meseta.

### **2.5.3.2. Calidad de agua**

En el cuadro 32 se muestra los resultados del análisis fisicoquímico realizado en agua superficial de la microcuenca.

Cuadro 32. Análisis fisicoquímico del agua de la microcuenca del río Guadrón.

No.	MUESTREO	PARTES	ÉPOCA	TEMP	DQO	SST	O2	CE
1.	M1	Alta	Seca	18.9	211.0	49.0	0.3	732.0
2.	M1	Baja	Seca	19.9	335.0	133.3	0.2	853.0
3.	M2	Alta	Seca	24.0	351.0	175.0	0.2	752.0
4.	M2	Baja	Seca	25.0	497.0	784.6	0.1	949.0
5.	M3	Alta	Seca	19.1	305.0	54.0	0.2	775.0
6.	M3	Baja	Seca	21.7	420.0	366.7	0.2	861.0
7.	M4	Alta	Seca	17.4	342.0	220.0	0.1	735.0
8.	M4	Baja	Seca	19.4	530.0	589.3	0.1	860.0
9.	M5	Alta	Seca	18.5	389.0	340.0	0.2	756.0
10.	M5	Baja	Seca	20.4	560.0	654.9	0.2	898.0
11.	M6	Alta	Lluviosa	20.3	180.0	64.0	0.2	613.0
12.	M6	Baja	Lluviosa	22.8	218.0	75.0	0.3	514.0
13.	M7	Alta	Lluviosa	21.4	128.0	42.0	0.3	504.0
14.	M7	Baja	Lluviosa	22.2	173.0	51.3	0.4	500.0
15.	M8	Alta	Lluviosa	20.6	153.0	40.0	0.3	590.0
16.	M8	Baja	Lluviosa	23.0	324.0	135.9	1.0	700.0
17.	M9	Alta	Lluviosa	20.6	219.0	33.0	0.3	672.0
18.	M9	Baja	Lluviosa	23.0	240.0	81.8	0.4	783.0
19.	M10	Alta	Lluviosa	22.4	250.0	54.0	0.3	580.0
20.	M10	Baja	Lluviosa	23.6	320.0	78.0	0.5	660.0

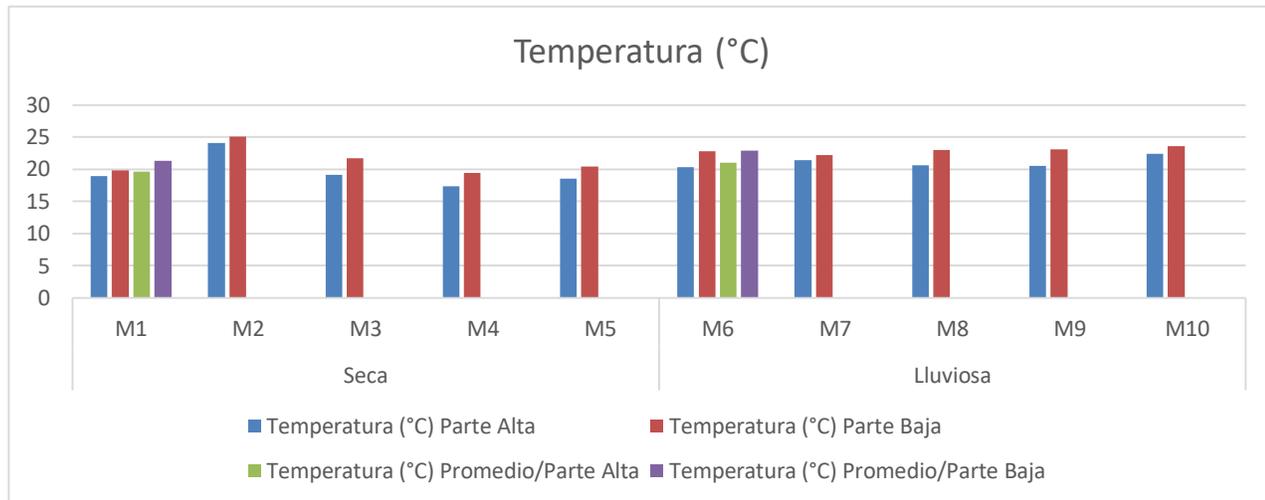
Fuente: Dirección de Medio Ambiente, Municipalidad de Guatemala (2015 - 2016).

### A. Temperatura del agua

La temperatura del río Guadrón varía según la época del muestreo (figura 18). La máxima temperatura encontrada dentro del río se da en el muestreo 2 (M2) realizado en la época seca en la parte baja de la microcuenca con un valor de 25 °C. Dentro del comportamiento de la temperatura se puede observar un fenómeno inesperado ya que las altas temperaturas pertenecen a los muestreos de época lluviosa en la parte baja de la microcuenca correspondientes a los muestreos M8, M9, M10 con una temperatura de 23 °C.

Este aumento de temperaturas en época lluviosa es el resultado de los vertidos de aguas específicamente de fuentes urbanas. Hay que recordar que la microcuenca es afectada directamente por el sector industrial, considerablemente amplio, que se encuentran a orilla del río Guadrón donde algunas industrias vierten al mismo el agua caliente de sus plantas sin previo tratamiento, a esto se le suman otras aguas de escorrentía doméstica; las altas temperaturas dentro del río aceleran la putrefacción de la materia orgánica.

Los promedios de temperatura dentro del área de estudio en época seca es en su parte alta 19.60 °C y parte baja 21.29 °C. En cuanto a la época lluviosa presenta una temperatura de 21.04 °C en la parte alta y 22.91 °C en la parte baja de la microcuenca.



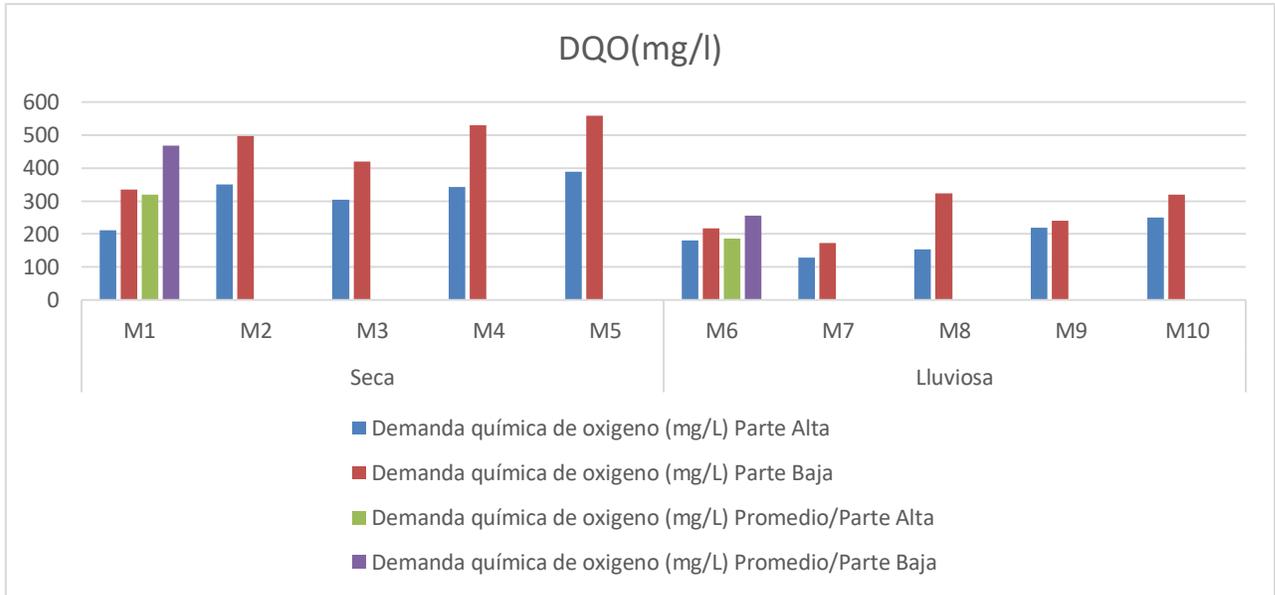
Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 18. Gráfica de la temperatura del río Guadrón.

## B. Demanda química de oxígeno

Los resultados de demanda química de oxígeno (figura 19), en función de la oxidabilidad al permanganato de las muestras realizadas dentro de la microcuenca dan como resultado promedio de 319.60 mg/l para la parte alta, 468.4 mg/l correspondiente a la parte baja ambas en época seca y en época lluviosa los valores oscilan en la parte alta con 186 mg/l y parte baja con 255 mg/l. Este parámetro no solo expresa la cantidad de materia orgánica oxidable, además muestra la presencia de sustancias inorgánicas oxidables. Según la clasificación de composición de aguas residuales Metcalf & Eddy (1985) este parámetro se presentan en concentraciones medianas y débiles.

Es notorio que la relación de DQO entre los muestreos cambia significativamente en relación con la época del año en que se ejecutó la toma de la muestra, en este caso la sequía afecta en el aumento de la concentración de este parámetro.

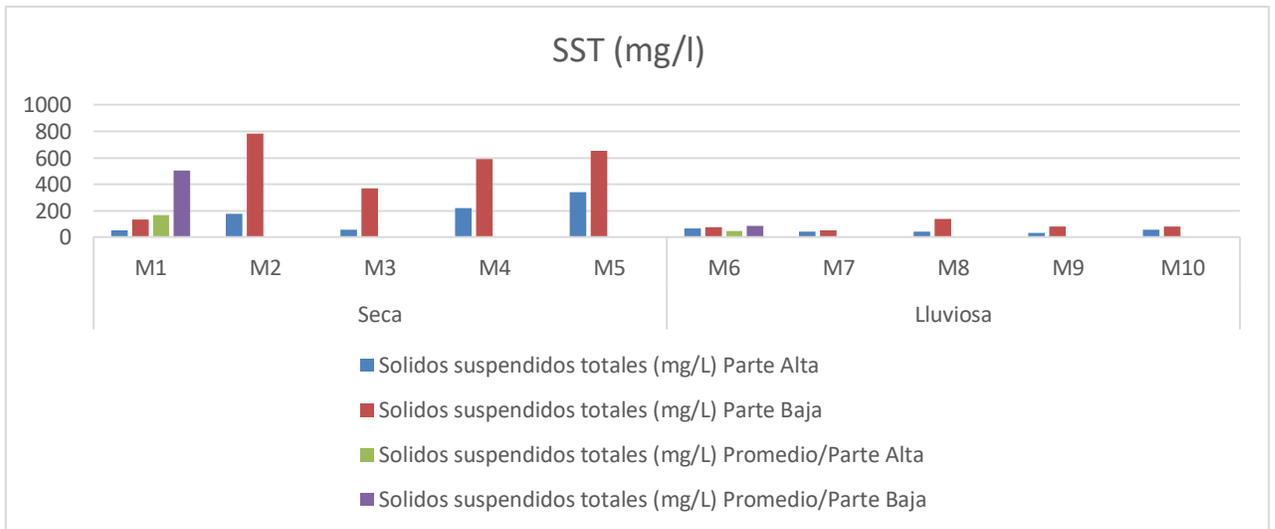


Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 19. Gráfica de la demanda química de oxígeno del río Guadrón.

### C. Sólidos suspendidos totales

En la figura 20, se presenta la gráfica de sólidos suspendidos.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 20. Gráfica de sólidos suspendidos totales del río Guadrón.

Los sólidos suspendidos totales con mayor concentración en la microcuenca del Río Guadrón, se identificaron en los primeros muestreos que representan la época seca en la

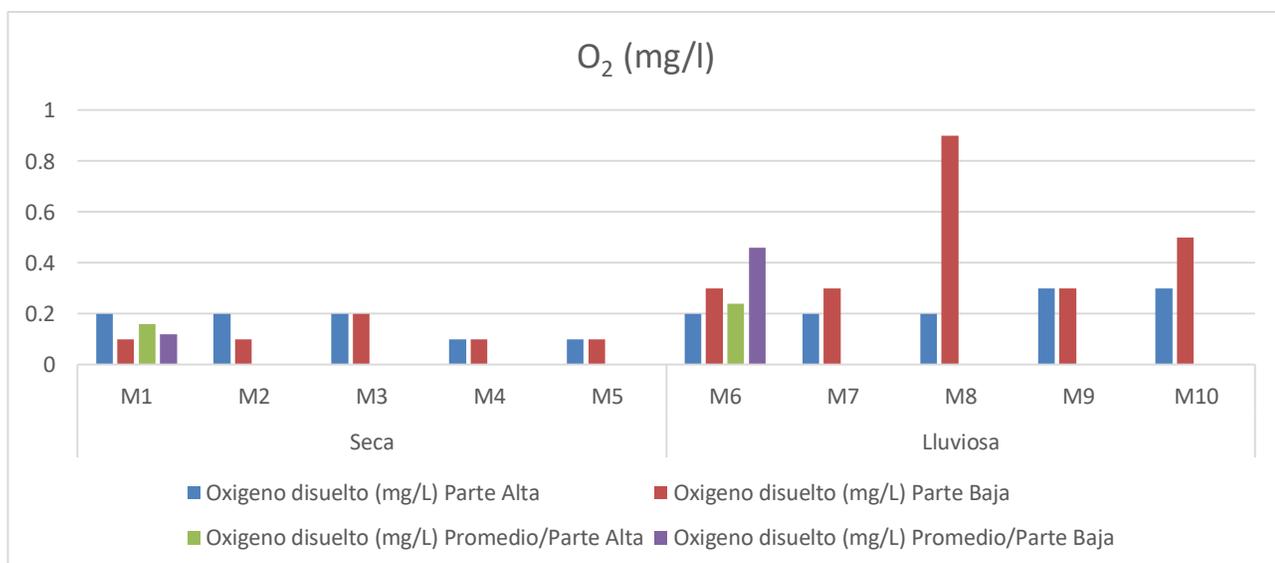
parte baja de la microcuenca, el segundo muestreo (M2) tiene la mayor concentración con 784.6 mg/l, luego el último muestreo de la época seca (M5) el cual contiene un valor de 654.9 mg/l, siguiéndole el cuarto muestreo (M4) con un resultado de 589.3 mg/l y por último el tercer muestreo (M3) con un valor de 366.7 mg/L. Según la clasificación más utilizada para determinar la composición de aguas residuales presentadas por Metcalf & Eddy (1985) la concentración de sólidos suspendidos totales del río son fuertes.

La parte alta de la microcuenca en época seca también es afectada por esta variable debido a que posee fuerte concentración, es el caso del muestreo M5 con el valor de 340 mg/l. Los datos restantes se mantienen con una concentración media y baja según la clasificación mencionada anteriormente.

En la época seca el río contiene gran cantidad de sólidos suspendidos totales, lo que afecta indiscutiblemente al agua disminuyendo su calidad, esto se da porque durante la época seca el agua del río Guadrón se mantiene estancada y presenta alta cantidad de materia orgánica. Estos sólidos provienen de diversas fuentes y por ser una microcuenca con alta concentración urbana, las actividades humanas incrementan estos compuestos orgánicos. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son, en su mayoría proteínas, siguiéndola los hidrocarburos y finalmente grasas y aceites.

#### D. Oxígeno disuelto

En la figura 21, se presenta la gráfica del oxígeno disuelto en el río Guadrón.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 21. Gráfica del oxígeno disuelto del río Guadrón.

Las cantidades mínimas de oxígeno disuelto en el agua superficial del Río Guadrón se encuentran en los primeros muestreos correspondientes a la época seca parte baja de la microcuenca con un promedio de 0.12 ml/l. por otro lado la mayor cantidad de oxígeno disuelto se revela en el muestreo 8 (M8), con 0.9 ml/l el cual representa a la época lluviosa parte baja de la microcuenca del río Guadrón.

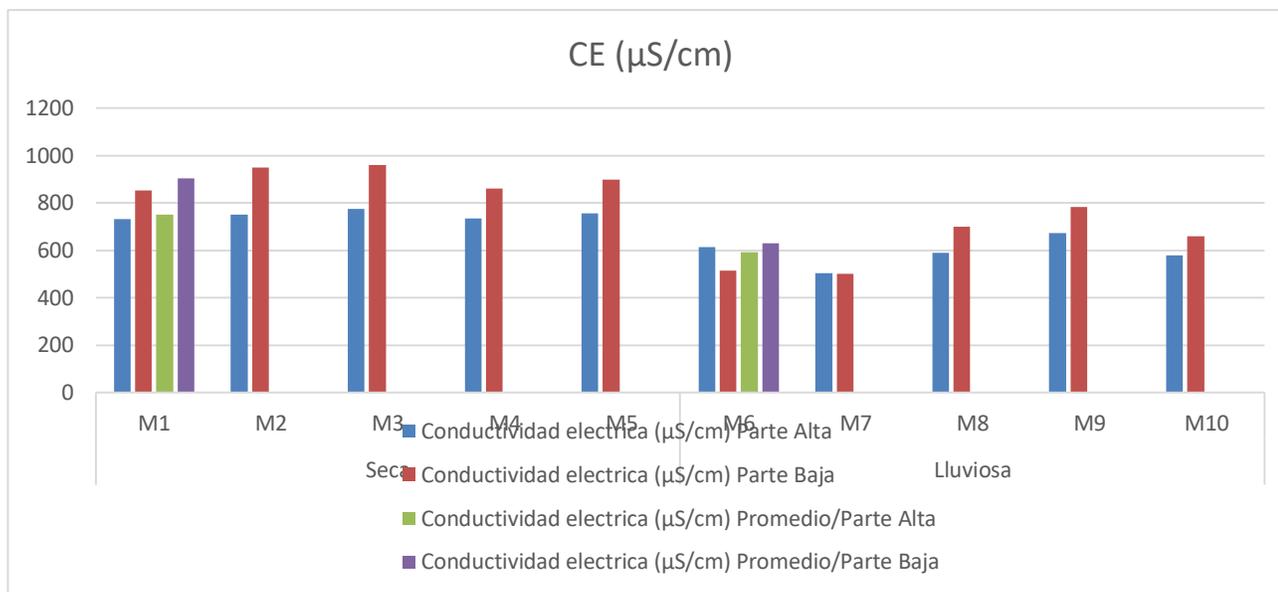
Los primeros muestreos no presentan alguna perturbación considerable en este parámetro físico. En cambio en la época lluviosa si se marcaron cambios significativos y en su mayoría en la parte baja de la microcuenca, esto debido a la precipitación pluvial y topografía peculiar del área de estudio ya que estas características generan alteración al caudal del río provocando que el agua se logre oxigenar más.

Ninguno de los resultados obtenidos muestra cantidades de oxígeno disuelto óptimas para el río, ya que para el agua superficial este parámetro debe estar entre los 6 - 10 mg/l. Esta deficiencia de oxígeno disuelto provoca el mal olor y la inexistencia de vida de especies acuáticas dentro del agua superficial del río Guadrón.

