



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA E HIDROCLIMÁTICA DE LAS CUENCAS DEL RÍO
OLÍMPICO Y DEL RÍO CANALITOS, GUATEMALA, GUATEMALA**

Mónica María Mejía Maldonado

Asesorado por el Ing. Silvio Rodríguez

Guatemala, julio de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA E HIDROCLIMÁTICA DE LAS CUENCAS DEL RÍO
OLÍMPICO Y DEL RÍO CANALITOS, GUATEMALA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MÓNICA MARÍA MEJÍA MALDONADO

ASESORADO POR EL ING. SILVIO RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, JULIO DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz Gonzáles
SECRETARIA	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
EXAMINADOR	Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
EXAMINADOR	Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA E HIDROCLIMÁTICA DE LAS CUENCAS DEL RÍO OLÍMPICO Y DEL RÍO CANALITOS, GUATEMALA, GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 17 de agosto de 2021.



Mónica María Mejía Maldonado

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala, REF.EPS.DOC.181.04.2024
22 de abril de 2024

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Argueta Hernández:

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria **Mónica María Mejía Maldonado**, CUI 2911 74361 0920 y **Registro Académico 201503520** de la Carrera de Ingeniería Civil, procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA E HIDROCLIMÁTICA DE LAS CUENCAS DEL RÍO OLÍMPICO Y DEL RÍO CANALITOS, GUATEMALA, GUATEMALA.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Civil



c.c. Archivo
SJRS/ra

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala, REF.EPS.DOC.181.04.2024
22 de abril de 2024

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Argueta Hernández:

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria **Mónica María Mejía Maldonado**, CUI 2911 74361 0920 y **Registro Académico 201503520** de la Carrera de Ingeniería Civil, procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA E HIDROCLIMÁTICA DE LAS CUENCAS DEL RÍO OLÍMPICO Y DEL RÍO CANALITOS, GUATEMALA, GUATEMALA.**

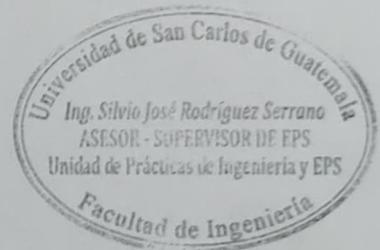
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Civil



c.c. Archivo
SJRS/ra

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala, 08 de mayo de 2024
REF.EPS.D.183.05.2024

Ing. Armando Fuentes Roca
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Fuentes Roca:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA E HIDROCLIMÁTICA DE LAS CUENCAS DEL RÍO OLÍMPICO Y DEL RÍO CANALITOS, GUATEMALA, GUATEMALA**, que fue desarrollado por la estudiante universitaria **Mónica María Mejía Maldonado, CUI 2911 74361 0920 y Registro Académico 201503520**, quien fue debidamente asesorada y supervisada por el Ing. Silvio José Rodríguez Serrano.

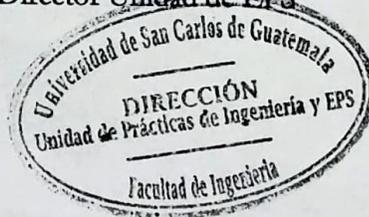
Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación por parte del Asesor-Supervisor, como Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS



OAH/ra



ESCUELA DE
INGENIERÍA CIVIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Guatemala,

02 de mayo de 2024

Ingeniero
Armando Fuentes Roca
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

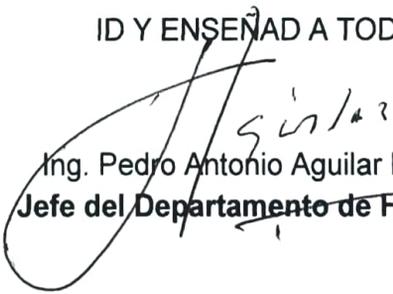
Estimado Ingeniero Fuentes.

Le informo que he revisado el informe final de E.P.S. **CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA E HIDROCLIMÁTICA DE LAS CUENCAS DEL RÍO OLÍMPICO Y DEL RÍO CANALITOS, GUATEMALA, GUATEMALA** desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil Mónica María Mejía Maldonado con CUI 2911743610920 y Registro Académico No. 201503520, quien contó con la asesoría del Ing. Silvio José Rodríguez Serrano.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos planteados doy mi aprobación al mismo, solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Jefe del Departamento de Hidráulica



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
USAC

/mrrm.





ESCUELA DE
INGENIERÍA CIVIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

SIST.LNG.DIRECTOR.20.EIC.2024

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de Área, al trabajo de graduación titulado: **CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA E HIDROCLIMÁTICA DE LAS CUENCAS DEL RÍO OLÍMPICO Y DEL RÍO CANALITOS, GUATEMALA GUATEMALA**, presentado por: **Mónica María Mejía Maldonado**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ingeniero Armando Fuentes Roca
Director
Escuela de Ingeniería Civil

Guatemala, mayo de 2024





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.279.2024

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA E HIDROCLIMÁTICA DE LAS CUENCAS DEL RÍO OLÍMPICO Y DEL RÍO CANALITOS, GUATEMALA GUATEMALA**, presentado por: **Mónica María Mejía Maldonado** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, julio de 2024

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2024 Correlativo: 279 CUI: 2911743610920

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser la fuente de luz e inspiración, por estar siempre en cada paso de mi vida y permitirme alcanzar esta meta, la honra y gloria sean siempre para Él.

Mis padres

Harold Mejía y Lucy de Mejía, por ser ejemplo de esfuerzo y dedicación, por sus sacrificios hechos para darme la oportunidad de alcanzar esta meta. Que esto sea una recompensa hacia todos sus esfuerzos.

Mis hermanos

Jessica y Harold Mejía, por el apoyo incondicional y aconsejarme a lo largo de mi vida, siendo un ejemplo e inspiración.

Mi familia

Mis abuelos, tíos y primos, por brindarme el apoyo, cariño y compañía durante el seguimiento a esta meta a cumplir.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios donde pudo brindarme la oportunidad de aprendizaje y formación profesional, con los estándares éticos y profesionales.

Facultad de Ingeniería

Por otorgarme los catedráticos y experiencia necesaria para convertirme en una profesional de bien.

**Municipalidad de
Guatemala**

Por la oportunidad de realizar este trabajo y al equipo de trabajo que me brindó el apoyo necesario para la culminación de este trabajo de graduación.

Mi asesor

Por ser un guía constante en esta investigación.

Amigos USAC

Por el acompañamiento, apoyo, desvelos, grupo de estudio y cariño durante este proceso. Ana Pinot, Carlos Ruano, Cielo Esquivel, Daniel Jerónimo, Eliette Pérez, Joseline Martínez, Josué Artiga, Otto Calderón, Víctor Gómez y Valery López.

Mis amigos

Por el apoyo incondicional y confianza en mí para cumplir mis sueños: Paula Olivar y Kevin Zuleta.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. MONOGRAFÍA DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA	1
1.1. Reseña histórica.....	1
1.2. Ubicación y localización geográfica de las cuencas	7
1.2.1. Río Canalitos	7
1.2.2. Río Olímpico	9
1.3. Límites y colindancias.....	11
1.3.1. Río Canalitos	11
1.3.2. Río Olímpico	12
1.3.3. Suelo	13
1.4. Recurso hídrico	13
1.5. Aspectos climáticos	14
1.5.1. Actividades económicas	14
1.5.2. Población	15
1.6. Investigación sobre necesidades de servicios básicos en Guatemala.....	15
1.6.1. Descripción de las necesidades	15

2.	FASE 2 DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	17
2.1.	Descripción del proyecto	17
2.2.	Leyes que involucren el estudio hídrico	18
2.3.	Población afectada y demanda	19
2.3.1.	Río Canalitos.....	20
2.3.2.	Río Olímpico.....	21
2.4.	Precipitación de estaciones cercanas a las cuencas	22
2.5.	Cálculos de precipitación	22
2.5.1.	Estimación de datos faltantes.....	22
2.5.2.	Construcción de curva de Intensidad, Frecuencia y Duración (IFD).....	23
2.5.3.	Gráfica de Polígonos de Thiessen para lluvia media en cuencas	26
2.5.3.1.	Cuenca Canalitos	27
2.5.4.	Estudio morfométrico	28
2.5.4.1.	Partes de una cuenca	28
2.5.4.1.1.	Alta.....	29
2.5.4.1.2.	Media	29
2.5.4.1.3.	Baja.....	29
2.5.5.	Morfometría (Parámetros asociados a la forma de la cuenca) río Canalitos y río Olímpico.....	29
2.5.5.1.	Área (A).....	30
2.5.5.2.	Perímetro (P).....	30
2.5.5.3.	Longitud de la cuenca (L).....	30
2.5.5.4.	Ancho de la cuenca (B)	30
2.5.5.5.	Orientación	31
2.5.5.6.	Factor de Forma de Horton (Kf)	31
2.5.5.7.	Coeficiente de compacidad (kc)	31
2.5.5.8.	Relación de elongación (Re)	33

	2.5.5.9.	Índice de alargamiento	33
2.5.6.		Parámetros relativos al Relieve	36
	2.5.6.1.	Altura y elevación	36
	2.5.6.2.	Pendiente.....	36
	2.5.6.3.	Curva hipsométrica.....	37
	2.5.6.4.	Parámetros relativos al relieve cuenca río Olímpico	38
	2.5.6.5.	Parámetros relativos al relieve cuenca río Canalitos.....	39
2.5.7.		Parámetros relativos al perfil	41
	2.5.7.1.	Cota mayor de cauce (CMc).....	41
	2.5.7.2.	Cota menor de cauce (Cmc).....	41
	2.5.7.3.	Pendiente promedio del cauce (S0)....	41
	2.5.7.4.	Longitud del cauce principal (Lc)	42
	2.5.7.5.	Longitud del cauce hasta la divisoria (Lf)	42
	2.5.7.6.	Parámetros relativos al perfil	42
	2.5.7.7.	Parámetros relativos al perfil cuenca río Olímpico	42
	2.5.7.8.	Parámetros Relativos al Perfil cuenca río Canalitos.....	43
2.5.8.		Parámetros relativos al drenaje	44
	2.5.8.1.	Orden de los cauces.....	45
2.5.9.		Caracterización hidroclimática.....	46
	2.5.9.1.	Precipitación	46
	2.5.9.2.	Temperatura	47
	2.5.9.3.	Evapotranspiración	47
	2.5.9.4.	Precipitación de las cuencas	47
2.5.10.		Mapa morfométrico.....	55

2.5.10.1.	Mapa altitud.....	55
2.5.10.2.	Mapa Pendiente	58
2.5.10.3.	Mapa orientación.....	60
2.5.11.	Gráficas hidroclimáticas de la cuenca río Canalitos y río Olímpico	61
2.5.12.	Mapas con representación del polígono de Thiessen.....	63
3.	IMPORTANCIA DE ESTUDIO DE CUENCAS	67
	CONCLUSIONES.....	69
	RECOMENDACIONES	73
	REFERENCIAS	75
	ANEXOS.....	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Mapas microcuencas ciudad de Guatemala	2
Figura 2.	Mapa de delimitación cuenca Canalitos.....	9
Figura 3.	Mapa de delimitación cuenca río Olímpico zona 5	11
Figura 4.	Mapa de distribución de zonas, Guatemala.....	12
Figura 5.	Usuarios y consumo en la zona 5 en el período 2008 – 2011	21
Figura 6.	Gráfica IDF río Olímpico	24
Figura 7.	Gráfica IDF río Canalitos	25
Figura 8.	Gráfica porcentaje de área por estación	27
Figura 9.	Partes de una cuenca.....	28
Figura 10.	Clasificación de los ríos de acuerdo con la curva hipsométrica... ..	38
Figura 11.	Curva Hipsométrica río Olímpico	39
Figura 12.	Curva Hipsométrica cuenca río Canalitos.....	40
Figura 13.	Perfil río Olímpico	43
Figura 14.	Perfil cuenca río Canalitos	44
Figura 15.	Precipitación cuenca río Olímpico	48
Figura 16.	Precipitación cuenca río Canalitos.....	49
Figura 17.	Temperatura Media cuenca río Olímpico.....	51
Figura 18.	Temperatura Media cuenca río Canalitos	52
Figura 19.	Evapotranspiración cuenca río Olímpico (Thornthwaite)	53
Figura 20.	Evapotranspiración cuenca río Canalitos (Según Thornthwaite)	54
Figura 21.	Mapa Altitud cuenca río Olímpico	56
Figura 22.	Mapa Altitud cuenca río Canalitos	57

Figura 23.	Mapa Pendiente cuenca río Olímpico.....	58
Figura 24.	Mapa de Pendiente cuenca río Canalitos.....	59
Figura 25.	Mapa orientación cuenca río Olímpico	60
Figura 26.	Mapa orientación cuenca río Canalitos	61
Figura 27.	Climograma cuenca río Olímpico	62
Figura 28.	Climograma cuenca río Canalitos.....	62
Figura 29.	Mapa polígono Thiessen	64

TABLAS

Tabla 1.	Tabla de intensidad de lluvia para distintos periodos de retorno	26
Tabla 2.	Lluvia media para cuenca Canalitos.....	27
Tabla 3.	Características de la cuenca de acuerdo con el valor Kc.....	32
Tabla 4.	Parámetros para cuenca río Olímpico	33
Tabla 5.	Parámetros forma cuenca río Olímpico	34
Tabla 6.	Parámetros para cuenca río Canalitos	34
Tabla 7.	Parámetros forma para cuenca río Canalitos	35
Tabla 8.	Clasificación de las cuencas de acuerdo con la pendiente	37
Tabla 9.	Parámetros relativos al relieve cuenca río Olímpico	39
Tabla 10.	Parámetros relativos al relieve cuenca río Canalitos.....	40
Tabla 11.	Parámetro relativo al perfil cuenca río Olímpico	43
Tabla 12.	Parámetros Relativos al Perfil cuenca río Canalitos.....	44
Tabla 13.	Orden de los Causes río Olímpico	45
Tabla 14.	Orden de los Causes río Olímpico	45

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Hec	Hectáreas
m	Metros
Mm	Milímetros
%	Porcentaje

GLOSARIO

EMPAGUA	Empresa Municipal de Agua.
ETP	Evapotranspiración Potencial.
IDF	Curva Intensidad, Frecuencia y Duración.
IGN	Instituto Geográfico Nacional.
INDE	Instituto Nacional de Electrificación.
INFOM	Instituto de Fomento Municipal.
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
MAGA	Ministerio de Agricultura.
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
SIG	Sistema de Información Geográfica.