#### **E. Conductividad eléctrica**

Los valores más altos de conductividad eléctrica se muestran en la época seca parte baja de la microcuenca (figura 22), con un promedio de 904.2  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , por otro lado los valores más bajos se presentan en la época lluviosa, los cuales no bajan de 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Estos valores tan elevados dan como resultado presencia de impurezas y niveles elevados de sales disueltas en el agua, los cuales son perjudiciales para cualquier tipo de vida vegetal o animal en el río.

Este indicador es útil para determinar si las industrias, presentes dentro del área de estudio descargan sus aguas sin previo tratamiento, ya que sus efluentes pueden generar altos niveles de conductividad.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 22. Gráfica de la conductividad eléctrica del río Guadrón.

En el cuadro 33, se muestran los resultados de calidad de agua obtenidos por el método ISCA. Este índice multiparámetro analiza las siguientes variables: temperatura (E), demanda química de oxígeno (A), sólidos suspendidos totales (B), oxígeno disuelto (C) y conductividad (D).

Cuadro 33. Análisis ISCA del cauce principal del río Guadrón.

No.	MUESTREO	PARTES	ÉPOCA	E	A	B	C	D	ISQA	RESULTADO
1.	M1	Alta	Seca	1.0	0.0	17.7	0.7	11.3	29.7	Mala
2.	M1	Baja	Seca	1.0	0.0	7.7	0.4	10.3	18.4	Pésima
3.	M2	Alta	Seca	0.9	0.0	4.8	0.6	9.6	14.1	Pésima
4.	M2	Baja	Seca	0.9	0.0	0.0	0.3	8.3	8.0	Pésima
5.	M3	Alta	Seca	1.0	0.0	16.9	0.5	11.0	28.4	Mala
6.	M3	Baja	Seca	1.0	0.0	0.0	0.5	8.8	9.1	Pésima
7.	M4	Alta	Seca	1.0	0.0	1.6	0.3	11.3	13.2	Pésima
8.	M4	Baja	Seca	1.0	0.0	0.0	0.3	10.3	10.5	Pésima
9.	M5	Alta	Seca	1.0	0.0	0.0	0.4	11.1	11.5	Pésima
10.	M5	Baja	Seca	1.0	0.0	0.0	0.4	10.0	10.3	Pésima
11.	M6	Alta	Lluviosa	1.0	0.0	15.4	0.6	12.5	28.4	Mala
12.	M6	Baja	Lluviosa	1.0	0.0	13.8	0.8	11.8	25.4	Mala
13.	M7	Alta	Lluviosa	1.0	0.0	18.7	0.7	13.8	32.7	Mala
14.	M7	Baja	Lluviosa	1.0	0.0	17.3	0.9	11.9	29.3	Mala
15.	M8	Alta	Lluviosa	1.0	0.0	19.0	0.7	12.8	32.2	Mala
16.	M8	Baja	Lluviosa	1.0	0.0	7.5	2.5	10.0	19.2	Pésima
17.	M9	Alta	Lluviosa	1.0	0.0	20.1	0.8	11.9	32.5	Mala
18.	M9	Baja	Lluviosa	1.0	0.0	12.7	1.0	9.4	22.2	Pésima
19.	M10	Alta	Lluviosa	1.0	0.0	16.9	0.9	11.1	28.0	Mala
20.	M10	Baja	Lluviosa	1.0	0.0	13.3	1.3	10.3	23.8	Pésima

Fuente: Dirección de Medio Ambiente, Municipalidad de Guatemala (2015 – 2016).

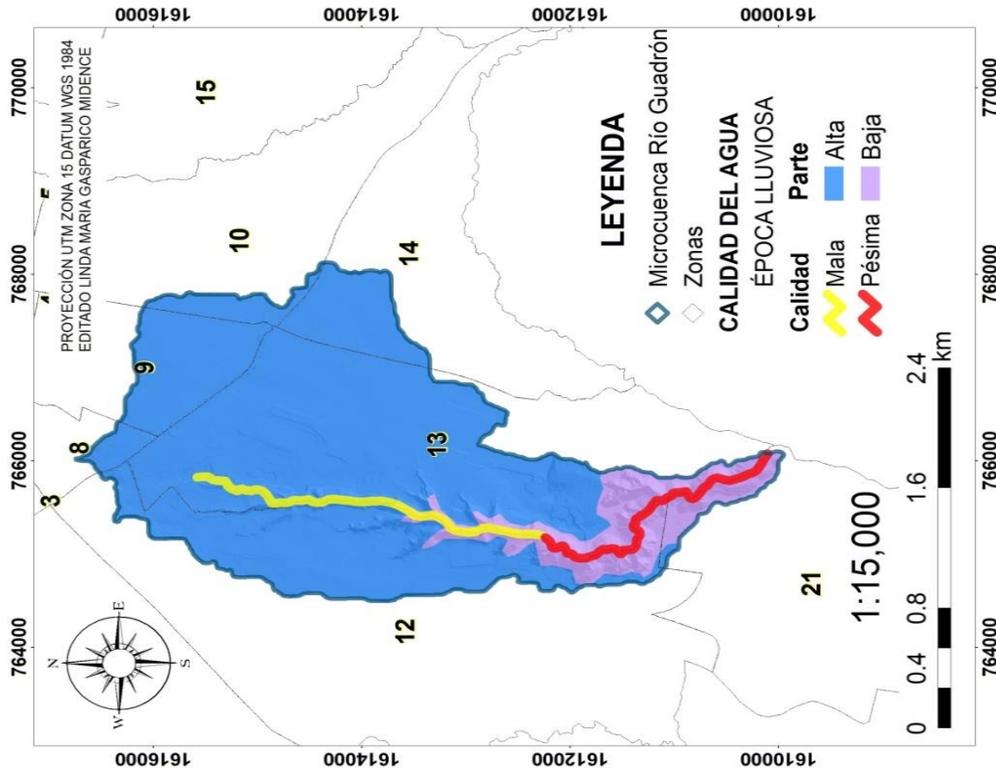
La calidad de agua del río Guadrón se encuentra en pésimas condiciones ya que es cuerpo receptor de aguas residuales, que corresponden a la mezcla de agua doméstica e industrial, éstas alteran las características del medio natural aún existente dentro de la microcuenca.

En general la calidad del agua en la mayoría de muestreos es pésima más en la época seca, ya que en esta temporada el caudal es bajo, lo cual provoca que se paralice el movimiento del agua del río evitando el proceso de oxigenación y generando el aumento de materia orgánica, por otra parte ocasiona la concentración de grasas y aceites reflejadas en natas y espumas que interfieren en la entrada de luz solar, evitando el paso libre de oxígeno hacia el agua y salida del dióxido de carbono. En época lluviosa existe el arrastre de material flotante, esto ocasionado por los distintos basureros clandestinos a orilla del barranco propio de la microcuenca del río Guadrón.

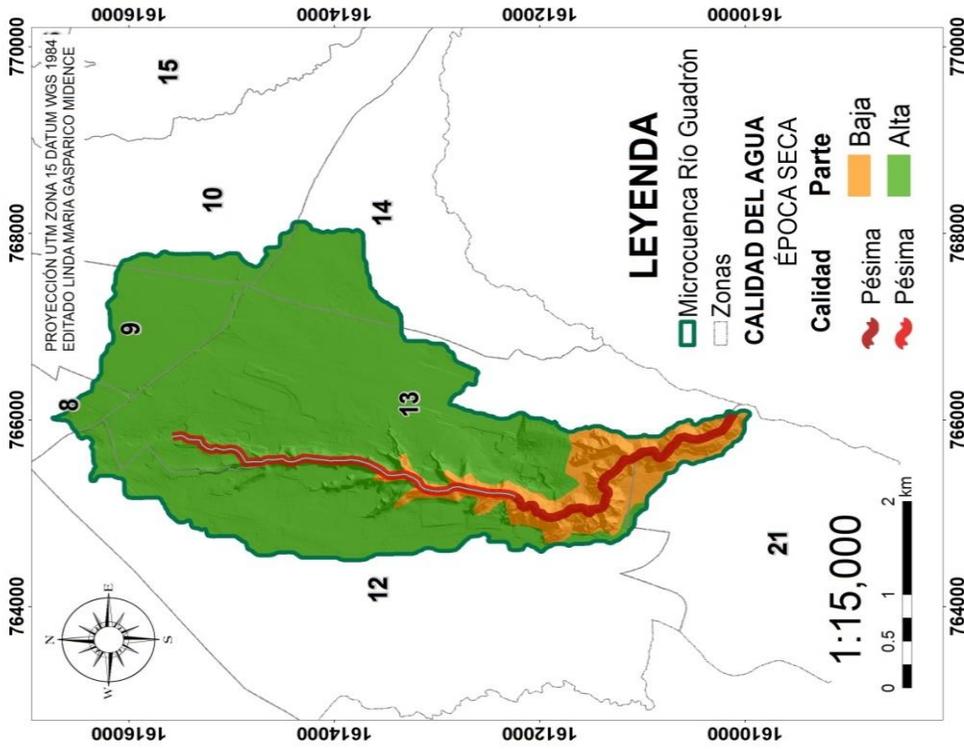
Los desechos líquidos son el resultado de las actividades antrópicas propias del área de estudio, las descargas más usuales son las domésticas es decir viviendas formales, asentamientos, comercios entre otros, las cuales están compuestas por aguas de baños y aguas de lavado y limpieza. Sus contaminantes presentan patógenos que pueden llegar a afectar al hombre. Estas descargas también presentan nutrientes como fósforo, nitrógeno, carbono y otras en formas más complejas como grasas, proteínas, azúcares, almidones, celulosas, vitaminas, sales, compuestos orgánicos e inorgánicos, etc.

Otra fuente importante de contaminación antropogénica dentro de la microcuenca son las actividades industriales, la contaminación dependerá de los procesos de fabricación realizados en la microcuenca. Actualmente la municipalidad no tiene un registro de la contaminación por aguas residuales industriales lo que es muy grave porque no se tiene un control de qué tipo de industria está tratando o no sus aguas residuales.

En las figuras 23 y 24 se puede apreciar el comportamiento de la calidad del río según la época y altitud de la microcuenca



Fuente: elaboración propia, 2017.  
 Figura 23. Mapa de la calidad del agua en época lluviosa.



Fuente: elaboración propia, 2017.  
 Figura 24. Mapa de la calidad del agua en época seca

### 2.5.3.3. Recarga potencial del acuífero

#### A. Unidades de muestreo

Según el análisis fisiográfico, el uso actual de la tierra y las áreas aun permeables dentro de la microcuenca, dieron como resultado ocho puntos de muestreo, donde se ejecutaron las pruebas de infiltración y análisis de suelo. En el cuadro 34 se muestra la ubicación geográfica de cada punto.

Cuadro 34. Localización de los puntos de muestreo.

Puntos de Muestreo	Coordenadas UTM		Uso actual de la tierra	Fisiografía
	X	Y		
<b>A</b>	235099.01	1611260.34	Bosque	Complejo de colinas fuertemente inclinados
<b>B</b>	234508.25	1613323.34	Bosque	Complejo de terrazas y barrancos fuertemente inclinados
<b>C</b>	234375.94	1613052.94	Bosque	Complejo de terrazas y barrancos medianamente inclinados
<b>D</b>	234296.00	1613441.23	Bosque	Planicie muy ligeramente inclinados
<b>E</b>	234269.71	1612646.02	Instalaciones deportivas o recreativas	Complejo de terrazas y barrancos fuertemente inclinados
<b>F</b>	234389.66	1612909.18	Instalaciones deportivas o recreativas	Complejo de terrazas y barrancos medianamente inclinados
<b>G</b>	232571.52	1614480.05	Instalaciones deportivas o recreativas	Planicies muy ligeramente inclinados
<b>H</b>	232974.54	1613621.38	Zonas verdes urbanas	Planicies muy ligeramente inclinados

Fuente: elaboración propia, 2017.

## B. Infiltración y características del suelo

La microcuenca del río Guadrón al presentar grandes extensiones impermeables por la urbanización, es de suma importancia identificar espacios permeables donde se puedan encontrar condiciones favorables para que el proceso de infiltración se pueda generar.

La velocidad de infiltración que caracteriza a la microcuenca varía entre 4248.59 mm/día para suelos franco-arenosos hasta 23717.36 mm/día para suelos arenosos.

Los puntos que presentan lenta infiltración es debido a que los suelos están sujetos a variables que retrasan este proceso como la compactación, alto contenido de materia orgánica en la superficie o características físicas del suelo. Por otra parte los puntos que presentan mayor infiltración es el resultado de la composición geológica de depósitos piroclásticos de pómez en su totalidad. La granulometría de los suelos presenta alto contenido de arenas y francos los cuales contienen mayor capacidad de infiltrar el agua.

En cuanto a la profundidad de las raíces se debe mencionar que éstas dependen del uso que se le esté dando a la tierra, las profundidades de las raíces son para bosques de 17 cm – 200 cm, instalaciones deportivas o recreativas entre 30 cm – 60 cm y para zonas verdes urbanas 45 cm.

En el cuadro 35 se muestra las propiedades físicas del suelo como capacidad de campo, punto de marchitez densidad aparente, para cada zona de recarga hídrica.

Cuadro 35. Infiltración promedio en milímetros al día y características del suelo.

Punto de muestreo	Infiltración (mm/día)	Capacidad de campo (%)	Punto de Marchitez (%)	Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Textura del Suelo	Profundidad de las raíces (cm)
A	4,248.59	11.5	3.51	1.56	Franco-Arenoso	40
B	23,717.36	10	2.4	1.6	Arenoso	200
C	9,382.69	12	3.88	1.7	Franco-Arenoso	170
D	10,178.07	15	6.1	1.4	Franco-Arenoso	17
E	4,384.11	28.99	16.46	1.3	Arcillo-Arenoso	40
F	21,294.58	30.26	17.39	1.35	Arcillo-Arenoso	30
G	12,431.15	31.43	18.26	1.18	Arcilloso	60
H	21,467.88	50	32	1.06	Franco	45

Fuente: elaboración propia, 2017.

### C. Zonas de recarga hídrica

Se analizó 3.62 km<sup>2</sup> de área permeable es decir el 28.21 % del territorio correspondiente de la microcuenca, la cual contribuye considerablemente a la recarga hídrica.

La compactación e impermeabilización del suelo y el incremento de escorrentía superficial ocasionada por la deforestación son factores limitantes que se generan por la expansión de infraestructura urbana, la cual altera los procesos de abastecimiento al manto freático, debido a que el agua no puede penetrar la superficie.

A pesar de estas condiciones negativas la microcuenca presenta características físicas (geología, fisiografía y textura del suelo) que permite que el agua se infiltre y los volúmenes que alimentan los acuíferos sean mayores a los 300,000 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/año clasificando como zonas de muy alta recarga hídrica.

En el cuadro 36 muestra el volumen de cada uno de los puntos de muestreo, los cuales suman un volumen total de 1,581,396.35 m<sup>3</sup> en la microcuenca del río Guadrón.

Cuadro 36. Volumen de recarga hídrica microcuenca río Guadrón.

P	área	Rp	RA	área	RHE	Clasificación
	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m <sup>3</sup> )	(km <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	
A	424,128.083	0.422180	179,058.3942	0.42412808	422,180	Muy Alta
B	1,666,766.56	0.395420	659,072.8340	1.66676656	395,420	Muy Alta
C	93,733.8473	0.395420	37,064.2379	0.09373385	395,420	Muy Alta
D	33,633.6975	0.546450	18,379.1340	0.0336337	546,450	Muy Alta
E	127,371.778	0.422180	53,773.8172	0.12737178	422,180	Muy Alta
F	79,728.212	0.546450	43,567.4814	0.07972821	546,450	Muy Alta
G	1,029,264.3	0.509170	524,070.5054	1.0292643	509,170	Muy Alta
H	167,947.868	0.395420	66,409.9461	0.16794787	395,420	Muy Alta
I	9,218,594.43	0.000000	0.0000	9.21841627	0	Área impermeable
			<b>1,581,396.35</b>	<b>12.84</b>		

Fuente: elaboración propia, 2017.

Los puntos A, B, C y D corresponden a la zona barrancosa (cinturón ecológico municipal) de la microcuenca la cual abarca un área de 2.21 km<sup>2</sup>. Estos puntos presentan variaciones en cuanto a la pendiente debido a que se encuentran terrenos fuertemente inclinados, medianamente inclinados y planicies muy ligeramente inclinados.

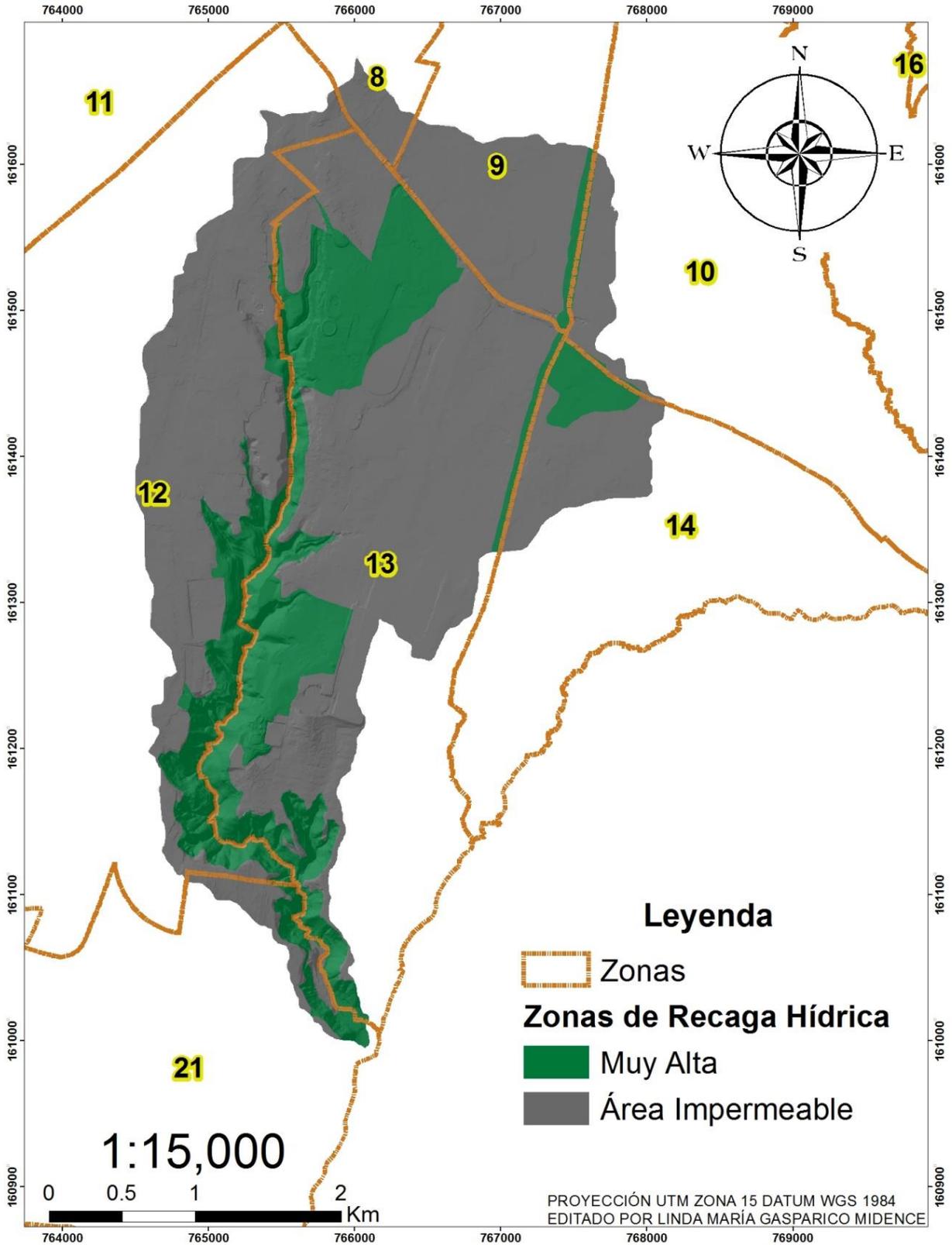
Dentro de estas zonas existen espacios que muestran degradación en el recurso edáfico por contaminación (desechos sólidos) y/o deforestación dentro del cinturón, por otro lado hay zonas que presentan vegetación densa. Otra característica que refleja la zona es que predominan los suelos arenosos, esto por la composición geológica de la región mencionada anteriormente, estos suelos son muy permeables y su capacidad de campo es muy baja. Estas zonas cuentan con un volumen de 893,574.6 m<sup>3</sup>.