RESUMEN

Debido al crecimiento poblacional en la Ciudad de Guatemala específicamente en la zona 5 y zona 24, se ha incrementado la necesidad del uso del recurso hídrico. Para ello se debe de realizar un estudio hídrico para indicar si la morfometría de las cuencas son aptas para elaborar los diferentes proyectos implementados por la Municipalidad de Guatemala.

El estudio morfométrico e hidroclimático de la cuenca del río Olímpico y río Canalitos generará la información de un sistema de base de datos modelados, que comprende los módulos de hidrología y análisis climático de agua, representados de manera gráfica y tabulación de información; y concluir si las características de las cuencas, pueden dar inicio a proyectos dentro de la Municipalidad.

Se utilizará la investigación para conocer el estado y actividades alrededor de las cuencas del río Canalitos y río Olímpico, posteriormente por medio de tabulación de información obtenida en el INSIVUMEH se armarán los mapas y gráficos necesarios para representar el estado de las cuencas.

La municipalidad de Guatemala en cumplimiento de su labor como ente administrador del municipio de Guatemala, necesita la información de las cuencas para proponer proyectos y actividades que logren la participación de los habitantes y que conozcan la problemática e importancia del buen manejo de las cuencas.

La inexistencia una ley que regule el uso del recurso hídrico hace que ambas leyes se contradigan. Las pocas leyes que mencionan sobre el recurso hídrico indican que el acceso al agua es un derecho universal y el aprovechamiento de este es público. Debido a la falta de claridad de estas leyes en cuanto el derecho al agua ocasiona un desorden, aprovechamiento y/o explotación inadecuada del recurso hídrico.

En el año 2016 se emitió el Acuerdo Ministerial 335 – 2016, el cual indica promover la gestión integrada de cuencas y llegar a obtener un control sobre el recurso hídrico en las cuencas hidrográficas de la República de Guatemala. Así mismo se debe de participar voluntariamente a proteger, conservar y preservar los recursos naturales de la cuenca; promover y ejecutar proyectos orientados a la gestión integrada de las cuencas hidrográficas.

Hasta el día de hoy, el Estado de Guatemala ha mostrado acciones burocráticas en cuanto al recurso hídrico, y no ha cumplido con las aprobaciones de leyes de aguas, sin embargo; han existido intentos de creación de leyes de aprovechamiento del recurso hídrico, y han sido desaprobadadas.

En el país de Guatemala existen 3 estudios de las microcuencas a escala 1:50000, generados por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), Ministerio de Agricultura (MAGA) en 2001 y Ministerio de Ambiente de Recursos Naturales (MARN). En el año 2020 se realizó el estudio de morfometría en las microcuencas en la ciudad capital, realizado como prácticas finales para Municipalidad de Guatemala, en la Dirección de Medio Ambiente (DMA).

OBJETIVOS

General

Caracterizar morfométrica e hidro climáticamente la cuenca del río Olimpo y del río Canalitos en base de datos históricos de precipitación y población, utilizando la herramienta de Sistema de Información Geográfica.

Específicos

1. Determinar aspectos morfométricos de las cuencas río Olimpo y río Canalitos por medio de Sistema de Información Geográfica (SIG).
2. Crear una modelación hidro climática con base a los registros históricos de las estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio.
3. Mostrar los resultados de modelación y características morfométricas en mapas realizados en SIG.

INTRODUCCIÓN

La falta de leyes, en tema del agua, en Guatemala, ha creado un descontrol del uso de esta, ya que personas individuales, industrias, entre otros, contaminan el recurso hídrico y no tienen repercusión.

Por el otro lado, no existen estudios recientes sobre las cuencas en Guatemala, y esto ocasiona una falta de inicio de proyectos e información sobre el manejo adecuado de cuencas hidrográficas.

La cuenca río Canalitos es el sistema de agua potable de Santa Luisa. Debido a una falta de información de un sistema de base de datos y modelados que comprenda los módulos de hidrología y análisis climático de agua en las cuencas del río Canalitos y del río Olímpico, impide que existan proyectos para el mejoramiento del sistema hídrico en el área de zona 24 y zona 5, respectivamente.

La protección de los recursos naturales cercanos a una cuenca es esencial para la preservación de estos y mantener la salud y bienestar de los seres vivos. El estudio de una cuenca establece lineamientos y brinda una base de información necesaria para la ejecución de proyectos y conocer el uso y disponibilidad en proyectos.

Se llevará a cabo en este trabajo el estudio morfométrico e hidroclimático de las cuencas del río Canalitos y río Olímpico por medio de la representación gráfica de mapas, y la observación de los puntos estratégicos.

La presente investigación surge con la necesidad de generar estudios morfométricos e hidrológicos para la cuenca del río Canalitos y río Olímpico, en las cuales esta información es casi nula.

A través del estudio de parámetros e índices morfométricos es posible interpretar la dinámica geomorfológica y la respuesta hidrológica de una cuenca hidrográfica. Según Strahler (1964) la morfometría es la medida de las propiedades geométricas de la superficie sólida de un sistema de erosión fluvial. La importancia de dicho análisis radica en que permite comprender los elementos básicos y definir el grado de evolución de dicho sistema y por ende el estado erosivo en el que se encuentra (Senciales Gonzalez, 1999).

Para la utilidad la evaluación de parámetros e índices morfométricos a partir de productos de mayor escala será posible evaluar los cambios en los valores obtenidos y como repercuten en la peligrosidad para generar crecidas según las diferentes escalas de trabajo. El conocimiento del comportamiento hidrológico de las cuencas ante la ocurrencia de eventos extremos de precipitación constituye una herramienta para la gestión del riesgo, en concordancia con los Objetivos para el Desarrollo Sostenible (United Nations General Assembly, 2015).

Una cuenca hidrográfica es un drenaje natural que se abastece por medio de los cuerpos hídricos existentes y de la lluvia. Es necesaria ya que proporciona agua potable para los seres humanos y la vida silvestre, así mismo preservan el hábitat natural de plantas y animales. El estudio de las cuencas nos da información necesaria para conocer el uso y disponibilidad para proyectos y brindar procedimientos para protección y preservación de esta.