Los puntos E, F, y G pertenecen a las instalaciones deportivas y recreativas dentro de la microcuenca. Algunos de estos espacios son privados pero su función de abastecimiento de agua a los acuíferos es indispensable. En estos espacios predominan los suelos arcillosos dificultando el proceso de infiltración pero su retención es alta, por lo que en estas zonas es mejor la duración de las lluvias que su intensidad. Dentro de un área de 1.24 km<sup>2</sup> recarga un volumen de 621,411.8040 m<sup>3</sup>.

El punto I corresponde la vegetación urbana, es decir los espacios verdes públicos dentro del área de estudio. Estos espacios corresponden al camellón central de la Avenida Reforma, el Obelisco y Avenida Las Américas. Estos espacios presentan alta vegetación y suelo con textura franca lo cual genera permeabilidad y retención de humedad. A pesar de que existe compactación en el suelo presenta pendiente plana por lo que el agua se empoza en ocasiones.

Otro factor primordial que favorece a que la microcuenca del río Guadrón sea zona de muy alta recarga hídrica son las abundantes precipitaciones durante el año, pues tiene un promedio anual de 1,658.35 mm.

En la figura 25, se muestra el mapa de recarga hídrica del área de estudio.



Fuente: elaboración propia, 2017.  
Figura 25. Mapa de las zonas de recarga hídrica.

## 2.5.4. Zonificación de amenazas

### 2.5.4.1. Amenaza a deslizamiento

Las zonas identificadas como propensas a deslizamientos se encuentran dentro del cinturón ecológico municipal propio del área de estudio. En el cuadro 37 se muestra el área de la superficie en kilómetros cuadrados y porcentaje, la cual da la proporción de esta amenaza. Por otro lado en la figura 21 se aprecia la dimensión espacial de la misma.

Cuadro 37. Clasificación de las zonas de amenaza a deslizamientos.

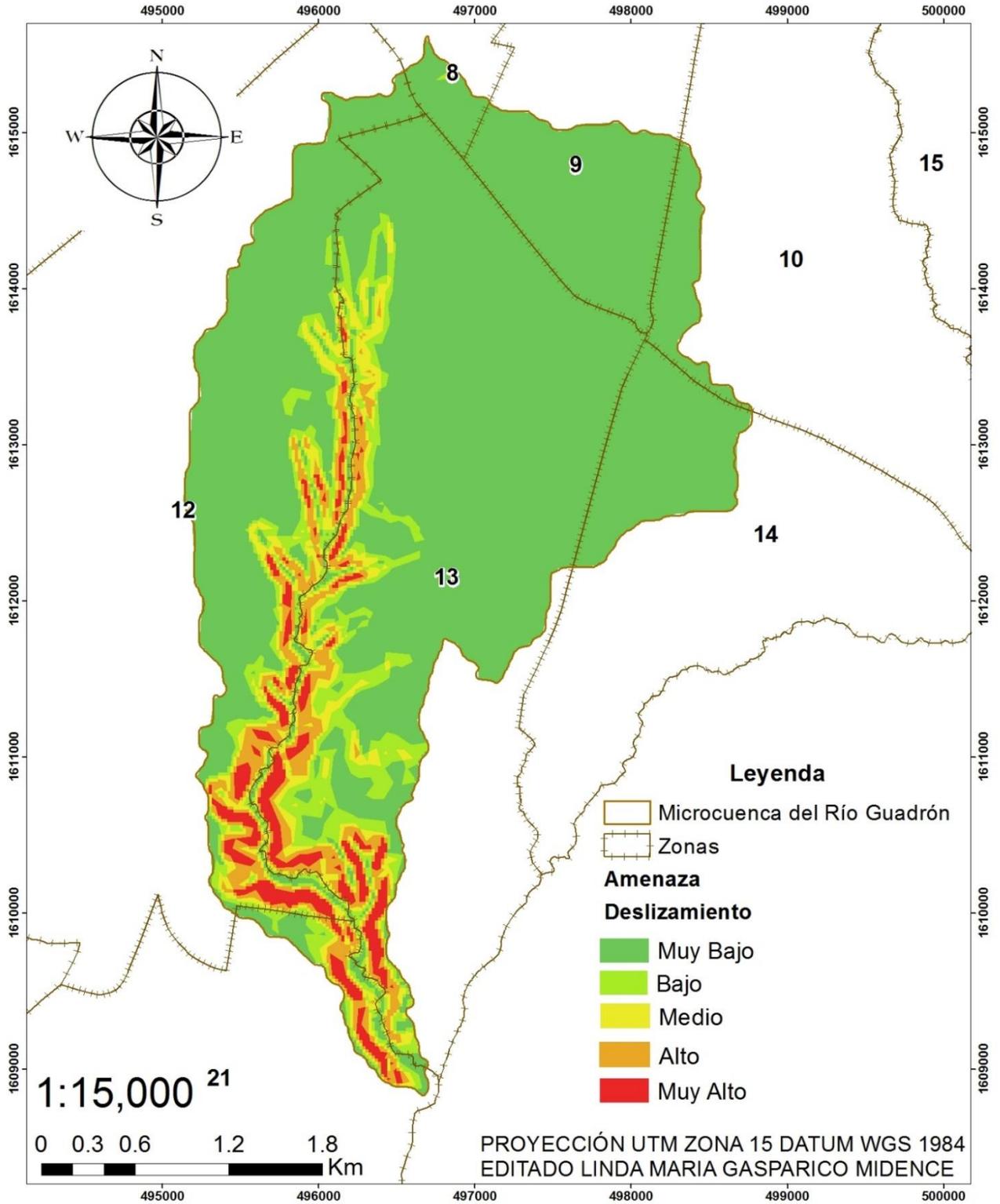
<b>DESLIZAMIENTOS</b>		
<b>Clasificación</b>	<b>Área</b>	
	<b>km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>
<b>Muy Bajo</b>	9.86	77
<b>Bajo</b>	1.10	8
<b>Medio</b>	0.73	6
<b>Alto</b>	0.72	6
<b>Muy Alto</b>	0.46	3
<b>Total</b>	<b>12.88</b>	<b>100</b>

Fuente: elaboración propia, 2017.

La baja posibilidad al fenómeno a deslizamiento se plasma en las bajas pendientes del terreno ubicadas en su mayoría en el sector altiplano de la microcuenca. Esta área es muy estable por lo que en la actualidad contiene alta dinámica urbana.

Los terrenos con una susceptibilidad media a este fenómeno representa el 6 % de toda el área de la microcuenca, es decir 0.73 km<sup>2</sup>. En estas zonas se debe tener precaución al momento de introducir infraestructura gris, según datos de Mora, R. (2004), a estos terrenos se les debe proporcionar mejoras, así como en el manejo de aguas y bioestabilización del terreno para convertirlos en terrenos estables.

Los terrenos con altas pendientes son los más susceptibles al fenómeno de deslizamientos, estas zonas se encuentran en la parte baja de la microcuenca, donde se encuentran los barrancos y colinas del área de estudio generando espacios inestables y más riesgosos para la población.



Fuente: Elaboración propia con información satelital de la Municipalidad de Guatemala  
Figura 26. Mapa de las amenaza a deslizamientos.

### 2.5.4.2. Amenaza a inundación

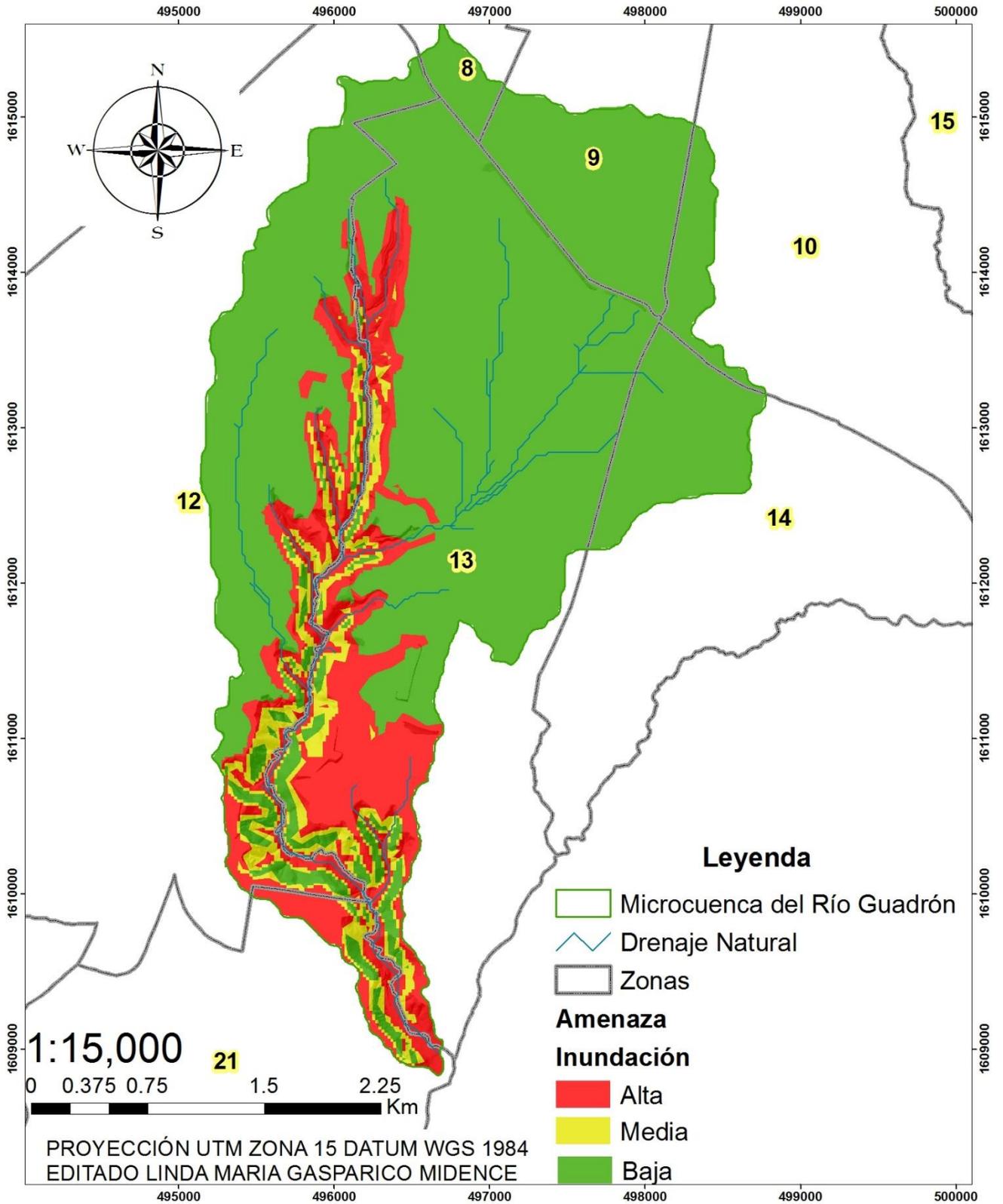
Las inundaciones que se generan dentro del área de estudio están relacionadas con el drenaje natural de la misma así como la altitud de la microcuenca y las bajas pendientes características del terreno. En el cuadro 38 se muestra el área de la superficie en kilómetros cuadrados y porcentaje. Por otro lado la figura 22 se aprecia la dimensión geográfica de la misma.

Cuadro 38. Clasificación de las zonas de amenaza a inundación.

<b>INUNDACIONES</b>		
<b>Clasificación</b>	<b>Área</b>	
	<b>km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>
<b>Bajo</b>	9.79	76
<b>Medio</b>	0.72	6
<b>Alto</b>	2.37	18
<b>Total</b>	<b>12.88</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia, 2017.

El drenaje natural se va formando en la parte alta de la microcuenca. Se caracteriza por presentar pendientes bajas sin embargo la dirección del drenaje no permite que se acumule gran cantidad de agua en este sector altiplano, lo que genera que la corriente descienda a la parte baja de la microcuenca y concentre cantidades de agua considerables en zonas con susceptibilidad alta al fenómeno de inundación, pues de todo el área de estudio 18 %, es decir 2.37 km<sup>2</sup> tiene una susceptibilidad alta. La zona 13 capitalina presenta mayor riesgo, llegando a afectar la parte Sur del Aeropuerto Nacional La Aurora, colonia Santa Fe y otros asentamientos aledaños.



Fuente: Elaboración propia con información satelital de la Municipalidad de Guatemala  
Figura 27. Mapa de la amenaza a inundaciones.

### **2.5.5. Análisis integral**

La microcuenca del río Guadrón al estar geográficamente en un punto estratégico dentro de la ciudad capital ha generado en los últimos años un acelerado crecimiento poblacional. Se debe poner énfasis a este fenómeno, principalmente a las zonas capitalinas 13 y 21 (sector doméstico) y la zona 12 (sector industrial), debido a que ejercen una presión directa sobre el territorio y han alterado y reducido los recursos naturales del Cinturón Ecológico Municipal propio de la microcuenca. A su vez se deben controlar las descargas de aguas residuales de estos sectores debido a que son las principales factores que alteran la calidad del agua superficial.

Se debe continuar con los proyectos de erradicación de basureros clandestinos localizados dentro del área de estudio, fortaleciendo la relación entre la Dirección de Medio Ambiente y las alcaldías auxiliares, especialmente con las zonas capitalinas 12 y 14 debido a que no se pudo generar información relevante y no se determinó la magnitud de los problemas sociales y ambientales que afectan a estas zonas.

## **2.6. CONCLUSIONES**

1. El alto crecimiento poblacional y la amplia demanda del territorio dentro del área de estudio han deteriorado sus recursos naturales y alterado significativamente su entorno ambiental, creando eventos e indicadores puntuales de contaminación.
2. La expansión urbana ha impermeabilizado aproximadamente el 71.2 % de la microcuenca. El sector de bosques mixtos tiene una capacidad de uso la cual se podría aprovechar para el desarrollo de ciertos sectores sociales al plantear un manejo forestal sostenible participativo.
3. La calidad del agua superficial está catalogada según la metodología ISCA en pésimas condiciones, lo cual puede afectar la calidad del agua subterránea por ser un territorio de alta permeabilidad.
4. El área de estudio presenta características físicas muy puntuales, las cuales crean zonas de diferente magnitud a la amenaza de deslizamiento e inundación.

## **2.7. RECOMENDACIONES**

1. Crear lineamientos específicos para cada una de las características analizadas y descritas para formular un manejo integral sostenible.
2. Crear un sistema de control de descargas químicas, industriales y domésticas a cuerpos receptores, así como un plan de saneamiento a través de plantas de tratamiento de agua residual eficientes para que cumplan con el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006
3. Se debe brindar más apoyo a las alcaldías auxiliares en el tema de desechos sólidos en espacios clandestinos con el fin de erradicarlos.
4. Proteger las áreas de recarga hídrica, implementando un plan forestal que involucre reforestación y manejo. Éste se aprovechará para incrementar la capacidad de captación de agua y disminuir el deterioro del recurso edáfico.

## 2.8. BIBLIOGRAFÍA

1. Acuña Campos, ES. 2013. Determinación de la calidad de agua en la subcuenca del río Quiscab, departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos. Tesis Ing. Amb. Guatemala, USAC, Facultad de Ingeniería. 151 p.
2. Ajcabul Raxhón, AO. 2016. Análisis comparativo entre el índice simplificado de calidad de agua (ISQA) y el índice de calidad de agua (ICA), aplicados al monitoreo de aguas superficiales en el río La Quebrada, El Frutal. Tesis Ing. Quim. Guatemala, USAC, Facultad de Ingeniería. 50 p.
3. Avalos Cambranes, OA. 2008. Determinación de las áreas principales de recarga hídrica natural de la subcuenca de río Belejeyá del municipio de Granados, Baja Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 151 p.
4. Avendaño, R. 2016. Subcuencas y microcuencas hidrográficas (en línea). Consultado 10 mar. 2017. Disponible en <https://es.slideshare.net/kimberlynveronica/subcuencas-y-microcuencas>
5. Aznar Jiménez, A. 2000. Determinación de los parámetros físicos-químicos de calidad de las aguas. España, Universidad Carlos III, Instituto Tecnológico de Química y Materiales "Alvaro Alonso Barba". 12 p.
6. Bracamonte de la Cruz, OA. 1998. Evaluación de cuatro intervalos de riego sobre el rendimiento a frutos y evapotranspiración del cultivo de miltomate (*Physalis philadelphica* Lam.) en el Centro Experimental Docente de Agronomía. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 72 p.
7. Breña Puyol, AF; Breña Naranjo, JA. 2009. Problemática del recurso agua en grandes ciudades: zona metropolitana del valle de México (en línea). Consultado 19 set. 2017. Disponible en <http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n74ne/aquavalle.pdf>
8. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Guatemala); PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Guatemala). 2005. Plan de manejo integrado microcuenca del río Las Escobas, Izabal, Guatemala: Proyecto "Planificación de la rehabilitación, manejo ambiental y desarrollo costero en Nicaragua, Honduras y Guatemala después del Huracán Mitch". Guatemala. 89 p.
9. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Honduras). 2013. Análisis de la calidad del agua de los afluentes de la cuenca alta del río Lempa y residuos de plaguicidas en la producción hortícola: Región Trifinio 2010-2012 (en línea). Ocotepeque, Honduras. Disponible en <http://trinacionalriolempa.org/mtfrr/archivos/biblioteca/publicaciones/publicaciones/analisis-de-calidad-del-agua.pdf>

10. Chamarro, M; Rosales, O. 2017. Identificación y caracterización de las zonas de recarga hídrica mediante herramientas SIG de los acuíferos la carbonería, Guaracapas, Yuyucocha y Santa Clara para la protección de las fuentes de aprovisionamiento de agua en la zona urbana de Ibarra (en línea). Consultado 3 ago. 2017. Disponible en <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6920/2/03%20RNR%20223%20ARTICULO.pdf>
11. Cubillos, R; Gutiérrez, L; Montenegro, LA. 2009. Metodología proyecciones de población y estudios demográficos. Bogotá, Colombia, DANE 55, Colección Documentos - Actualización 2009, no. 81, 71 p.
12. Cuenca hidrográfica: Hidrología general. s.f. Google Docs. Consultado 20 mar. 2017. Disponible en [https://docs.google.com/presentation/d/17rp\\_opUmFzS0e77zr3TD\\_Q4N9cEXI4\\_kHpRx1ixhRW24/edit?hl=es#slide=id.p15](https://docs.google.com/presentation/d/17rp_opUmFzS0e77zr3TD_Q4N9cEXI4_kHpRx1ixhRW24/edit?hl=es#slide=id.p15)
13. Dourojeanni, A. 1994. La gestión del agua y las cuencas en América Latina. Santiago de Chile, Chile, Naciones Unidas, Revista de la CEPAL no. 53:183.
14. Dourojeanni, A; Jouravlev, A; Chávez, G. 2002. Gestión del agua a nivel de cuencas: Teoría y práctica (en línea). Consultado 10 mar. 2017. Disponible en [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=muWvjxaeGbQC&oi=fnd&pg=PA3&dq=conceptos+de+microcuencas&ots=tXSs1VqasW&sig=8GhIUOJ8foh94HkxVbZ7DLSZa\\_k#v=onepage&q=conceptos%20de%20microcuencas&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=muWvjxaeGbQC&oi=fnd&pg=PA3&dq=conceptos+de+microcuencas&ots=tXSs1VqasW&sig=8GhIUOJ8foh94HkxVbZ7DLSZa_k#v=onepage&q=conceptos%20de%20microcuencas&f=false)
15. Fallas, J; Valverde, C. 1997. Análisis morfométrico y fisiográfico de la cuenca hidrográfica. Costa Rica, Universidad Nacional, Escuela de Ciencias Ambientales. 32 p.
16. Fuentes Junco, JJ. 2004. Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro. México, Instituto Nacional de Ecología. 47 p.
17. García Petillo, M; Puppo, L; Hayashi, R; Morales, P. 2015. Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo. Montevideo, Uruguay, Universidad de la República Uruguay, Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Aguas. 10 p.
18. Gil Gómez, JA. 2014. Determinación de la calidad del agua mediante valores físico-químicos y la comunidad de macro invertebrados como bioindicadores de calidad de agua en la cuenca del río Garagoa. Informe Mag. Desarrollo Sost. y Med. Amb. Colombia, Universidad de Manizales. 84 p.
19. Guerra, F; González J. 2002. Caracterización morfométrica de la cuenca quebrada La Bermeja, San Cristóbal, estado Táchira, Venezuela (en línea). GeoEnseñanza 07-2002. Consultado 15 mayo 2017. Disponible en <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/20840/2/articulo7.pdf>

20. Herrera Ibañez, IR. 2012. Estudio hidrológico de la subcuenca del río Los Ocotes, para determinar las áreas principales de recarga hídrica e identificación de las áreas vulnerables a deslizamientos e inundaciones para proponer alternativas de prevención de la parte noreste de la ciudad de Guatemala. Guatemala, Proyecto FODECYT no. 035-2009. 124 p.
21. IARNA-URL (Universidad Rafael Landívar, Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Guatemala). 2012. Perfil ambiental de Guatemala 2010-2012: vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo. Guatemala. 438 p.
22. Ibañez Asensio, S; Moreno Ramón, H; Gisbert Blanquer, JM. 2011. Métodos para la determinación del tiempo de concentración (tc) de una cuenca hidrográfica. Valencia, España, Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. 9 p.
23. INAB (Instituto Nacional de Bosques, Guatemala). 2002. Clasificación de tierras por capacidad de uso: Aplicación de una metodología para tierras de la república de Guatemala. Guatemala. 96 p.
24. Jiménez Otárola, F. 2000. Manejo de cuencas hidrográficas. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 35 p.
25. Letelier, ME; Infante, MI. 2013. Alfabetización y educación: Lecciones desde la práctica innovadora en América Latina y El Caribe. Chile, OREAL / UNESCO. 122 p.
26. MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Guatemala). 2006. Acuerdo Gubernativo número 236-2006: Reglamento de las descargas y reuso aguas residuales y la disposición final de lodos. Guatemala. 24 p.
27. Ministro de Planificación Nacional y Política Económica, Costa Rica. 2014. Metodología de análisis de amenazas naturales para proyectos de inversión pública en etapa de perfil. San José, Costa Rica. 88 p.
28. Morales Garduza, MA. 2012. Evaluación de tierras por capacidad de uso urbano en la zona periurbana de Villahermosa Tabasco. Tesis MSc. México, Colegio de Postgraduados. 81 p.
29. Morales Monzón, CA. 1979. Estudio morfométrico de la cuenca del río Madre Vieja hasta la estación Palmira. Tesis Ing. Agro. Guatemala, USAC, Facultad de Agonomía. 67 p.
30. Mujica, S; Pacheco, H. 2013. Metodología para la generación de un modelo de zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa, en la cuenca del río Camuri Grande, estado Vargas, Venezuela (en línea). Revista de Investigación 40(87):215-243.

31. Municipalidad de Guatemala, Dirección de Medio Ambiente. 2016. Manual para la determinación de la calidad del agua, a partir del análisis ISCA. Guatemala, Municipalidad de Guatemala. 38 p.
32. Pizarro, R; Flores, JP; Sangüesa, C; Martínez, E. 2004. Módulo 3 curvas de infiltración. Chile, EIAS (Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos). 6 p.
33. Portuguez Campos, MA; Rodríguez, K. 2013. Utilización del índice BMWP-CR para análisis de la calidad del agua Quebrada Barro, Montecillos. Alejuela, Costa Rica, Colegio Gregorio José Ramírez Castro. 27 p.
34. Priego, G; Bocco, G; Garrido, A; Mendoza, M. 2010. Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades del paisaje: Fundamentos y métodos. México, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 108 p.
35. Raffo Lecca, E; Ruíz Lizama, E. 2004. Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno (en línea). *Industria Data* 17(1). Consultado 18 jun. 2017. Disponible en [revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/idata/article/download/12035/10751](http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/idata/article/download/12035/10751)
36. Ramakrishna, B. 1997. Estrategias de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: Conceptos y experiencias. San José, Costa Rica, ISSN 1027-2631(3). 338 p.
37. Reyes Avilés, I; Gutiérrez Chaparro, JJ. 2010. Los servicios ambientales de la arborización urbana: retos y aportes para la sustentabilidad de la ciudad de Toluca (en línea). *Quivera* 12(1):96-102. Consultado 3 nov. 2017. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/401/40113202009.pdf>
38. Schosinsky, G. 2006. Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos (en línea). *Revista Geológica de América Central* no. 34-35:13-30. Consultado 20 abr. 2017. Disponible en <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/download/4223/4047>
39. Tobías Vásquez, HA. 2011. Evaluación y análisis de riesgo a desastres en el manejo de los recursos naturales de la cuenca del río Atulapa y su impacto en la población de Esquipulas, Chiquimula, Guatemala. Guatemala, Proyecto FODECYT no. 08-2009. 166 p.
40. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Chile. 2006. Hidráulica de aguas subterráneas y su aprovechamiento. (Diapositivas). Santiago, Chile. 8 diapositivas.
41. Urzúa Navas, FM. 2008. Determinación de la eficiencia de la planta de tratamiento de agua residual de Estanzuela, Zacapa. Tesis Quím. Biol. Guatemala, USAC, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. 79 p.

42. Valerie Barzetti, MS; Keipi, K; Williams, J. 1998. Manejo de las áreas verdes urbanas. Washington, D.C., USA, Banco Interamericano de Desarrollo, Departamento de Desarrollo Sostenible, División de Medio Ambiente. 74 p.
43. World Vision. 2004. Manual de manejo de cuencas: Porqué trabajar con enfoque de cuencas y microcuencas. El Salvador. 40 p.
44. Yol Zamaro, VE. 2010. Propuesta de un modelo de gestión ambiental, para la reducción de la contaminación de ríos, en la parte alta de la subcuenca del río Guacalate. Tesis MSc. Gest. Amb. Local. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 130 p.
45. Zeissig Dávila, AM. 2007. La situación socioeconómica, caracterización hidromorfológica y uso actual del recurso suelo de la subcuenca del río Panimá, Purulhá, Baja Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 160 p.

30  
FAUSAC  
TESIS Y DOCUMENTOS DE GRADUACIÓN  
\* REVISIÓN \*

Polando Barrios

## 2.9. ANEXOS

### 2.9.1. Calidad del agua

#### 2.9.1.1. Índice simplificado de la calidad del agua (ISCA)

##### A. Etapa de muestreo

La etapa de muestreo se realizó con el mayor cuidado posible ya que si no se elabora de forma correcta los resultados podrían ser alterados generando pérdida de tiempo y de recursos. Por esta razón se optó por tomar como guía la norma oficial mexicana NOM-014-SSA1-1993, la cual establece los procedimientos sanitarios necesarios para el muestreo de aguas para consumo y uso humano debido que Guatemala no cuenta con este tipo de instrumentos. Para determinar las variables de temperatura, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto se hizo uso de un instrumento multiparamétrico.

##### B. Etapa de laboratorio

Los análisis fisicoquímicos que no se pudieron determinar con el multiparamétrico como la demanda química de oxígeno, la demanda biológica de oxígeno, los sólidos suspendidos totales, total de coliformes fecales entre otros, las muestras fueron llevadas al laboratorio de EMPAGUA “Dra. Alba Tabarini”, ubicado en el segundo nivel del edificio T5 de la facultad de ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

##### C. Etapa de tabulación

Para determinar la clasificación del ISCA se implementó el siguiente modelo matemático:

$$ISCA = E * (A + B + C + D)$$

Dónde:

E: temperatura del agua (en °C), valores comprendidos entre 0.8 y 1 según:

$$E = 1 \text{ si } T \leq 20^{\circ}\text{C} \text{ o } E = 1 - (T - (20 * 0.0125)) \text{ si } T > 20^{\circ}\text{C}$$

A: demanda química orgánica según la oxidabilidad al permanganato (DQO-Mn en mg/l). Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 30 según:

$$A = 30 - \text{DQO-Mn si } \text{DQO-Mn} \leq 110 \text{ mg/l}$$

$$A = 21 - (0.35 * \text{DQO} - \text{Mn}) \text{ si } 60 \text{ mg/l} \geq 10 \text{ mg/l}$$

A partir del año 2003 se empezó a calcular mediante el parámetro COT, en mg/l, donde además estima la materia orgánica que contiene el agua.

$$A = 30 - \text{COT} \text{ si } \text{COT} \leq 5 \text{ mg/l}$$

$$A = 21 - (0.35 * \text{COT}) \text{ si } 12 \geq \text{COT} > 5 \text{ mg/l} \quad A = 0 \text{ si } \text{COT} > 12 \text{ mg/l}$$

B: sólidos en suspensión totales (SST en mg/l), Puede tomar valores comprendido entre 0 y 25 según:

$$B = 25 - (0.15 * \text{SST}) \text{ si } \text{SST} \leq 100 \text{ mg/l}$$

$$B = 17 - (0.07 * \text{SST}) \text{ si } 250 \text{ mg/l} \geq \text{SST} > 100 \text{ mg/l} \quad B = 0 \text{ si } \text{SST} > 250 \text{ mg/l}$$

C: oxígeno disuelto ( $\text{O}_2$  en mg/l). Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 25 según:

$$C = 2.5 * \text{O}_2 \text{ si } \text{O}_2 < 10 \text{ mg/l} \quad C = 25 \text{ si } \text{O}_2 \geq 10 \text{ mg/l}$$

D: conductividad (CE en  $\mu\text{S/cm}$  a  $18^\circ\text{C}$ ). Si la conductividad se mide a  $25^\circ\text{C}$ , para obtener la conversión a  $18^\circ\text{C}$  se multiplicará por 0.86 según:

$$D = (3.6 - \log \text{CE}) * 15.4 \text{ si } \text{CE} \leq 4000 \mu\text{S/cm} \quad D = 0 \text{ si } \text{CE} > 4000 \mu\text{S/cm}$$



### 2.9.2.3. Balance hídrico de suelos "C"

Unidad	3C												Cfo: Coeficiente de follaje	ETP: Evapotranspiración potencial	
Bosques complejo de terrazas y barrancos medianamente inclinados													fc: Capacidad de infiltración	C1: ETP antes de ETR	
Textura: Franco-arenoso													kp: Factor por pendiente	C2: ETP después de ETR	
Fecha	23/08/2017												kv: Factor por vegetación	ETPR: Evapotranspiración potencial real	
														kfc: Factor estimado de infiltración	HD: Humedad disponible
Cfo	0.20													CI: Coeficiente de infiltración	ETR: Evapotranspiración real
fc (mm/d)	9382.69		CC	12.00	346.80									DS: Densidad aparente	HSF: Humedad del suelo final
kp(%)	0.10		PM	3.88	112.13									PR: Profundidad de la raíz	Rp: Recarga potencial
Kv(%)	0.20		(CC-PM)	8.12	234.67									Hsi: Humedad del suelo inicial	DCC: Déficit de capacidad de campo
Kfc(%)	1.00													P: Precipitación media mensual	NR: Necesidad de riego
Gi(%)	1.00													Ret: Retención de lluvia	CC: Capacidad de campo
DS (g/cm3)	1.70													Pi: Presipitación que infiltra	PM: Punto de marchitez
PR(mm)	1700.00													ESC: Escorrentía	
Hsi(mm)	346.80														
Concepto	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Total		
P (mm)	298.72	317.62	176.5	32.49	5.78	2.37	4.02	17.64	42.68	197.33	326.86	236.34	1658.35		
ret (mm) (P*Cfo)	59.74	63.52	35.30	6.50	1.16	0.47	0.80	3.53	8.54	39.47	65.37	47.27			
Ret (mm)	59.74	63.52	35.30	6.50	5.00	2.37	4.02	5.00	8.54	39.47	65.37	47.27	342.10		
Pi (mm)	238.98	254.10	141.20	25.99	0.78	0.00	0.00	12.64	34.14	157.86	261.49	189.07	1316.25		
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
ETP(mm)	142.39	119.65	118.04	108.04	111.70	114.45	118.56	148.38	168.66	154.27	137.42	148.75	1590.31		
Hsi (mm)	346.80	346.80	346.80	112.13	112.13	112.13	112.13	112.13	112.13	346.80	346.80	346.80			
c1	2.02	2.08	1.60	0.11	0.00	0.00	0.00	0.05	0.15	1.67	2.11	1.81			
C1	1.00	1.00	1.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.05	0.15	1.00	1.00	1.00			
c2	1.41	1.57	1.10	0.06	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	1.02	1.53	1.17			
C2	1.00	1.00	1.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	1.00	1.00	1.00			
ETPR	142.39	119.65	118.04	9.18	0.00	0.00	0.00	5.19	16.02	154.27	137.42	148.75			
HD (mm)	473.64	488.76	375.87	25.99	0.78	0.00	0.00	12.64	34.14	392.53	496.16	423.74			
ETR (mm)	142.39	119.65	118.04	9.18	0.00	0.00	0.00	5.19	16.02	154.27	137.42	148.75	850.92		
hsf (mm)	443.39	481.25	369.96	128.94	112.91	112.13	112.13	119.58	130.25	350.39	470.87	387.12			
Hsf (mm)	346.80	346.80	369.96	128.94	112.91	112.13	112.13	119.58	130.25	350.39	346.80	346.80			
Rp (mm)	96.59	134.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	124.07	40.32	395.42		
DCC (mm)	0.00	0.00	-23.16	217.86	233.89	234.67	234.67	227.22	216.55	-3.59	0.00	0.00			
NR (mm)	0.00	0.00	-23.16	316.72	345.59	349.12	353.23	370.41	369.18	-3.59	0.00	0.00	2077.49		

### 2.9.2.4. Balance hídrico de suelos "D"

Unidad	3D												Cfo: Coeficiente de follaje	ETP: Evapotranspiración potencial	
Bosques planicies ligeramente inclinadas													fc: Capacidad de infiltración	C1: ETP antes de ETR	
Textura: Franco-arenoso													kp: Factor por pendiente	C2: ETP después de ETR	
Fecha	23/08/2017												kv: Factor por vegetación	ETPR: Evapotranspiración potencial real	
														kfc: Factor estimado de infiltración	HD: Humedad disponible
Cfo	0.12													CI: Coeficiente de infiltración	ETR: Evapotranspiración real
fc (mm/d)	10178.07		CC	15.00	35.70									DS: Densidad aparente	HSF: Humedad del suelo final
kp(%)	0.20		PM	6.10	14.52									PR: Profundidad de la raíz	Rp: Recarga potencial
Kv(%)	0.09		(CC-PM)	8.90	21.18									Hsi: Humedad del suelo inicial	DCC: Déficit de capacidad de campo
Kfc(%)	1.00													P: Precipitación media mensual	NR: Necesidad de riego
Gi(%)	1.00													Ret: Retención de lluvia	CC: Capacidad de campo
DS (g/cm3)	1.40													Pi: Presipitación que infiltra	PM: Punto de marchitez
PR(mm)	170.00													ESC: Escorrentía	
Hsi(mm)	35.70														
Concepto	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Total		
P (mm)	298.72	317.62	176.5	32.49	5.78	2.37	4.02	17.64	42.68	197.33	326.86	236.34	1658.35		
ret (mm) (P*Cfo)	35.85	38.11	21.18	3.90	0.69	0.28	0.48	2.12	5.12	23.68	39.22	28.36			
Ret (mm)	35.85	38.11	21.18	5.00	5.00	2.37	4.02	5.00	5.12	23.68	39.22	28.36	212.92		
Pi (mm)	262.87	279.51	155.32	27.49	0.78	0.00	0.00	12.64	37.56	173.65	287.64	207.98	1445.43		
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
ETP(mm)	142.39	119.65	118.04	108.04	111.70	114.45	118.56	148.38	168.66	154.27	137.42	148.75	1590.31		
Hsi (mm)	35.70	35.70	35.70	14.52	14.52	14.52	14.52	14.52	14.52	35.70	35.70	35.70			
c1	13.41	14.20	8.33	1.30	0.04	0.00	0.00	0.60	1.77	9.20	14.58	10.82			
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.04	0.00	0.00	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00			
c2	6.69	8.55	2.76	-3.80	-0.17	0.00	0.00	-3.61	-6.19	1.91	8.09	3.80			
C2	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00			
ETPR	142.39	119.65	118.04	54.02	2.23	0.00	0.00	44.51	84.33	154.27	137.42	148.75			
HD (mm)	284.06	300.69	176.50	27.49	0.78	0.00	0.00	12.64	37.56	194.83	308.82	229.16			
ETR (mm)	142.39	119.65	118.04	27.49	0.78	0.00	0.00	12.64	37.56	154.27	137.42	148.75	898.99		
hsf (mm)	156.18	195.56	72.98	14.52	14.52	14.52	14.52	14.52	14.52	55.08	185.92	94.93			
Hsf (mm)	35.70	35.70	35.70	14.52	14.52	14.52	14.52	14.52	14.52	35.70	35.70	35.70			
Rp (mm)	120.48	159.86	37.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.38	150.22	59.23	546.45		
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	21.18	21.18	21.18	21.18	21.18	21.18	0.00	0.00	0.00			
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	101.73	132.10	135.63	139.74	156.92	152.28	0.00	0.00	0.00	818.41		