1. MONOGRAFÍA DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA

1.1. Reseña histórica

La Ciudad de Guatemala está localizada en el Llano de la Virgen o de la Ermita, sitio que desde 1530 también era conocido como valle de Las Vacas. El municipio de Guatemala se localiza en la región metropolitana de la República de Guatemala. Es la cabecera departamental y que también es la ciudad capital del país. Tiene una extensión territorial de 228 km² aproximadamente.

El municipio de Guatemala limita al norte con Chinautla y San Pedro Ayampuc; al sur con Santa Catarina Pinula y San Miguel Petapa; al este con Palencia y al oeste con Mixco, todos municipios del departamento de Guatemala.

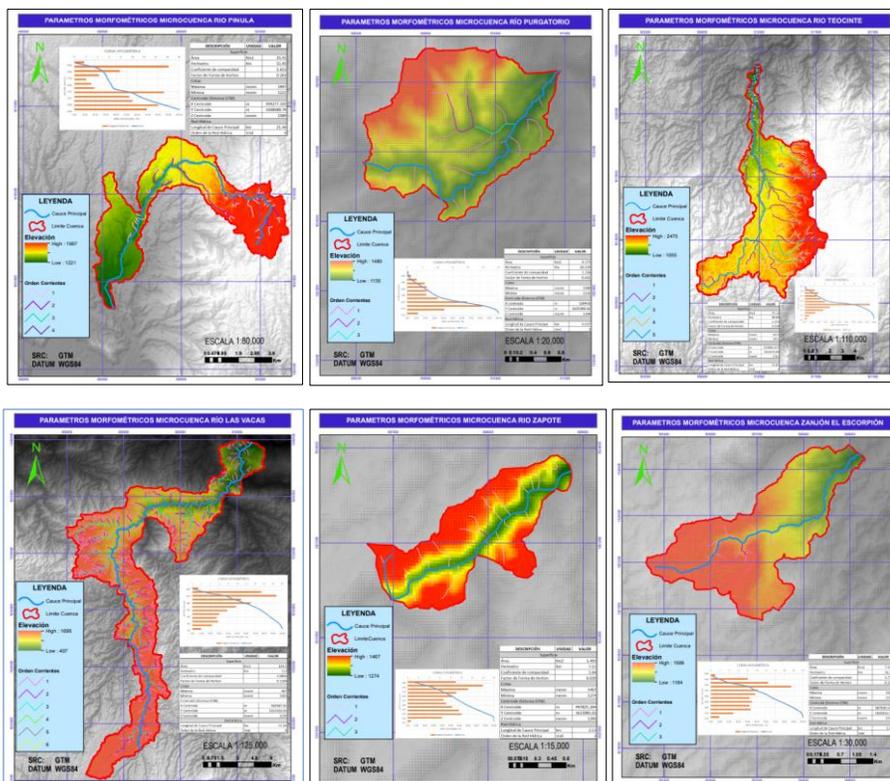
Guatemala es la urbe más grande de Centroamérica desde su fundación, ya que fue el centro de la Capitanía General de Guatemala, que abarcó desde Chiapas y Soconusco hasta Costa Rica (Municipalidad de Guatemala, s.f., párr. 1-3).

El municipio es recorrido por 28 ríos, 1 riachuelo y 6 quebradas. Entre los ríos se puede mencionar el Villalobos, Las Vacas, Acatán y el Naranjo.

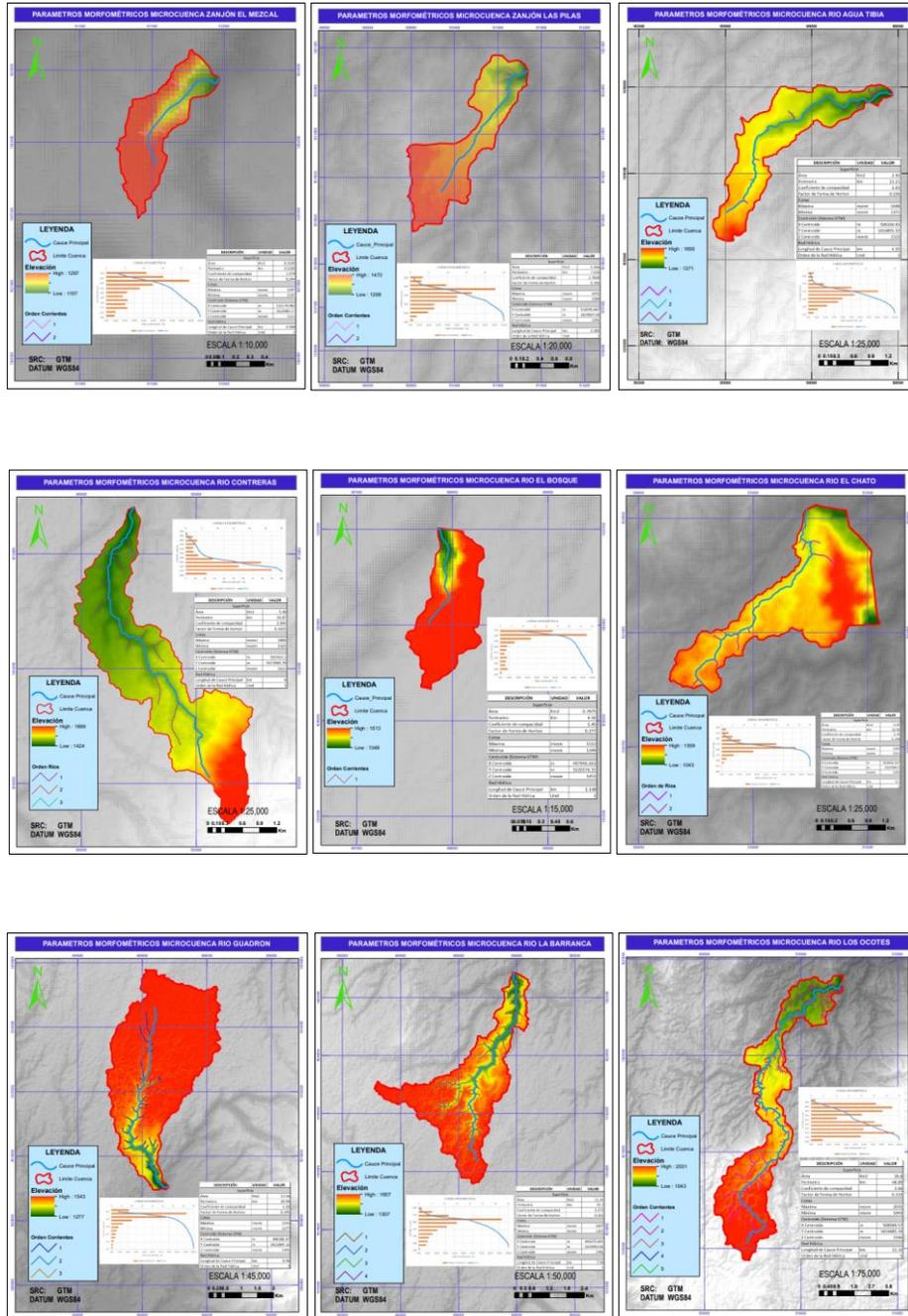
En el año 2020, se realizó el estudio morfométrico de las microcuencas de la Ciudad Capital, a raíz del estudio nace la necesidad de realizar el estudio morfométrico e hidroclimático de dos cuencas para zonas 24 y zona 5. Se define como microcuenca a las cuencas cuya área de drenaje es menor a 500 km² (Aprende Guatemala, 2017, párr. 1-2).