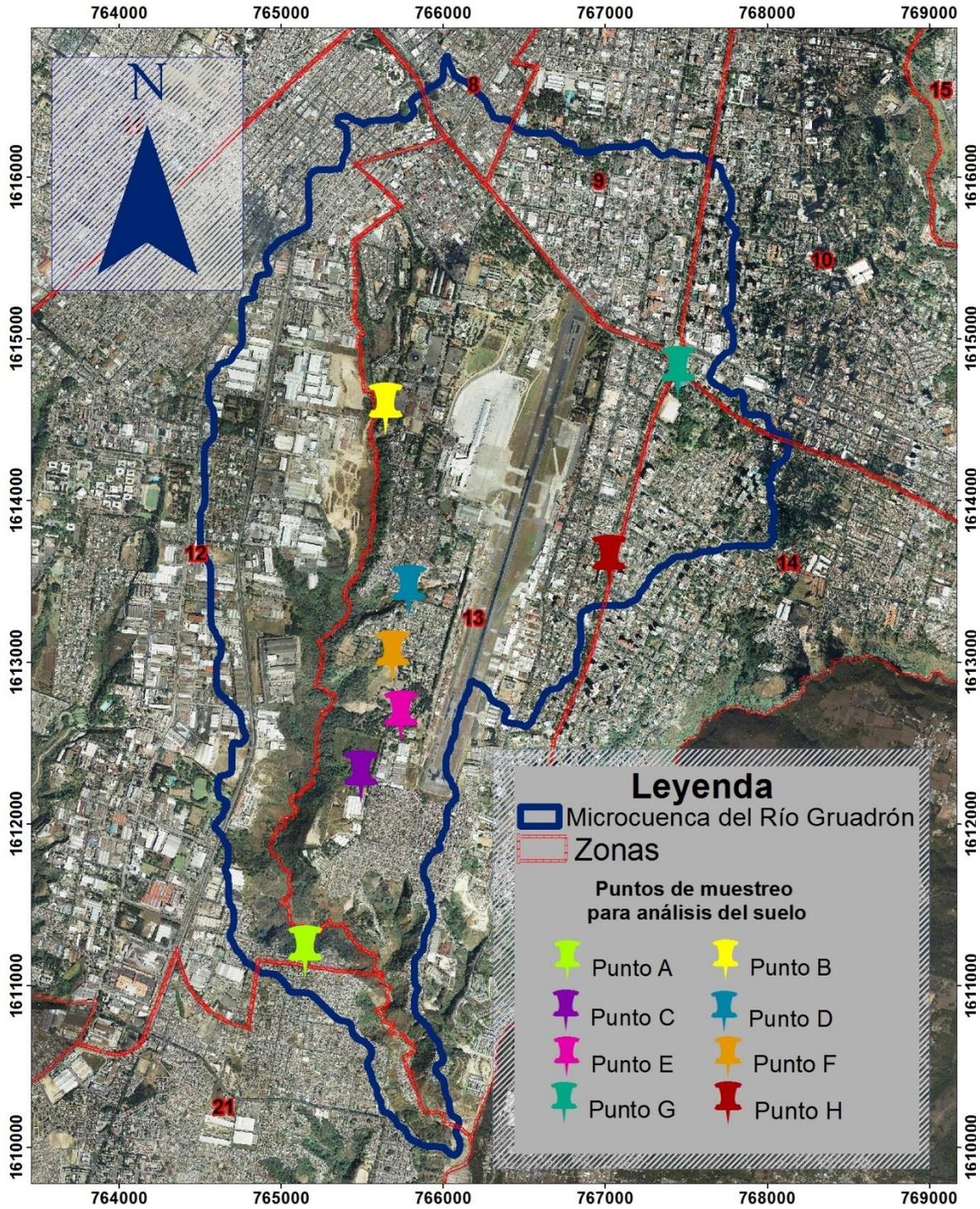
## 2.9.2.7. Balance hídrico de suelos "G"

Unidad	G																
Instaciones recreativas y deportivas planicies ligeramente inclinadas														Cfo: Coeficiente de follaje		ETP: Evapotranspiración potencial	
Arcilloso														fc: Capacidad de infiltración		C1: ETP antes de ETR	
Fecha	24/08/2017																
Cfo	0.12																
fc (mm/d)	12431.15		CC	31.43	222.52												
kp(%)	0.20		PM	18.26	129.28												
Kv(%)	0.09		(CC-PM)	13.17	93.24												
Kfc(%)	1.00																
Ci(%)	1.00																
DS (g/cm <sup>3</sup> )	1.18																
PR(mm)	600.00																
Hsi(mm)	222.52																
Concepto	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Total				
P (mm)	298.72	317.62	176.5	32.49	5.78	2.37	4.02	17.64	42.68	197.33	326.86	236.34	1658.35				
ret (mm) (P\Cfo)	35.85	38.11	21.18	3.90	0.69	0.28	0.48	2.12	5.12	23.68	39.22	28.36					
Ret (mm)	35.85	38.11	21.18	5.00	5.00	2.37	4.02	5.00	5.12	23.68	39.22	28.36	212.92				
Pi (mm)	262.87	279.51	155.32	27.49	0.78	0.00	0.00	12.64	37.56	173.65	287.64	207.98	1445.43				
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
ETP(mm)	142.39	119.65	118.04	108.04	111.70	114.45	118.56	148.38	168.66	154.27	137.42	148.75	1590.31				
Hsi (mm)	222.52	222.52	222.52	129.28	129.28	129.28	129.28	129.28	129.28	222.52	222.52	222.52					
c1	3.82	4.00	2.67	0.29	0.01	0.00	0.00	0.14	0.40	2.86	4.08	3.23					
C1	1.00	1.00	1.00	0.29	0.01	0.00	0.00	0.14	0.40	1.00	1.00	1.00					
c2	2.29	2.71	1.40	-0.04	0.00	0.00	0.00	-0.09	-0.32	1.21	2.61	1.64					
C2	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00					
ETPR	142.39	119.65	118.04	15.67	0.56	0.00	0.00	10.39	33.73	154.27	137.42	148.75					
HD (mm)	356.12	372.75	248.56	27.49	0.78	0.00	0.00	12.64	37.56	266.89	380.88	301.22					
ETR (mm)	142.39	119.65	118.04	15.67	0.78	0.00	0.00	10.39	33.73	154.27	137.42	148.75	881.08				
hsf (mm)	343.01	382.38	259.80	141.11	129.28	129.28	129.28	131.53	133.11	241.90	372.74	281.75					
Hsf (mm)	222.52	222.52	259.80	141.11	129.28	129.28	129.28	131.53	133.11	222.52	222.52	222.52					
Rp (mm)	120.48	159.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.38	150.22	59.23	509.17				
DCC (mm)	0.00	0.00	-37.28	81.42	93.24	93.24	93.24	90.99	89.42	0.00	0.00	0.00					
NR (mm)	0.00	0.00	-37.28	173.79	204.16	207.69	211.80	228.98	224.35	0.00	0.00	0.00	1213.50				

## 2.9.2.8. Balance hídrico de suelos "H"

Unidad	H																
Zonas verdes urbanas ligeramente inclinadas														Cfo: Coeficiente de follaje		ETP: Evapotranspiración potencial	
Textura: Franco														fc: Capacidad de infiltración		C1: ETP antes de ETR	
Fecha	24/08/2017																
Cfo	0.20																
fc (mm/d)	21467.88		CC	50	238.50												
kp(%)	0.20		PM	32	152.64												
Kv(%)	0.10		(CC-PM)	18.00	85.86												
Kfc(%)	1.00																
Ci(%)	1.00																
DS (g/cm <sup>3</sup> )	1.06																
PR(mm)	450.00																
Hsi(mm)	238.50																
Concepto	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Total				
P (mm)	298.72	317.62	176.5	32.49	5.78	2.37	4.02	17.64	42.68	197.33	326.86	236.34	1658.35				
ret (mm) (P\Cfo)	59.74	63.52	35.30	6.50	1.16	0.47	0.80	3.53	8.54	39.47	65.37	47.27					
Ret (mm)	59.74	63.52	35.30	6.50	5.00	2.37	4.02	5.00	8.54	39.47	65.37	47.27	342.10				
Pi (mm)	238.98	254.10	141.20	25.99	0.78	0.00	0.00	12.64	34.14	157.86	261.49	189.07	1316.25				
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
ETP(mm)	142.39	119.65	118.04	108.04	111.70	114.45	118.56	148.38	168.66	154.27	137.42	148.75	1590.31				
Hsi (mm)	238.50	238.50	238.50	152.64	152.64	152.64	152.64	152.64	152.64	238.50	238.50	238.50					
c1	3.78	3.96	2.64	0.30	0.01	0.00	0.00	0.15	0.40	2.84	4.05	3.20					
C1	1.00	1.00	1.00	0.30	0.01	0.00	0.00	0.15	0.40	1.00	1.00	1.00					
c2	2.12	2.57	1.27	-0.07	0.00	0.00	0.00	-0.11	-0.39	1.04	2.45	1.47					
C2	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00					
ETPR	142.39	119.65	118.04	16.21	0.56	0.00	0.00	11.13	33.73	154.27	137.42	148.75					
HD (mm)	324.84	339.96	227.06	25.99	0.78	0.00	0.00	12.64	34.14	243.72	347.35	274.93					
ETR (mm)	142.39	119.65	118.04	16.21	0.56	0.00	0.00	11.13	33.73	154.27	137.42	148.75	882.15				
hsf (mm)	335.09	372.95	261.66	162.43	152.86	152.64	152.64	154.15	153.05	242.09	362.57	278.82					
Hsf (mm)	238.50	238.50	261.66	162.43	152.86	152.64	152.64	154.15	153.05	242.09	238.50	238.50					
Rp (mm)	96.59	134.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	124.07	40.32	395.42				
DCC (mm)	0.00	0.00	-23.16	76.07	85.64	85.86	85.86	84.35	85.45	-3.59	0.00	0.00					
NR (mm)	0.00	0.00	-23.16	167.91	196.78	200.31	204.42	221.60	220.38	-3.59	0.00	0.00	1184.64				

### 2.9.2.9. Puntos de muestreo



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 28A. Mapa puntos de muestro análisis de suelo.

### 2.9.3. Fotografías de basureros clandestinos



Fuente: Municipalidad de Guatemala, 2017.  
Figura 29A. Basurero ilegal zona 21



Fuente: Municipalidad de Guatemala, 2017.  
Figura 30A. Basurero ilegal zona 21.



Fuente: Municipalidad de Guatemala, 2017.  
Figura 31A. Basurero ilegal zona 21.



Fuente: Municipalidad de Guatemala, 2017.  
Figura 32A. Basurero ilegal zona 21.



Fuente: Google Erth 2017.  
Figura 33A. Basurero ilegal zona 8.

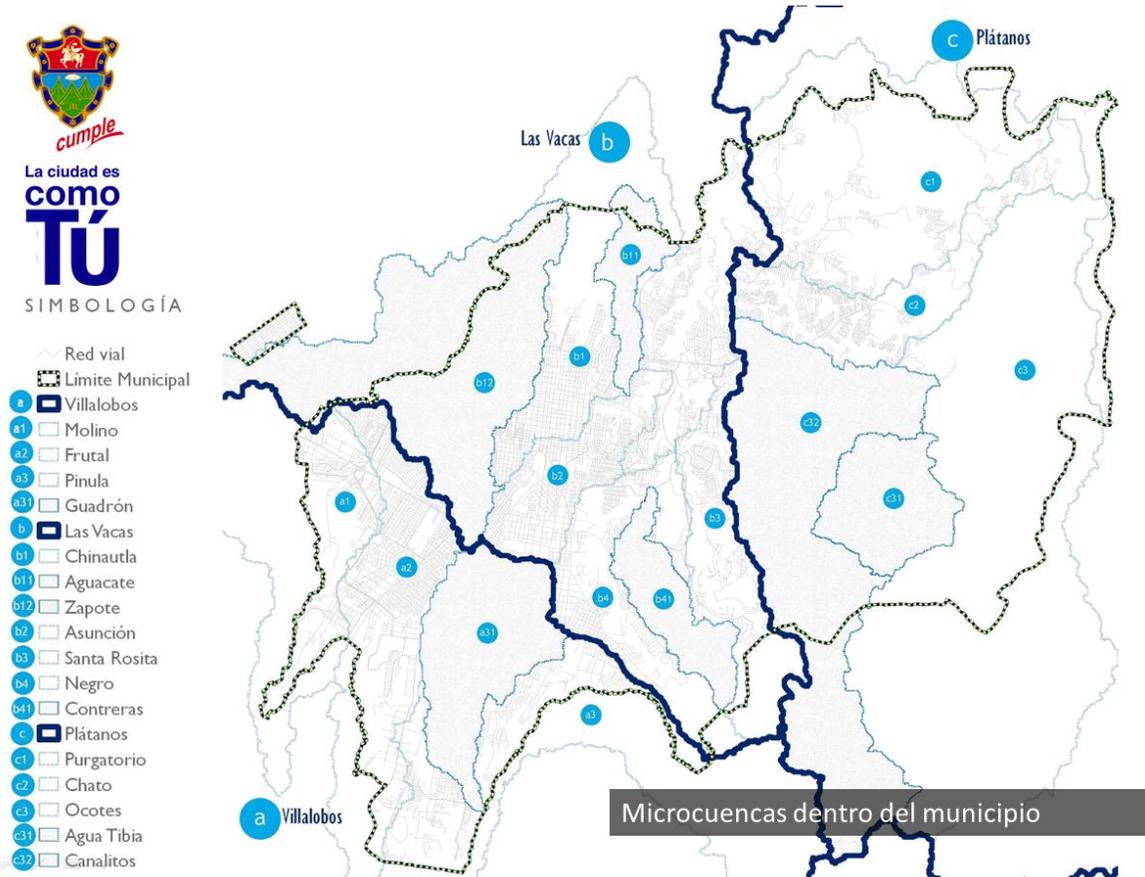


Fuente: Google Erth 2017.  
Figura 34A. Basurero ilegal zona 8.



Fuente: Google Erth 2017.  
Figura 35A. Basurero ilegal zona 9.

### 2.9.4. Microcuencas dentro del municipio de Guatemala



Fuente: Dirección de Medio Ambiente, Municipalidad de Guatemala.  
Figura 36A. Mapa de microcuencas dentro del municipio de Guatemala.



**3. CAPÍTULO III. INFORME DE SERVICIOS REALIZADOS EN LA DIRECCIÓN DE MEDIO AMBIENTE, MUNICIPALIDAD DE GUATEMALA.**



### **3.1. PRESENTACIÓN**

El municipio de Guatemala ha atravesado diversas problemáticas que dificultan el desarrollo sostenible de sus habitantes así como el manejo adecuado de los recursos naturales y su entorno ambiental. Hasta la fecha no se ha planteado una forma de evaluación de los aspectos ambientales, económicos y sociales ni tampoco alternativas de solución a la problemáticas específicas para la microcuenca del Río Guadrón. Por lo anterior y dentro del marco de la cooperación técnica y analítica se elaborará un “Plan de Manejo Integrado para la microcuenca del río Guadrón”

Se espera que el presente trabajo aporte a la Municipalidad de Guatemala, a la Dirección de Medio Ambiente, a sus habitantes y a otros usuarios, elementos que permitan establecer prioridades locales, a través de un diagnóstico y posteriormente la generación de lineamientos que garanticen la rehabilitación, reconstrucción y la mitigación de degradación ambiental de la microcuenca del río Guadrón.

Por otra parte con el fin de alimentar la información de las condiciones ambientales del municipio de Guatemala se brindará apoyo en la ejecución de un censo forestal específicamente de la zona 9, la cual posee un área importante de vegetación urbana la cual brinda diversos servicios ambientales que benefician a la población que habita y transita la ciudad capital. Esta actividad se realizó con el objetivo de brindar al municipio datos específicos de las especies predominantes en los espacios públicos así como la descripción de las condiciones cualitativas y cuantitativas de cada árbol.

## **3.2. PROPUESTA DE LINEAMIENTOS PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DE LA MICROCUENCA DEL RÍO GUADRÓN**

### **3.2.1. Definición del problema**

El municipio de Guatemala se ha convertido en un municipio predominantemente urbano. Esta situación es la resultante del rápido crecimiento poblacional en el área metropolitana en donde se concentran las interacciones económicas, financieras, sociales, ambientales, institucionales, académicas y comunitarias, que faciliten mejorar el nivel de vida. Sin embargo, el sistema urbano del municipio de Guatemala se ha formado bajo una escasa planificación ambiental o consideraciones ambientales, tanto por los desordenados procesos de planificación territorial, como por las fuertes demandas de recursos naturales y exceso de contaminación.

Estos hechos han atraído la atención de la Municipalidad de Guatemala y su Dirección de Medio Ambiente, viéndose en la necesidad de priorizar y formular una Plan de Manejo Ambiental, dentro de las áreas urbanas, que dé respuesta a la realidad ambiental actual dentro del municipio y que oriente el accionar eficaz de los actores locales (institucionales y sociales) que tiene relación con procesos de mejora ambiental.

Para realizar esta gestión se debe priorizar las áreas de estudio dentro del municipio de Guatemala ya que el territorio es amplio, y no es factible implementar algunas acciones en un solo territorio ya que las condiciones biofísicas y socioeconómicas de cada área son muy distintas y complejas. Es por ello que se debe plantear lineamientos de forma sistemática e integrada, según las características particulares dentro del área de interés y así garantizar el resguardo y restauración de áreas naturales identificadas dentro la microcuenca del río Guadrón.

### **3.2.2. Objetivos**

#### **3.2.2.1. Objetivo general**

Promover el uso y manejo adecuado de los recursos naturales de la microcuenca del Río Guadrón bajo un concepto de desarrollo sostenible.

#### **3.2.2.2. Objetivos específicos**

1. Disminuir los indicadores de contaminación que presentan peligro para los recursos naturales, abastecimiento de agua potable, salubridad ambiental y seguridad de los vecinos.
2. Proponer acciones estratégicas integrales para crear una armonía en la interacción entre los habitantes y el medio ambiente de la microcuenca.

### **3.2.3. Metodología**

#### **3.2.3.1. Plan de ejecución**

El propósito de elaborar un plan de manejo ambiental de la microcuenca del Río Guadrón, es crear una guía estructurada de diferentes lineamientos, planes y normas ambientales, territoriales y sectoriales para brindar solución a la(s) problemática(s) ambientales identificada(s) y priorizada(s) dentro de la microcuenca. Se debe garantizar la protección, conservación y restauración de sus recursos naturales así como el manejo del área bajo un enfoque integral (interrelacionando los aspectos biofísicos y socioeconómicos de la microcuenca) y participativo (involucrando a los diferentes actores sociales e institucionales).

Esta gestión ambiental dentro del perímetro urbano logrará, la mitigación de desastres, la salubridad ambiental y el desarrollo sostenible de los habitantes del municipio de Guatemala.

En tal sentido el trabajo realizado considera las siguientes actividades:

- Analizar la información obtenida de la caracterización a través de un diagnóstico.
- Elaborar un Plan de Manejo Integrado de la microcuenca.

Como se puede observar en la figura 36; luego de conocer las características socioeconómicas y biofísicas de la microcuenca, se determinaron las necesidades o problemas de mayor impacto dentro del área, creado líneas de acción que resuelvan el malestar socio ambiental que se priorizó.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 37. Diagrama de la metodología para la propuesta del plan de manejo.

## A. Diagnóstico

La primera actividad que se realizó para crear la propuesta de manejo ambiental acorde a las condiciones de la microcuenca, debe ser un diagnóstico integral, donde se identifique la problemática de interés e incluyan todas las características que puedan aportar a la solución del problema.

El diagnóstico permite interpretar lo que está pasando dentro de la microcuenca. Dado que ésta es parte de un sistema mayor, es importante conocer los componentes externos que influyen en su dinámica. Se debe evaluar las interacciones que existen en el entorno priorizando el problema y analizando sus causas y efectos.

### a. Priorización de acción

Dentro de la microcuenca se encontraron diversas problemáticas a resolver y muchas veces no existe la disponibilidad de los recursos financieros y/o humanos para implementar las soluciones, también en muchas ocasiones no es factible ejecutar todas las acciones en forma simultánea, es por ello que se debe identificar cuáles son los problemas de mayor urgencia por resolver según el nivel de importancia social, económico o ambiental.

Generalmente el manejo integral de cuencas se enfoca en la situación ambiental, ya que por ser una cuenca urbana las actividades dentro de la misma generan condiciones contrastantes al ambiente, los impactos son notables y sus efectos significativos. Estos efectos indican el nivel de impacto sobre los habitantes, los recursos y el ambiente.

## **B. Plan de manejo ambiental**

Este plan ambiental debe abordar los problemas propios que suceden en el interior del perímetro de la microcuenca. La propuesta del plan de manejo ambiental para la microcuenca del río Guadrón debe garantizar el desarrollo sostenible según sus condiciones y cualidades.

La planificación e implementación de un plan de manejo integrado y participativo de la microcuenca municipal debe tomar en cuenta:

- Conservar la calidad y cantidad de agua subterránea y restaurar la calidad del agua mediante sistemas sanitarios eficientes dentro de la microcuenca.
- Acciones que mitiguen la pérdida o deterioro del bosque.
- Implementar acciones que logren la mitigación en zonas altamente susceptibles a amenazas de deslizamientos e inundaciones.
- Incluir componentes que protejan de la salud y seguridad humana.
- Proteger, conservar y restaurar el escaso espacio verde natural.
- Crear conciencia y cultura ambiental a la población dentro de la microcuenca del río Guadrón.

### 3.2.4. Resultados

#### 3.2.4.1. Diagnóstico

Antes de realizar los lineamientos estratégicos de manejo de manera específica, es necesario realizar un diagnóstico el cual integre las características más importantes de la microcuenca del río Guadrón. Para ello se optó por un análisis FODA que exponga las características positivas y negativas, externas e internas respecto al área de estudio con relación a la Municipalidad de Guatemala, el cual se refleja en el cuadro 39.

Cuadro 39. Análisis FODA.

<b>FODA</b>	
<b>Fortalezas</b>	<b>Oportunidades</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoyo e interés de alcaldías auxiliares 8, 9, 10, 13 y 21.</li> <li>• Actividades de educación y concientización ambiental (CEA).</li> <li>• Actividades de reforestación y viveros municipales.</li> <li>• Proyectos de parques ecológicos y/o espacios públicos verdes.</li> <li>• Información geográfica.</li> <li>• Iniciativa de proyectos de separación y clasificación de residuos.</li> <li>• Iniciativa de caracterización y lineamientos de manejo de microcuencas dentro del municipio de Guatemala.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zona con alta recarga hídrica.</li> <li>• Apoyo de grupos sociales; COCODES, estudiantes de establecimientos educativos, iglesias, bases militares (Comando de Comunicaciones de Informática, Cuerpo de Ingenieros).</li> <li>• Alto nivel educativo (variedad de establecimientos de distintos niveles educativos).</li> <li>• Capacidad de uso de la tierra forestal para producción y protección.</li> <li>• Amplio sector de comercio y servicios.</li> </ul>
<b>Debilidades</b>	<b>Amenazas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desinterés de las alcaldías auxiliares 12 y 14.</li> <li>• Poco personal y presupuesto para el área de investigación de la Dirección de Medio Ambiente.</li> <li>• Investigaciones prolongadas.</li> <li>• Difícil acceso a información interna.</li> <li>• Demora en el proceso de generación de datos.</li> <li>• Información geográfica desactualizada.</li> <li>• Difícil acceso a parte barrancosa de la microcuenca.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deforestación.</li> <li>• Alta contaminación hídrica superficial.</li> <li>• Focos de contaminación por desechos sólidos.</li> <li>• Contaminación y degradación edáfica.</li> <li>• Acelerado crecimiento poblacional.</li> <li>• Impermeabilización del suelo por urbanización.</li> <li>• Áreas del cinturón ecológico propio de la microcuenca, son privadas.</li> <li>• Pérdida de zonas boscosas por ampliación asentamientos precarios y no precarios y sectores industriales las cuales no tienen marcado un límite.</li> <li>• No hay control de descarga de aguas residuales y disposición final de desechos sólidos del sector industrial.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia, 2017.

Las alcaldías auxiliares del municipio de Guatemala, son entidades que conocen la dimensión real de los problemas que caracteriza a cada zona capitalina debido a que poseen una relación directa con la población. Es por ello que se debe fortalecer la comunicación entre la Dirección de Medio Ambiente y las alcaldías auxiliares de las zonas 12 y 14, principalmente de la zona 12 pues representa 27 % del territorio de la microcuenca y contiene un amplio sector industrial, el cual contribuye a la contaminación ambiental dentro de la misma.

Las actividades municipales de concientización y educación ambiental, la adaptación de espacios para la clasificación de residuos y las actividades de reforestación con la disponibilidad de especies arbóreas en los viveros municipales, son actividades de saneamiento ambiental que actualmente se llevan a cabo con la participación de estudiantes durante el ciclo escolar así como la participación de personas que transcurren en las actividades familiares organizadas por la Municipalidad de Guatemala los fines de semana. Sin embargo se debe ampliar la población objetivo, expandiendo espacios de participación involucrando nuevos sectores sociales organizados e interesados en propagar y llevar a cabo estas actividades positivas para el ambiente de manera eficiente y eficaz.

La Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Guatemala se encargan de habilitar espacios verdes públicos naturales y seminaturales, sin embargo se encuentran con la problemática de espacios privados dentro del cinturón ecológico municipal correspondiente a la microcuenca del río Guadrón los cuales no están bajo jurisdicción de la Municipalidad y no pueden disponer de éstos. Recientemente el área de investigación ha iniciado con los procesos de caracterización y lineamientos de manejo de todas las microcuencas que abarcan al municipio pero no cuenta con el personal ni el presupuesto necesario para realizarlo, esto trae como consecuencia que la generación de datos y las investigaciones sean prolongadas.

El acelerado crecimiento poblacional, característico del área de estudio, ha provocado la expansión urbana horizontal, impermeabilizando el suelo, reduciendo las zonas de recarga hídrica, deterioro en los espacios verdes naturales, incremento de contaminación edáfica e hídrica superficial e incremento a la susceptibilidad a amenazas a deslizamientos e inundaciones por el sobre uso que se le da a la tierra.

### 3.2.4.2. Priorización de acción

Con base a la metodología del Programa Focuecas II, se elaboró una clasificación de las características socioeconómicas, ambientales y biofísicas del área de estudio, brindando a cada una de éstas un indicador según sus condiciones e impacto positivo y/o negativo hacia el medio ambiente, para así darles el nivel de priorización de acción, formulando criterios que facilite la toma de decisiones y orienten la planificación de la propuesta de lineamientos de manejo ambiental sostenible. En el cuadro 40 se muestra cada una de las características destacadas.

Cuadro 40. Análisis de priorización

Característica		Indicadores	Impacto al ambiente	Prioridad de acción	Criterio para manejo
Social	Demografía	Alto crecimiento poblacional	Negativo	Alta	Ampliación de urbanización
	Educación	Alto nivel de alfabetismo	Positivo	Media	Población objetivo
	Economía	Amplio sector industrial y comercial	Negativo/Positivo	Media	Población objetivo
	Ambiente	Focos de contaminación	Negativo	Muy alta	Proyectos y actividades de restauración
Biofísico	Uso de la tierra	Alta impermeabilización	Negativo	Alta	Pérdida de zonas verdes naturales
	Capacidad de uso de la tierra	Áreas de protección y producción	Positiva	Alta	Plan de manejo forestal sostenible para las zonas barrancosas
	Intensidad de uso de la tierra	Áreas con sub uso de la tierra	Negativo	Alta	Conflicto de uso (sub uso), implementar especies de producción forestal
	Calidad del agua superficial	Pésima calidad de agua superficial	Negativo	Muy alta	Implementar y monitorear sistemas de saneamiento
	Zonas de recarga hídrica	Alta permeabilidad, muy alta zona de recarga hídrica	Positiva	Muy alta	Protección de zonas aún permeables
	Amenazas naturales	Zonas susceptibles a deslizamientos e inundaciones	Negativo	Media	Mitigación de amenazas (seguridad a la población)

Fuente: elaboración propia, 2017.

El análisis de priorización del cuadro 2 menciona las acciones inmediatas que se deben ejecutar para solucionar las problemáticas más puntuales y dañinas para el entorno ambiental y así proteger los recursos naturales y los servicios ambientales que ofrece la microcuenca del río Guadrón así como mantener la seguridad y salud de sus habitantes. Este análisis también nos presenta el potencial de algunas características que se pueden aprovechar para mejorar las condiciones actuales.

Algunos criterios de prioridad que se deben tomar en cuenta son:

- El acelerado crecimiento poblacional tiene un impacto negativo sobre los espacios de recarga hídrica (los cuales se deben proteger para asegurar y mantener la alimentación al manto freático), reduce los recursos naturales y degrada la calidad ambiental.
- Se debe aprovechar el potencial de uso de la tierra que presenta la zona barrancosa de la microcuenca, para formular e implementar proyectos que aseguren la conservación y el uso responsable de los recursos naturales.
- Es de urgencia implantar sistemas de saneamiento al recurso hídrico superficial a corto plazo debido a que la calidad del agua superficial puede afectar la calidad de agua subterránea y poner en riesgo la salud de los habitantes.

#### **3.2.4.3. Propuesta de lineamientos de manejo ambiental**

La propuesta de lineamientos de manejo ambiental posee un enfoque sostenible y participativo para que sea funcional. Para ello cada característica previamente descrita y evaluada, tendrá un objetivo, los cuales se pretenden cumplir a través de distintas actividades diseñadas y planteadas según las condiciones del área de estudio y ejecutadas por grupos sociales ya identificados.

En el cuadro 41 presenta un análisis integral de cada propuesta de lineamientos de manejo ambiental.

Cuadro 41. Lineamientos de manejo propuestos.

Lineamiento	Objetivo	Actividades	Participación
<p>Protección, conservación y restauración del espacio verde natural de la microcuenca del Río Guadrón.</p> <p>(Cinturón Ecológico Municipal propio de la microcuenca)</p>	<p>Implementar un plan estratégico de reforestación y manejo forestal, el cual incremente la capacidad de captación hídrica y logre a su vez evitar la erosión del suelo (conservación de suelos).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proponer convenios con el Estado y dueños de propiedad privada para asegurar la protección y resguardar las zonas de alta recarga hídrica del área mencionada.</li> <li>• Fortalecer el ordenamiento territorial a nivel local, el cual restrinja actividades de urbanización en áreas de protección y de alto riesgo.</li> <li>• Establecer enfoques de aprovechamiento y crear zonas para servicios de producción, recarga hídrica, etc.</li> <li>• Diseñar y habilitar nuevos espacios verdes naturales, recreativos y/o deportivos, con bajo grado de pendiente.</li> <li>• Mantenimiento forestal en la zona de protección</li> <li>• Incentivos forestales</li> <li>• Difusión de expansión urbana vertical.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Personal de la Municipalidad de Guatemala <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dirección de Medio Ambiente</li> <li>- Alcaldías auxiliares</li> <li>- Personal del área de Parques</li> <li>- COCODES</li> </ul> </li> <li>• Bases militares <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuerpo de Ingenieros</li> <li>- Comando de Comunicaciones de Informática</li> </ul> </li> <li>• Establecimientos educativos</li> </ul>
<p>Diseño de un plan técnico y funcional para el saneamiento del cuerpo de agua correspondiente a la microcuenca del Río Guadrón.</p>	<p>Restaurar de la calidad del recurso hídrico superficial.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inversión en plantas de tratamiento por gravedad eficientes.</li> <li>• Implementar un sistema de monitoreo al sector industrial, comercial y residencial privado, el cual garantice la disponibilidad y funcionamiento de plantas de tratamiento y sus descargas cumplan con los requisitos del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sector industrial</li> <li>• Sector comercial</li> <li>• Sector residencial privado</li> <li>• Municipalidad de Guatemala</li> <li>• Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)</li> </ul>

Plan de mitigación a amenazas de deslizamientos e inundaciones.	Mitigar amenazas ya identificadas mediante un plan de acción y prevención	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar los sectores más vulnerables y desarrollar un informe de riesgo.</li> <li>• Crear un sistema de alerta y divulgación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CONRED</li> <li>• Municipalidad de Guatemala</li> <li>• Alcaldías auxiliares</li> <li>• COCODES</li> </ul>
Actividades de concientización y educación ambiental.	Expandir las actividades de concientización y educación ambiental.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaborar material pedagógico y didáctico específico, según el nivel educativo al cual se va a enfocar.</li> <li>• Fortalecer y expandir programas de manejo de residuos orgánicos e inorgánicos. Habitar espacios específicos para la clasificación de residuos.</li> <li>• Organizar excursiones de reforestación fomentado la participación consiente y responsable.</li> <li>• Divulgación y difusión en actividades municipales mediante folletos, manuales, afiches informativos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Personal de la Municipalidad de Guatemala <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dirección de Medio Ambiente</li> <li>- Alcaldías auxiliares</li> <li>- Personal del área de Parques</li> <li>- CEA</li> </ul> </li> <li>• Bases militares <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuerpo de Ingenieros</li> <li>- Comando de Comunicaciones de Informática</li> </ul> </li> <li>• Establecimientos educativos</li> <li>• Centros religiosos</li> <li>• COCODES</li> </ul>

Fuente: elaboración propia, 2017.

### A. Guía técnica para el monitoreo a sectores industriales y comerciales

La Municipalidad de Guatemala debe de monitorear cada fase que involucre el manejo de desechos sólidos y líquidos industriales y/o comerciales para evitar cualquier daño al entorno ambiental.

En el cuadro 42 se plantean algunas acciones que deben ejecutarse para garantizar que estos sectores tengan procesos productivos amigables con el medio ambiente.

Cuadro 42. Monitoreo para prevenir contaminación del sector industrial y comercial.

<b>Tipo de contaminación</b>		<b>Monitoreo</b>
<b>Recurso hídrico/ Aguas residuales</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de tratamiento al desecho líquido y eficiencia del producto final.</li> <li>• Análisis de calidad de agua directo de descargas.</li> </ul>
<b>Atmosfera</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación fuentes de emisiones.</li> <li>• Dispositivos anticontaminantes.</li> <li>• Descripción de emisiones.</li> </ul>
<b>Sonoras</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar áreas de concentración auditivas.</li> <li>• Medidas para atenuar altos niveles de decibeles.</li> </ul>
<b>Desechos sólidos</b>	<b>Inocuo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación</li> <li>• Acumulación</li> <li>• Clasificación</li> <li>• Almacenamiento</li> <li>• Transporte</li> </ul>
	<b>Nocivo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis en laboratorio que determine el nivel de peligrosidad/toxicidad.</li> <li>• Almacenamiento temporal.</li> </ul>
<b>Edáfico</b>		Monitoreo de algún derrame de aceite en el suelo ocasionando contaminación edáfica, filtrándose a manto freático.

Fuente: elaboración propia, 2017.

Como apoyo en el proceso de monitoreo se puede tomar en cuenta los instrumentos técnicos de evaluación del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales; evaluación ambiental inicial, estudio de evaluación de impacto ambiental, diagnóstico ambiental y estudio técnico de caracterización de aguas residuales, aguas de reuso y lodos, así como los instrumentos técnicos de auditorías ambientales.

## **B. Guía técnica para manejo del cinturón ecológico municipal de la microcuenca del río Guadrón**

Se identificó dentro del cinturón ecológico municipal propio la microcuenca del río Guadrón una capacidad de uso de la tierra que se puede aprovechar para crear espacios verdes recreativos, áreas de conservación de suelos, áreas de producción y protección forestal.

En el cuadro 43 se plantean algunas acciones que deben ejecutarse para garantizar el manejo sostenible de esta área.

Cuadro 43. Manejo para el CEM de la microcuenca del río Guadrón.