Figura 1.

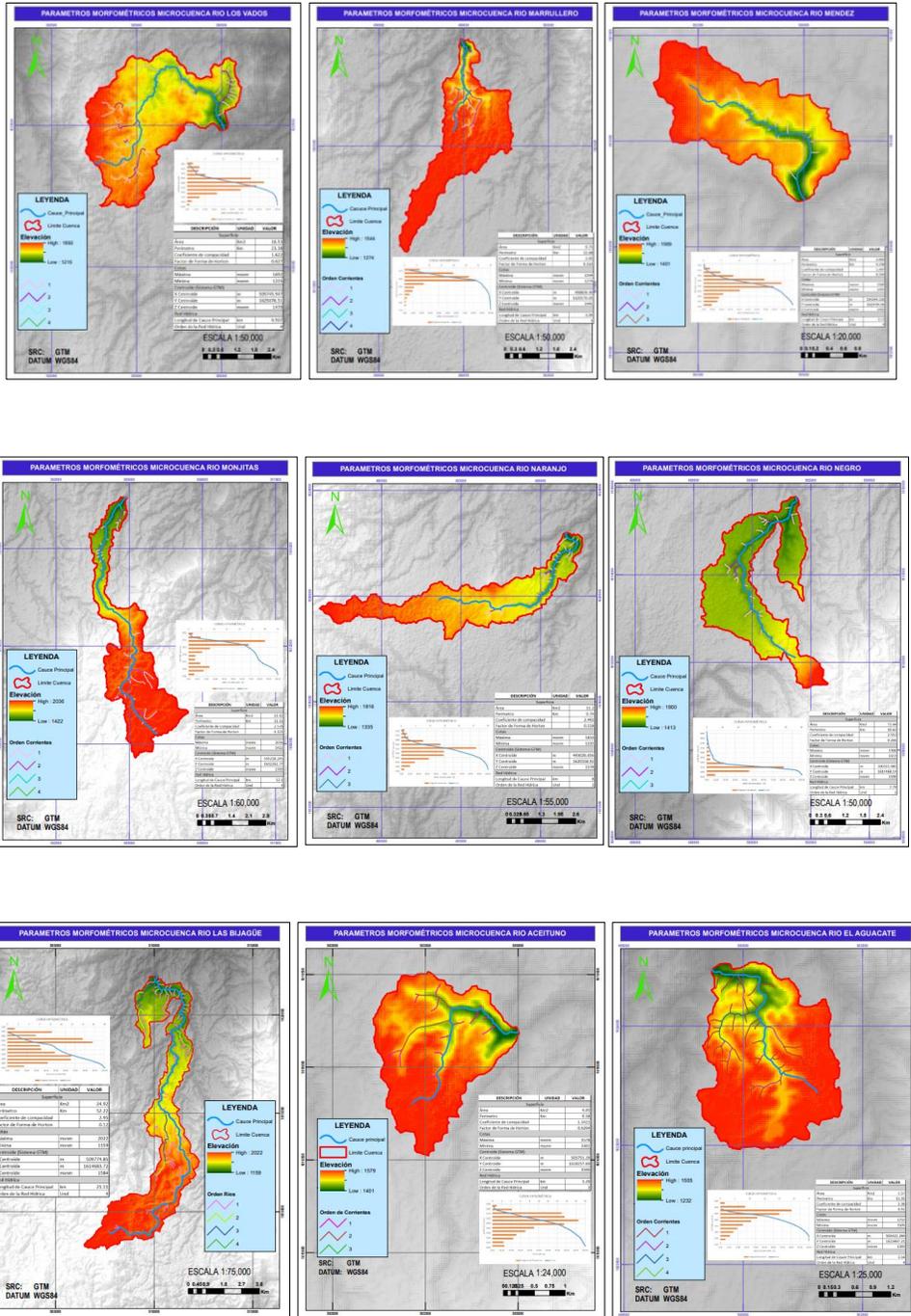
Mapas microcuencas ciudad de Guatemala



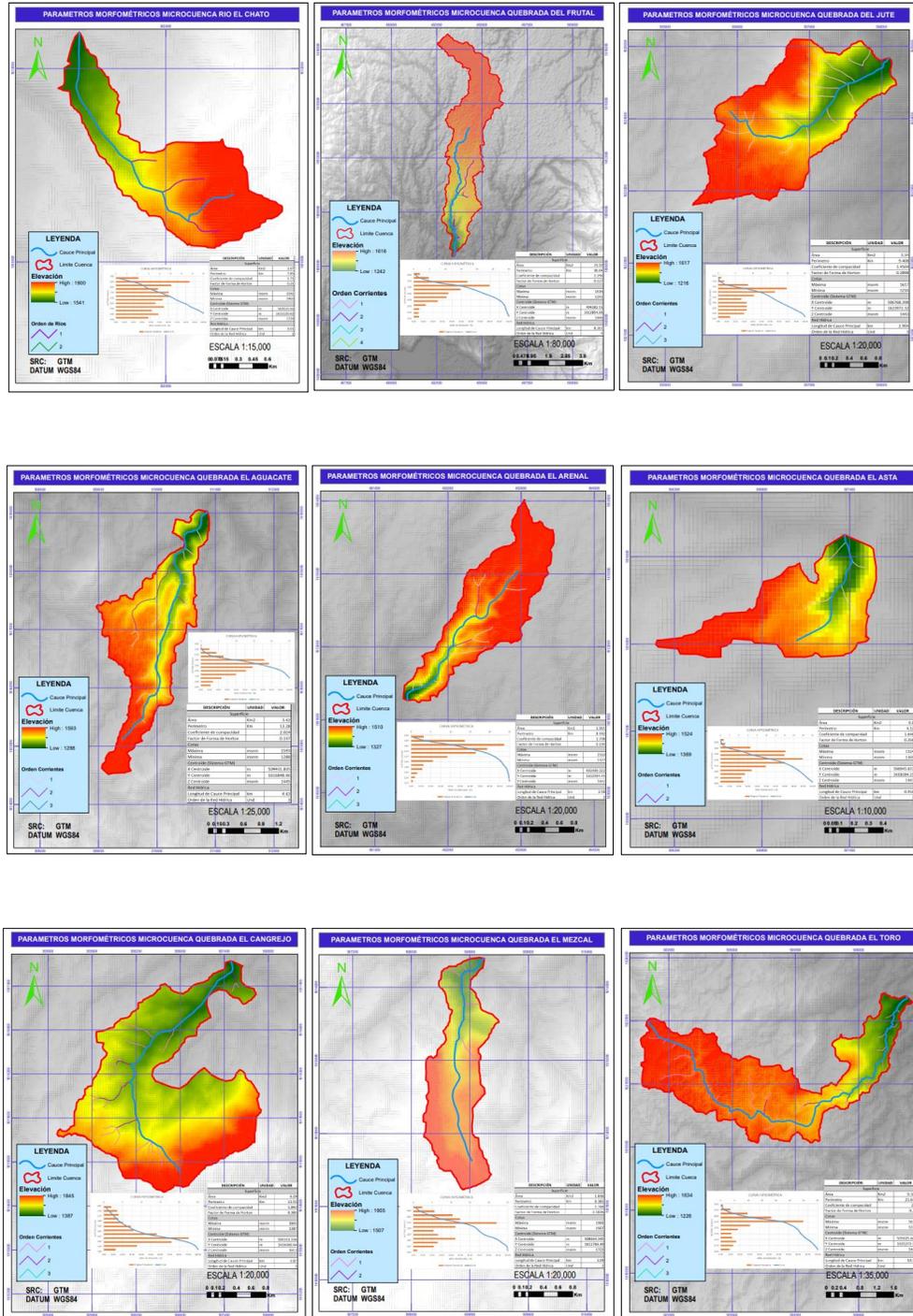
Continuación Figura 1.