<b>Capacidad de uso de la tierra</b>	<b>Adaptación (Cambio de uso de la tierra)</b>	<b>Actividades</b>
Agroforestería con cultivos anuales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espacios verdes recreativos.</li> <li>• Conservación de suelos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reforestación con especies ornamentales.</li> <li>• Áreas de estar, gimnasios y juegos infantiles al aire libre, rampas especiales para personas de tercera edad.</li> <li>• Áreas específicas para concientización ambiental (Depósitos para clasificar residuos, entre otros)</li> <li>• Conservación de suelos; mediante la aplicación de técnicas de conservación de agua y suelos en agricultura (barreras vivas, acequias, barreras muertas)</li> </ul>
Agroforestería con cultivos permanentes		
Tierras forestales para producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo forestal sostenible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reforestación con especies productivas. (Aprovechamiento sostenible de leña)</li> <li>• Reforestación con especies frutales forestales. (Fuente de alimento para fauna)</li> <li>• Incentivos forestales</li> </ul>
Tierras forestales para protección	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preservación y conservación. (Generación de servicios ambientales)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inventario forestal.</li> <li>• Programas de acción para la conservación.</li> <li>• Restauración de áreas de protección.</li> <li>• Reforestación junto a cobertura herbácea; esto evitará la generación de material erosionable y mejora la capacidad de filtración.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia, 2017.

Es importante recalcar que estas actividades no se podrán ejecutar sin el fortalecimiento previo del ordenamiento territorial, el cual restrinja la ampliación de urbanización dentro del cinturón ecológico municipal. Se debe llegar a un convenio con el Estado y el sector privado para manejar estos territorios importantes para el resguardo de los recursos naturales y la generación de servicios ambientales.

### **3.2.5. Conclusiones**

1. El uso adecuado de los recursos naturales representa para el municipio de Guatemala la reducción de zonas susceptibles a cualquier tipo de desastre y asegura el abastecimiento de servicios ambientales necesarios para mantener la calidad de vida de la población de la ciudad capital.
2. Se deben tomar acciones tanto simples como complejas de restauración ambiental a corto plazo de manera eficiente, eficaz y bajo un concepto participativo para garantizar un entorno ambiental sano para la población guatemalteca.
3. La propuesta de lineamientos descrita, brinda medidas de restauración, protección y conservación y una orientación para aprovechar el potencial de la tierra y así explotar los recursos de forma responsable y sostenible. Por otra parte se debe controlar la dinámica cotidiana de la población dentro de la microcuenca que generan un impacto negativo hacia el ambiente y los recursos naturales.

### **3.2.6. Recomendaciones**

1. Fortalecer el área de investigación de la Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Guatemala, con personal y recursos.
2. Se debe dar prioridad a la restauración del agua superficial de la microcuenca.
3. Elaborar investigaciones y lineamientos para otras microcuencas con expansión urbana.
4. Reforzar aspectos del ordenamiento territorial.

### **3.3. CENSO FORESTAL**

#### **3.3.1. Definición del problema**

Otra necesidad que se ve plasmada dentro de la Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Guatemala, es la carencia de información arbórea correspondiente a su jurisdicción.

La Dirección de Medio ambiente está interesada en conocer las cantidades exactas de árboles dentro del área urbana y aunque tienen una noción de que especies hay dentro del municipio no cuenta con datos específicos.

Es por ello que durante el periodo del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), se elaboró un censo forestal urbano específicamente de la zona 9 capitalina, donde se identificó la especie, estado sanitario y localización de cada árbol dentro de las áreas públicas de la zona mencionada.

#### **3.3.2. Objetivos**

##### **3.3.2.1. Objetivo general**

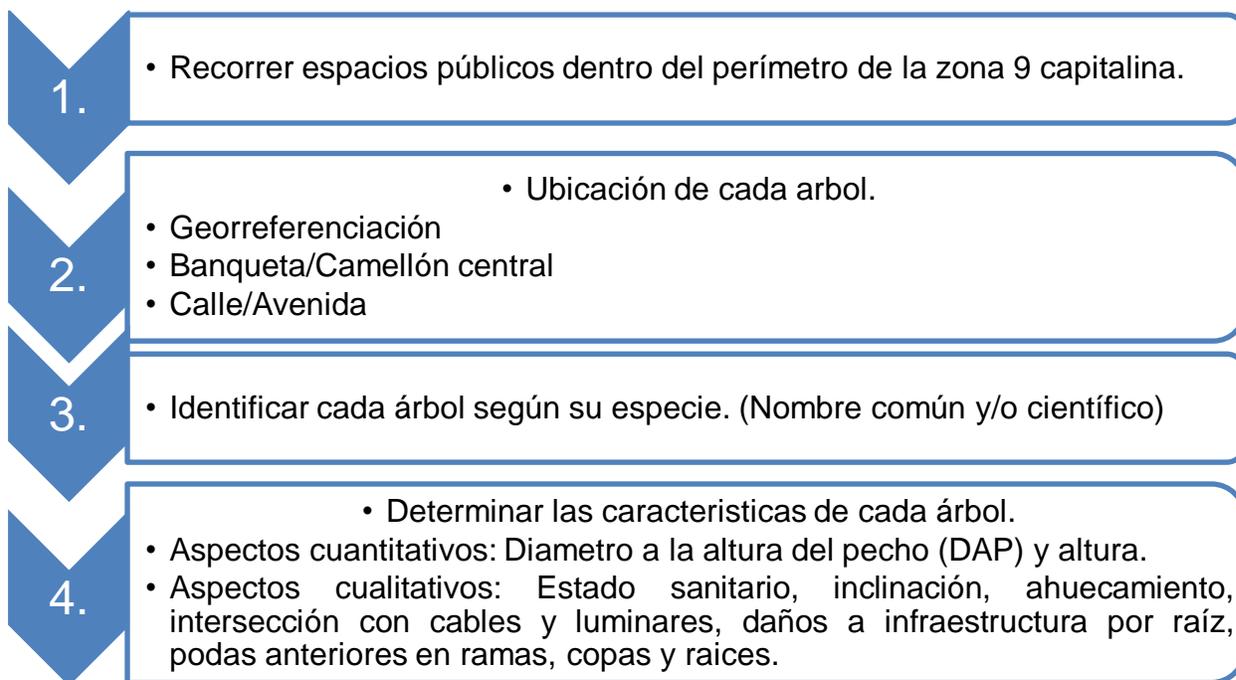
Crear una base de datos que faciliten el acceso a información de cada uno de los árboles presentes en el área pública de la zona 9 capitalina.

##### **3.3.2.2. Objetivos específicos**

1. Realizar una descripción de los aspectos cualitativos y cuantitativos de los árboles de la zona 9.
2. Determinar la ubicación de cada árbol.
3. Identificar cada árbol según su especie.

### 3.3.3. Metodología

En la figura 37 se muestra el proceso para realizar el censo forestal de la zona 9 del municipio de Guatemala.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 38. Diagrama de la metodología para realizar el inventario.

### 3.3.4. Resultados

Se realizó el censo forestal de forma parcial de la zona 9 de la ciudad capital, debido a que no se pudo llegar al cometido de determinar la cantidad total de árboles dentro de la zona, por cuestiones internas de la Municipalidad de Guatemala, se aplazaron las fechas para su ejecución lo cual limitó el tiempo para completar el objetivo.

La cantidad de árboles identificados fue de 1,020, éstos localizados en la Avenida Castellana, gran parte de la primera a octava calle, parte de la primera a quinta avenida, Boulevard Liberación, Plaza España y séptima avenida. En este informe se realizó la caracterización y análisis de 540 árboles dentro del perímetro de la figura 38.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 39. Mapa del cuadrante analizado dentro de la zona 9.

### 3.3.4.1. Especies encontradas

Las especies y la cantidad total de árboles analizados dentro del espacio público recorrido de la zona 9 se indican en el cuadro 44 así como el promedio de altura y diámetro a la altura del pecho (DAP).

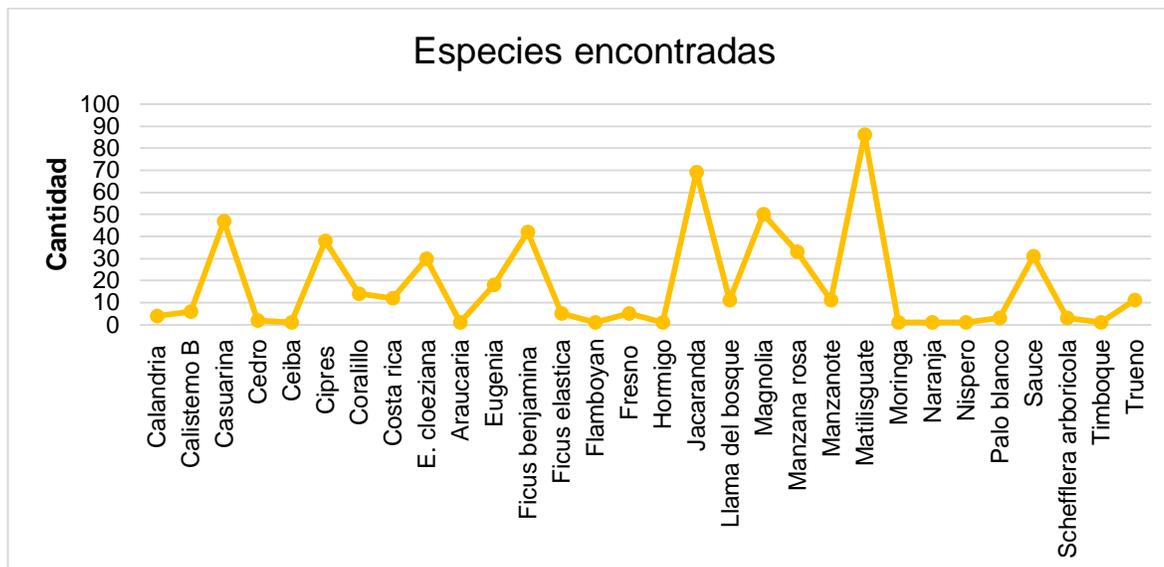
Cuadro 44. Nombre científico y común de la especie encontrada.

ESPECIE		Total de árboles	PROMEDIO	
Nombre Común	Nombre Científico		DAP (cm)	Altura (m)
Araucaria	<i>Araucaria araucana</i>	1	34.4	18
Calandria	<i>Calliandra tweedii</i>	4	11.15	2.2
Calistemo blanco / Corcho	<i>Melaleuca quinquenervia</i>	6	32.13	6.33
Casuarina	<i>Casuarina equisetifolia</i>	47	36.26	12.15
Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i>	1	168.5	25
Ciprés común	<i>Cupressus sempervirens</i>	38	42.64	14.28
Coralillo	<i>Citharexylum donnell-smithii</i>	14	29.54	8.18
Costa rica	<i>Bauhinia variegata</i>	12	39.03	6.97
E. cloeziana	<i>Eucalyptus cloeziana</i>	30	67.06	15.64
Eugenia	<i>Eugenia involucreta</i>	19	26.25	7.93
Ficus	<i>Ficus benjamina</i>	42	39.64	7.51
Ficus	<i>Ficus elastica</i>	5	80.1	14.7
Flamboyán	<i>Delonix regia</i>	1	68	7
Fresno	<i>Fraxinus</i>	5	27.52	7.96
Jacaranda	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	69	31.31	7.32
Llama del bosque	<i>Spathodea campanulata</i>	11	40.90	9.14
Magnolia	<i>Magnolia champaca</i>	50	21.51	6.93
Manzana rosa	<i>Syzygium jambos</i>	33	7.94	3.35
Manzanote	<i>Casimiroa edulis</i>	11	14.5	4.86
Matilisguate	<i>Tabebuia rosea</i>	86	45.79	12.34
Moringa	<i>Moringa oleifera</i>	1	34.5	7
Nispero	<i>Eriobotrya japonica</i>	1	5.7	6
Palo blanco	<i>Calycophyllum multiflorum</i>	3	50.43	18.33
Sauce	<i>Salix</i>	31	96.45	18.02
Schefflera	<i>Schefflera arboricola</i>	3	47.57	9.17
Timboque	<i>Tecoma stans</i>	1	30	6.2
Trueno	<i>Ligustrum lucidum</i>	11	38.16	7.64

Fuente: elaboración propia, 2017.

### 3.3.4.2. Especies encontradas

El censo forestal realizado, muestra cantidades arbóreas de diferentes especies las cuales se muestran en la figura 39.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 40. Gráfica de las especies según la cantidad de árboles.

Como se puede observar en la figura 39 la especie que más predomina dentro del área recorrida; es el matilisguate con el 16 %, seguido por la jacaranda con un 12.8 %, la magnolia con el 9.3 %, la casuarina con 8.7 % y finalmente el ficus con el 7.8 %. Las demás especies se encuentran en menor porcentaje.

### 3.3.4.3. Ubicación

Para determinar la ubicación del árbol se consideró el espacio físico, es decir si esta sobre una calle o avenida. Otra clasificación que se tomó en cuenta es si se encontraba en el camellón central de la carretera o en las banquetas laterales de la misma.

A continuación se muestra en el cuadro 45 el análisis de la ubicación física dentro del espacio público de la zona 9 capitalina.

Cuadro 45. Ubicación física de árboles identificados.

Ubicación				
Banqueta	Camellón		Calle	Avenida
233	307		319	221

Fuente: elaboración propia, 2017.

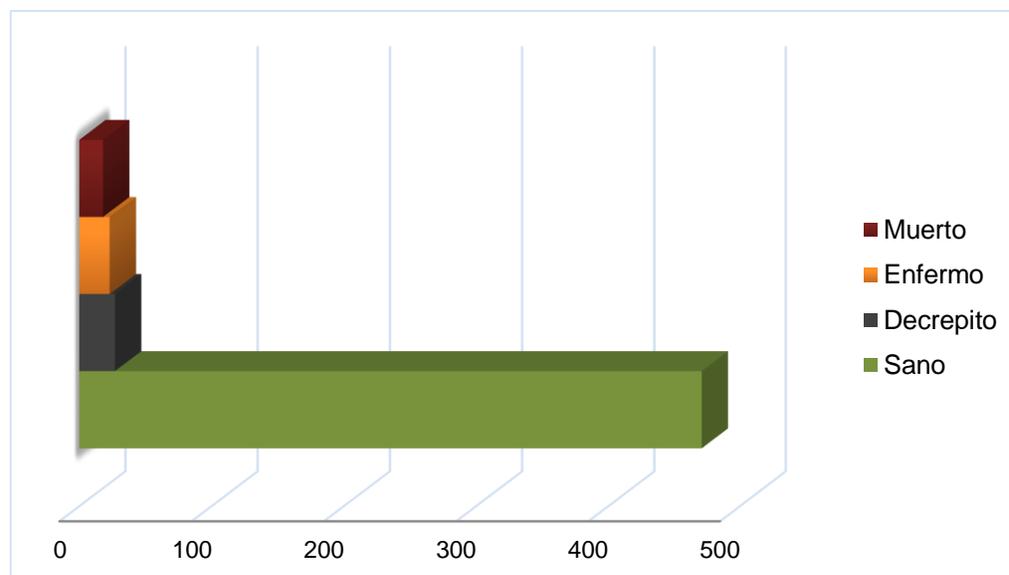
Como se puede apreciar en el cuadro 45 la mayoría de las especies se encuentran dentro de los camellones centrales correspondientes a las calles y avenidas dentro de la zona de estudio con el 57 %.

En cuanto a la ubicación de los árboles en las calles y avenidas la mayoría se encuentra dentro de las calles recorridas de la zona 9 capitalina, el cual corresponde al 59 %.

#### 3.3.4.4. Estado sanitario

Los árboles que se encontraron dentro del área de estudio, presentaban un estado saludable, enfermo, decrepito o muerto.

En la figura 40 se muestra gráficamente el estado de los árboles.



Fuente: elaboración propia, 2017.

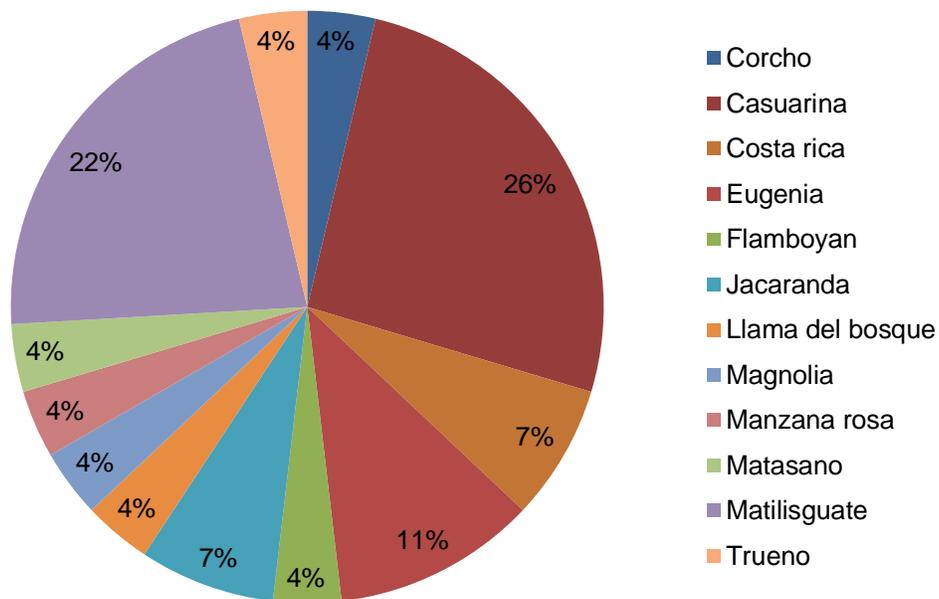
Figura 41. Gráfica del estado sanitario de cada árbol.

La mayoría de los árboles descritos se encuentran sanos mostrando un porcentaje alto del 87.4 %, le sigue los árboles decrepitos la cual se hace notar algunas ramas muertas o

algún daño mecánico, éste lo representa el 5 %, en el caso de árboles enfermos se pudo observar alguna especie de plaga, esta condición abarca el 4.3 %. Por otro lado solo el 3.3 % de los árboles identificados se encontraban sin vida.

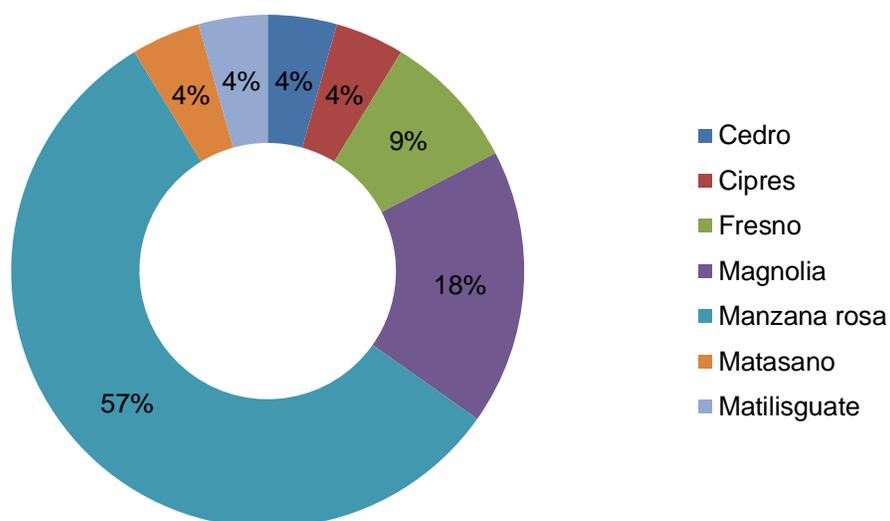
### A. Especies que presentan un estado sanitario negativo

La cantidad de árboles que presentan un estado sanitario negativo es reducida, pues tan solo 68 árboles (12.6 %) encontrados de diferente especie sufren de algún daño, enfermedad o se encuentran sin vida. La especie que presenta más deterioro con un 26 % es la Casuarina (*Casuarina equisetifolia*) (figura 41). La especie que es más susceptible dentro de la dinámica urbana es la Manzana Rosa (*Syzygium jambos*), pues éstas presentan enfermedades generalmente relacionadas con la contaminación atmosférica; el smog ocasionado por la alta concentración vehicular ha afectado en su mayoría a esta especie (figura 42). Finalmente 18 árboles dentro del perímetro recorrido están sin vida, siendo la Jacaranda (*Jacaranda mimosifolia*) la especie con más especímenes muertos (figura 43).



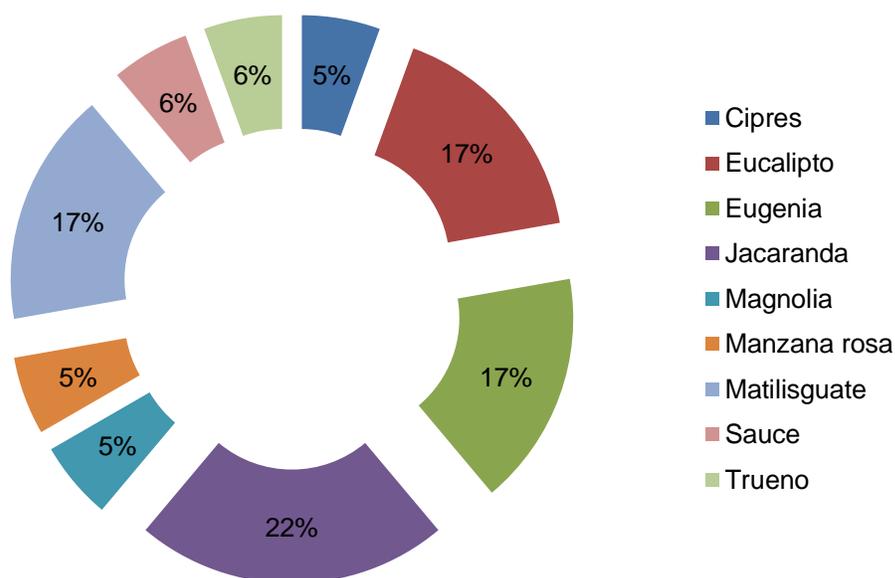
Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 42. Gráfica del estado sanitario decrépito por especie.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 43. Gráfica del estado sanitario enfermo por especie.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 44. Gráfica del estado sanitario muerto por especie.

#### 3.3.4.5. Condiciones físicas

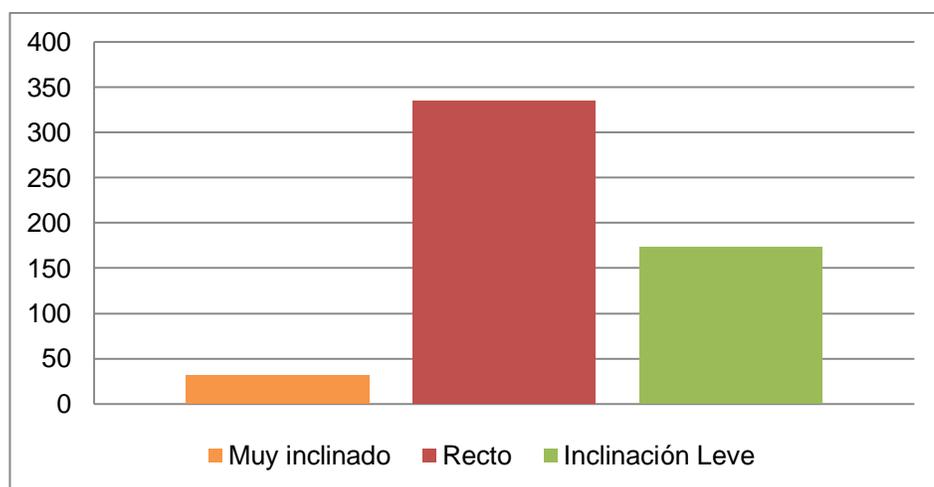
Los árboles analizados dentro del área recorrida presentan condiciones estables en su mayoría, para analizar este aspecto se tomó en cuenta dos criterios para especificar las

condiciones de los árboles, las cuales son la inclinación y ahuecamiento que presentaba cada árbol.

Es de suma importancia determinar las condiciones físicas del arbolado urbano para evitar cualquier percance sobre la red vial y/o peatonal así también disminuir el nivel de riesgo que presenta cada árbol en mal estado.

En la figura 44 se puede observar gráficamente el nivel de inclinación que presentaban los árboles descritos.

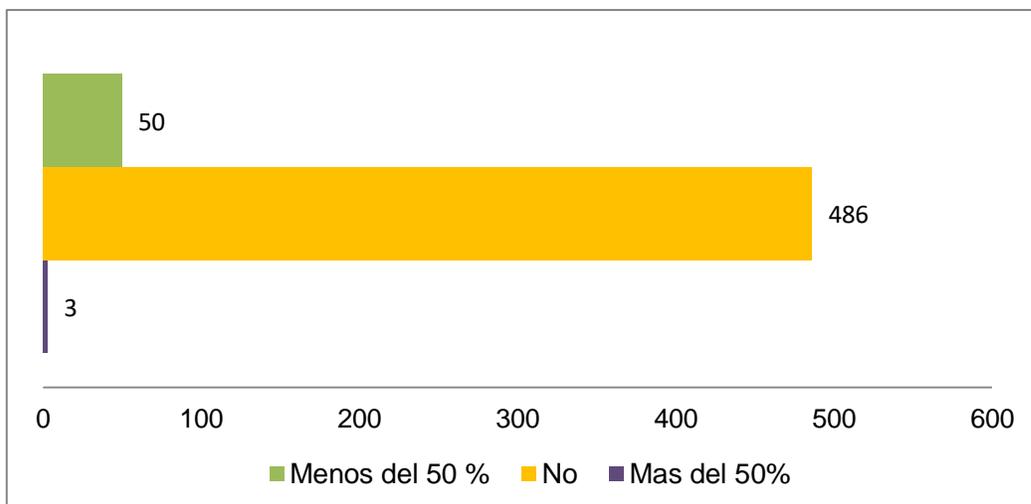
Por otro lado la figura 45 hace mención a los árboles a los cuales se les pudo observar algún tipo de ahuecamiento.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 45. Gráfica de la inclinación de cada árbol identificado.

Como se puede observar en la figura 44 la mayoría de los árboles no presentan inclinación alguna (62.15 %). El 32.10 % de los árboles presenta una leve inclinación y el 5.75 % tiene una inclinación muy marcada, siendo la jacaranda la que presenta más espécimen en este estado.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 46. Gráfica del ahuecamiento de cada árbol identificado.

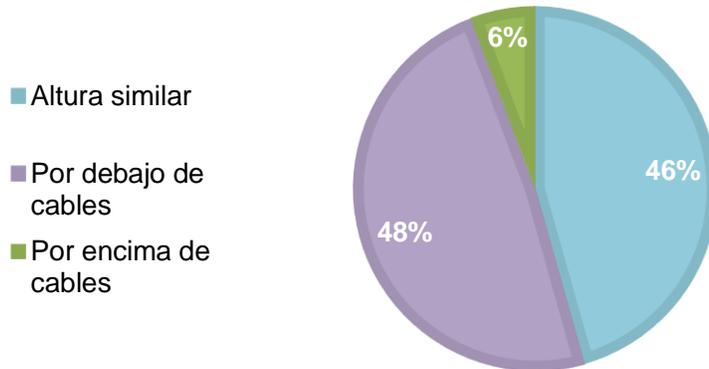
La figura 45 hace mención al porcentaje de árboles con alguna grieta, perforación o vacío en el árbol. El 90.2 % de los árboles descritos no presenta esta condición, por otro lado el 9.3 % presenta menos del 50 % de ahuecamiento y el 0.6 % lo constituye más del 50 % de ahuecamiento.

### 3.3.4.6. Daños a infraestructura urbana

Es común encontrar dentro de la ciudad árboles que causen daños en la infraestructura de la vía pública. Si la especie se caracteriza por una raíz fuerte y agresiva generará daños en el asfalto y servicios públicos (EMPAGUA), por otra parte si son árboles frondosos provocarían daños en los cables de redes domiciliarias e iluminación dentro del área urbana.

#### A. Intersección área de los árboles

En la figura 46 se pueden observar el porcentaje de los árboles que presentaban intersección con cables de redes domiciliarias.

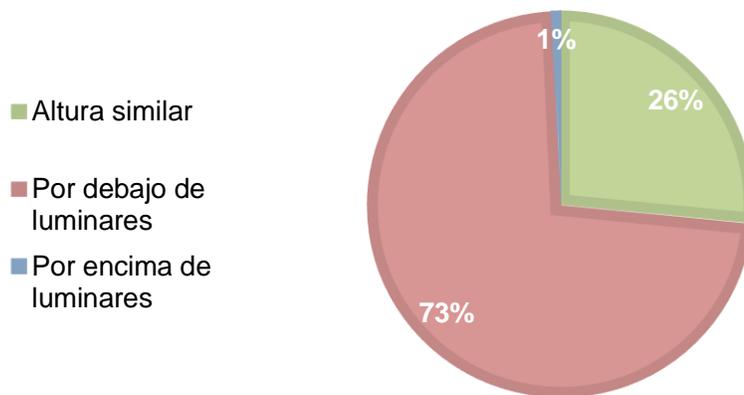


Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 47. Gráfica del porcentaje de árboles que intersectan con cables.

Como se puede ver en la figura 46 el 46 % de los árboles tienen la misma altura que los cables, el 48 % está por debajo de estos y tan solo el 6% está encima de los cables.

Por otro lado la figura 47 muestra el porcentaje de árboles que intersectan con los luminaires de la ciudad.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 48. Gráfica del porcentaje de árboles que intersectan con luminaires.

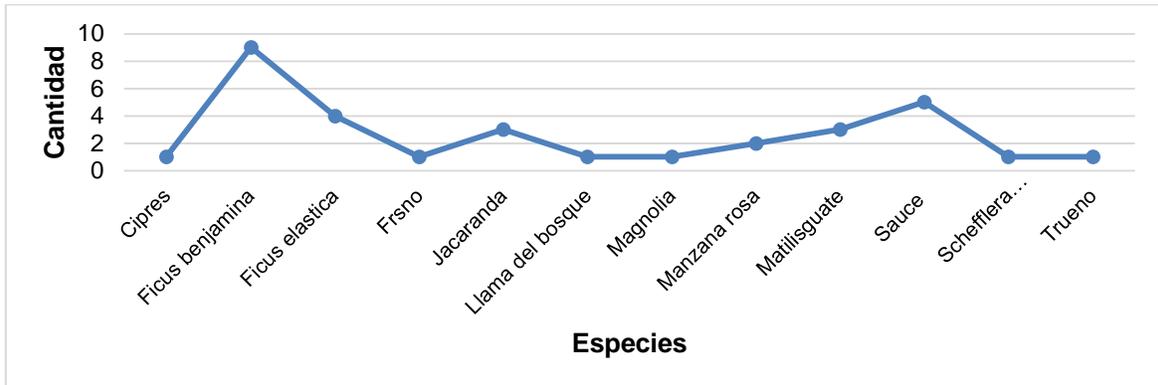
La figura 47 especifica que tan solo el 1 % de los árboles está por encima de los luminaires, el 26 % posee la misma altura y el 73 % está por debajo de los mismos.

Como se puede observar la mayoría de árboles se les da mantenimiento, sin embargo el ente que realiza las podas y talas ejecuta su función mediante quejas de los vecinos y no con un programa estructurado y sistematizado de planificación.

## B. Daños generados por raíces

El 47 % de los árboles identificados no provocan ningún daño, el 46 % genera un leve deterioro y el 6.7 % perjudica considerablemente a la infraestructura de la vía pública.

En la figura 48 se muestra las especies que generan severos daños a la red vial.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 49. Gráfica de las especies que generan daños a la infraestructura urbana.

Como se puede apreciar en la figura 48 la especie que provoca un severo daño en la infraestructura urbana a consecuencia de sus raíces es el *Ficus benjamina*, esto es porque sus raíces son gruesas y amplias.

Actualmente para EMPAGUA (Empresa Municipal de Agua) es un serio problema el uso de estas especies debido a que las raíces buscan el agua, por lo que rompen las tuberías generando daños significativos, sin mencionar los altos costos que abarca esta problemática.

### **3.3.5. Conclusiones**

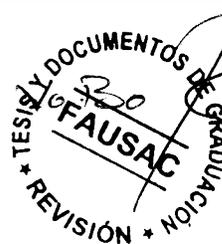
1. No se logró cuantificar el total de arboleado urbano de la zona 9 capitalina, sin embargo se pudo recorrer la zona de forma parcial, identificando y describiendo la cantidad de 1,020 árboles. Solamente se analizaron 540 especímenes.
2. La mayoría de los arboles están en excelentes condiciones, a pesar del riesgo a deteriorarse debido encontrarse dentro de la dinámica urbana. En cuanto las características cuantitativas; la altura y el diámetro a la altura del pecho (DAP) de los árboles varían según las condiciones de espacio.
3. La ubicación física de los árboles dentro de la zona 9 capitalina se reduce a banquetas y camellones centrales correspondientes a las calles y avenidas de la zona, debido a que ésta no posee territorio exclusivo en el cual se pueda utilizar para reforestar.
4. La especie con mayor cantidad de árboles dentro del perímetro recorrido es el Matilisqueate, Jacaranda y Magnolia, las cuales se adaptan fácilmente a condiciones relacionadas con la dinámica urbana.

### **3.3.6. Recomendaciones**

1. Realizar un estudio de calidad de aire en sectores de alto tránsito vehicular.
2. Realizar un estudio de captura de carbono específico de las especies encontradas.
3. Reemplazar árboles que presenten algún tipo de daño, enfermedad o supresión.

### 3.4. BIBLIOGRAFÍA

1. Benegas, L. 2009. Criterios para priorizar áreas de investigación en cuencas hidrográficas: la experiencia del Programa Focuencias II. Costa Rica, CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza).
2. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Guatemala), PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Guatemala). 2005. Plan de manejo integrado microcuenca del río Las Escobas, Izabal, Guatemala: Proyecto "Planificación de la rehabilitación, manejo ambiental y desarrollo costero en Nicaragua, Honduras y Guatemala después del Huracán Mitch". Guatemala. 89 p.
3. Estación Forestal Parque Pereyra Iraola, Argentina. 2015. Censo del arbolado público (diapositivas) (en línea). Buenos Aires, Argentina. 91 diapositivas. Consultado 20 nov. 2017. Disponible en [http://www.maa.gba.gov.ar/2010/SubPED/Agricultura/archivos/Jornada\\_CENSO\\_Arbolado\\_Urbano.pdf](http://www.maa.gba.gov.ar/2010/SubPED/Agricultura/archivos/Jornada_CENSO_Arbolado_Urbano.pdf)
4. Jiménez, F. 2000. Manejo de cuencas hidrográficas. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 35 p.
5. Ministerio de Asuntos Agrarios, Dirección de Bosques y Reforestación, Argentina. 2010. Censo arboleado público (en línea). Buenos Aires, Argentina. Consultado 20 nov. 2017. Disponible en [http://www.maa.gba.gov.ar/2010/SubPED/Agricultura/archivos/Jornada\\_CENSO\\_Arbolado\\_Urbano.pdf](http://www.maa.gba.gov.ar/2010/SubPED/Agricultura/archivos/Jornada_CENSO_Arbolado_Urbano.pdf)
6. Universidad Piloto de Colombia. 2015. La gestión ambiental urbana (en línea). Colombia, Red Temática de Gestión Ambiental Urbana. 14 p. Consultado 8 mar. 2017. Disponible en <http://redcolombianaafa.org/es/redes-tematicas/red-de-gestion-ambiental-urbana>
7. Vargas-Garzón. B. 2010. Cinco árboles que causan daños severos en las ciudades (en línea). Bogotá, Colombia, Secretaría Distrital de Planeación. Consultado 20 nov. 2017. Disponible en <https://www.Dialnet-CincoArbolesUrbanosQueCausanDanosSeverosEnLasCiuda-3646545.pdf>


 Polanco Barrera

### 3.5. ANEXOS

#### 3.5.1. Censo forestal

##### 3.5.1.1. Instrumentos utilizados



Fuente: elaboración propia, 2017.  
Figura 50A. GPS utilizado para georreferenciación.



Fuente: elaboración propia, 2017.  
Figura 51A. Cinta metrica utilizada para medir el DAP.



Fuente: elaboración propia, 2017.  
Figura 52A. Regla utilizada para medir el altura.

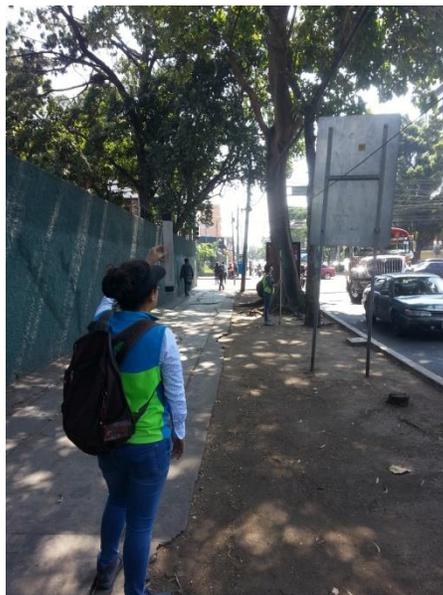


Fuente: elaboración propia, 2017.  
Figura 53A. Guía para descripción de arboleado urbano

### 3.5.1.2. Procedimientos



Fuente: elaboración propia, 2017.  
Figura 54A. Medición de DAP.



Fuente: elaboración propia, 2017.  
Figura 55A. Medición de altura.