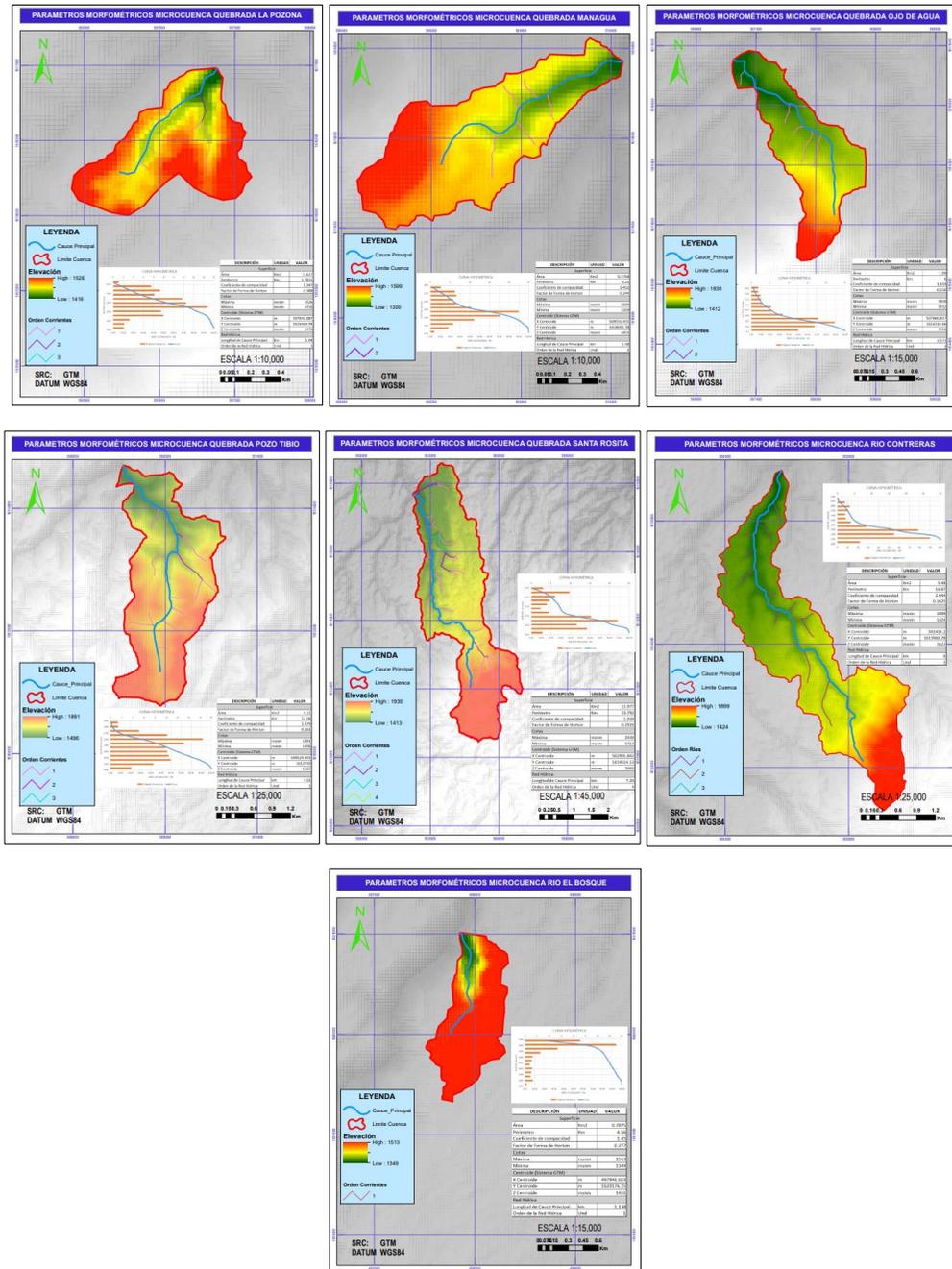
Continuación Figura 1.



Continuación Figura 1.



Continuación Figura 1.



Nota. La figura muestra todas las cuencas registradas en toda la ciudad de Guatemala. Elaboración propia, realizado con QGIS.

1.2. Ubicación y localización geográfica de las cuencas

Las cuencas se encuentran en una ubicación cercana, que abarca la zona 24 y zona 5 de la Ciudad capital de Guatemala.

1.2.1. Río Canalitos

La zona 24 de la ciudad de Guatemala es una de las 25 zonas en las que se divide la ciudad de Guatemala, de acuerdo al establecimiento de las mismas durante el gobierno de Jacobo Árbenz en 1952. La zona 24 abarca los ocho cantones de la aldea Canalitos (Lara, 2012).

Canalitos está ubicado a una distancia efectiva de 10 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala. Es un pueblo que está integrado por 8 comunidades denominadas cantones, los cuales son: Los encuentros, El Jaguey, Central, El Porvenir, Las Pilas, Las Delicias, Las Huertas y Lourdes.

Con base a la distancia se establece que se encuentra a 25 minutos del Centro de la Ciudad. Pero en realidad se requiere más tiempo para realizar dicho recorrido, por causas tales como tráfico vehicular, no se disponen de rutas alternas, transporte colectivo eficiente, carretera estrecha donde es una sola calle de doble vía con pendiente muy pronunciada en mal estado.

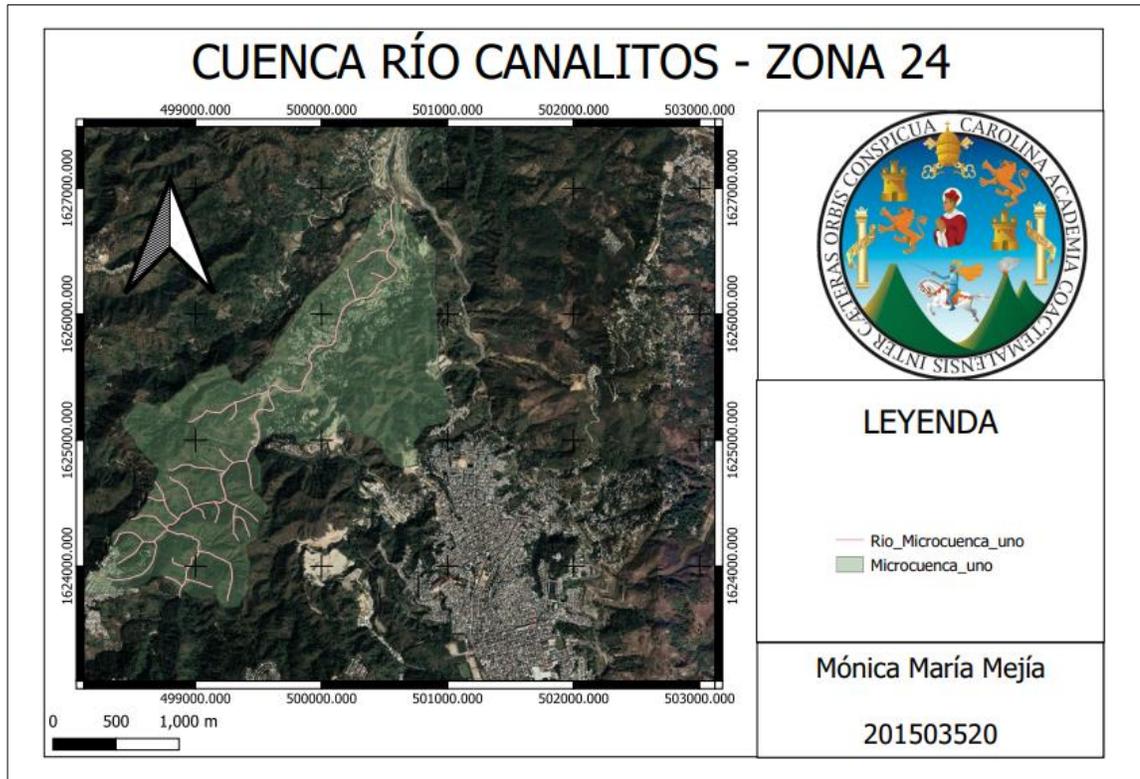
La precipitación pluvial máxima es de 875.6 mm anuales de junio y septiembre, de julio a octubre la media es 242.5 mm y 102.5 mm en noviembre (Garzaro, 2014, párr. 1-3).

“La comunidad no cuenta con el servicio de drenajes y para ello utilizan pozos de absorción. Tiene un área de 42.34 caballerías y una población de 20,700 habitantes” (INE, 2018, párr. 1).

- LATITUD: Norte 14° 37' 29”
- LONGITUD: Oeste 90° 26' 58”

Figura 2.

Mapa de delimitación cuenca Canalitos



Nota. Cuenta 1 en estudio. Elaboración propia, realizado con QGIS.

1.2.2. Río Olímpico

En Guatemala, el proceso de urbanización se aceleró debido a los terremotos de 1917 y 1918, ya que desde entonces se consolidó la creación de la agrupación de casas en bloques llamados colonias, dejando atrás las expresiones de barrio y cantón con las que anteriormente se denominaban.

Según la Municipalidad de Guatemala, la primera colonia que existió fue bautizada con el nombre de Concordia y se ubicaba en la zona 5, esto durante el gobierno de Lázaro Chacón, en la actualidad esta colonia es llamada 25 de junio en honor al magisterio nacional.

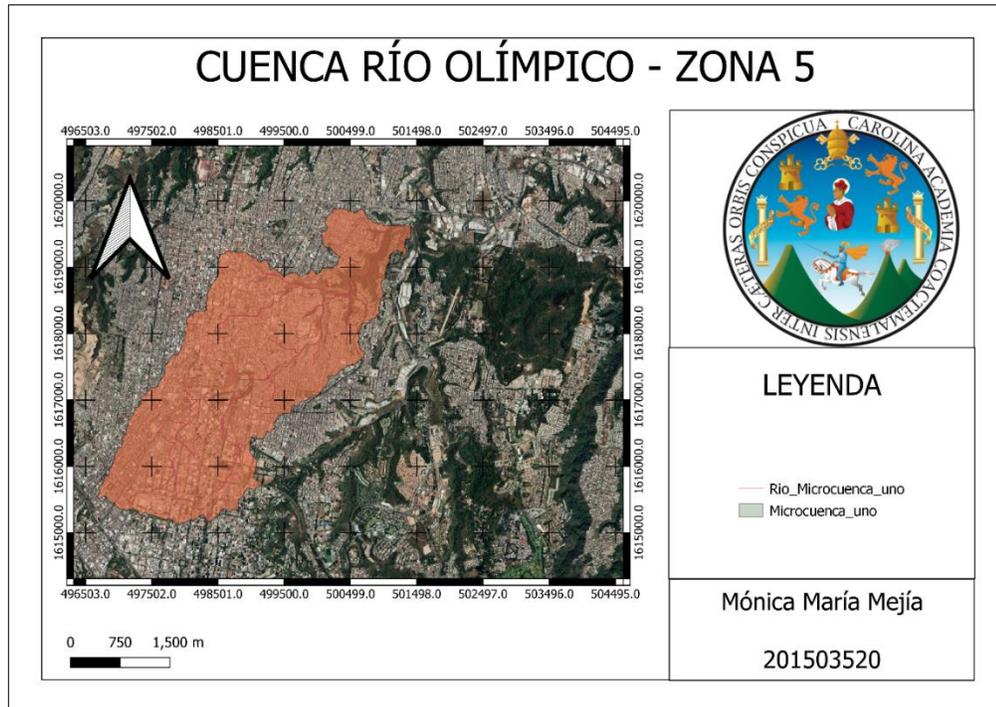
A la creación de esa colonia le siguieron la formación de otras como El Gallito, Gerona, La Recolección, Elena, y La Palmita, entre otras (Mata, 2020, párr. 1-3).

La Zona 5 de la ciudad de Guatemala es una de las 25 zonas en las que se divide la ciudad de Guatemala, de acuerdo al establecimiento de las mismas durante el gobierno de Jacobo Árbenz en 1952. La zona 5 abarca desde la 12 avenida a La Chácara y de la 21 calle al Campo de Marte (Lara, 2010).

Las zonas se aprobaron en aquel año con base en los estudios presentados por la Dirección de Planificación de la Municipalidad de Guatemala, relacionados con la zonificación de la ciudad.

Figura 3.

Mapa de delimitación cuenca río Olímpico zona 5



Nota. Cuenta 2 en estudio. Elaboración propia, realizado con QGIS.

1.3. Límites y colindancias

Los límites y colindancias del proyecto indican el área que se puede abarcar para los proyectos y objeto de estudio.

1.3.1. Río Canalitos

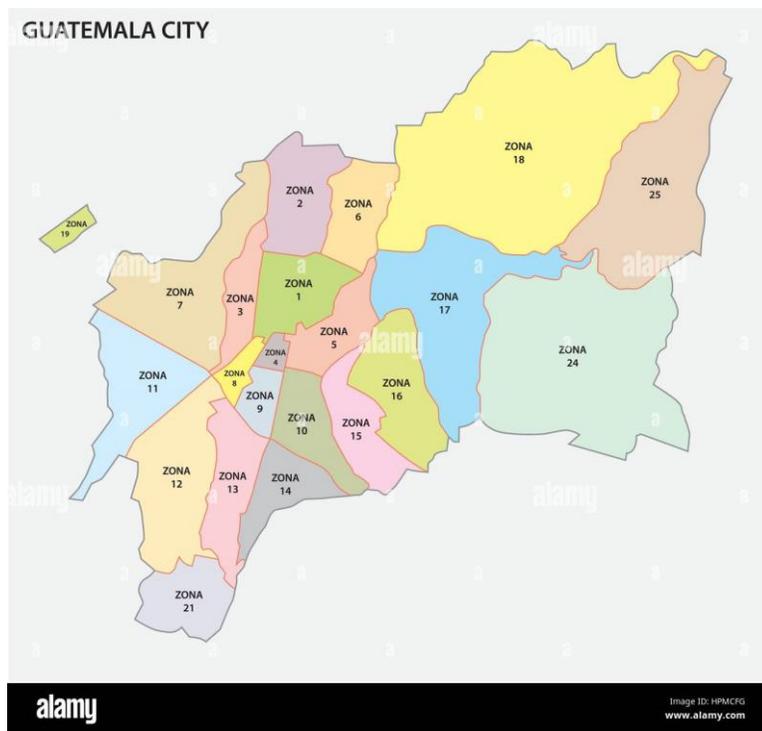
Río Canalitos pertenece a la zona 24 de la Ciudad de Guatemala, la zona colinda con las zonas 1, 6, 17, 16, 15, 19 y zona 4; como se observa en la Figura 3.

1.3.2. Río Olímpico

Río Olímpico pertenece a la zona 5 de la Ciudad de Guatemala, la zona colinda con las zonas 16, 17 y zona 25; como se observa en la Figura 3.

Figura 4.

Mapa de distribución de zonas, Guatemala



Nota. Distribución realizada por el Ing. Batres Montufar. Obtenido de R. Lesniewski (s.f.). *Mapa Político Administrativo de la capital de Guatemala Ciudad de Guatemala.* (<https://www.alamy.es/foto-mapa-politico-administrativo-de-la-capital-de-guatemala-ciudad-de-guatemala-eps-134443892.html>), consultado el 15 de mayo de 2022. De dominio público.

1.3.3. Suelo

La Ciudad de Guatemala presenta los diferentes tipos de suelos:

- Arena y grava
- Caliza
- Cuarzo
- Diatomita
- Dolomita
- Mármol
- Obsidiana
- Perlita
- Pómez
- Turmalina

1.4. Recurso hídrico

Por su orografía, el país se divide en tres vertientes de escurrimiento superficial: la del Pacífico, la del Caribe, y la del Golfo de México. La riqueza hídrica del país incluye: siete lagos, 19 lagunas costeras, 49 lagunas, 109 lagunetas, siete embalses y tres lagunas temporales.

En la actualidad el conocimiento del recurso es limitado, ya que la mayoría de las estaciones que conformaban la red hidrometeorológica nacional, manejada principalmente por el INSIVUMEH y en menor grado por el INDE, han operado irregularmente desde el principio de la década

de los años ochenta (Cobos, 1996). Una nueva red hidrometeorológica se ha implementado en el año 2000, por lo que habrá registros disponibles a futuro. Con respecto al recurso hídrico subterráneo la investigación ha sido detallada para el valle de la ciudad de Guatemala, el valle de Antigua Guatemala, estudios preliminares en el valle de Monjas y el de Quetzaltenango. Estudios específicos en el altiplano han sido realizados por la cooperación japonesa y el INFOM (Universidad Rafael Landívar, 2005, p. 6).

1.5. Aspectos climáticos

En Ciudad de Guatemala, la temporada de lluvia es nublada, la temporada seca es mayormente despejada y es caliente durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 13 °C a 27 °C y rara vez baja a menos de 11 °C o sube a más de 29 °C (Weather Spark, s.f., párr. 1).

1.5.1. Actividades económicas

Las actividades económicas de Guatemala han permitido que el país sea sustentable y estar entre las diez primeras economías estables de toda Latinoamérica. Se enfoca principalmente en la agricultura, el turismo y la industria.

1.5.2. Población

Según el Censo 2018, la cantidad total poblacional del departamento de Guatemala es de 3,015,081 y de la Ciudad de Guatemala es de 923,392 habitantes.

1.6. Investigación sobre necesidades de servicios básicos en Guatemala

Se realiza una breve investigación sobre las necesidades de servicios básicos en el país para atribuir al desarrollo.

1.6.1. Descripción de las necesidades

Las necesidades de servicios básicos en Guatemala se basan en educación, salud, seguridad, empleo e infraestructura vial, son temas que están siendo atendidos por el Ejecutivo, como prioridades para el desarrollo de los guatemaltecos.

2. FASE 2 DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

2.1. Descripción del proyecto

Para conocer el estado y disponibilidad de agua se deben de realizar estudios de cuencas en las áreas de interés o falta de estudio. La ausencia de estudios ocasiona una baja disponibilidad de agua, como causa está el cambio climático, desertificación y degradación de los suelos, mal estado de los acuíferos debido a la alta tasa de contaminación, los periodos bajos de caudal, uso industrial del recurso hídrico.

La falta de estudios de cuencas hidrográficas inicia conflictos ambientales, alza de contaminación de recursos naturales, pérdida de suelos naturales, y más importante disminuye la cantidad y calidad del agua, afectando a todo el territorio de la ciudad de Guatemala.

En la cuenca del río Olímpico y cuenca del río Canalitos no existen estudios de carácter morfométrico de cuenca, y dada la necesidad e importancia de realizar el estudio, se realiza en el presente proyecto, cuya finalidad es delimitar las cuencas, incluyendo los parámetros de morfometría y estudios hidroclimáticos.

El aumento poblacional en Guatemala ocasiona estrés hídrico, lo que significa que la demanda de agua producida por el aumento de la población es una de las causas que provoca el desajuste de agua en algunas zonas.

La morfometría particular de cada cuenca hidrográfica es proporcional con la posibilidad de cosecha hídrica, ante eventos climáticos, y con la generación de una respuesta a los mismos, como ser la escorrentía superficial, expresada en términos de caudales, la incidencia en el transporte de sedimentos y nutrientes a lo largo de los ecosistemas que la integran. El análisis morfométrico permite realizar comparaciones entre varias cuencas, así como ayuda a la interpretación de la funcionalidad hidrológica y en la definición de las estrategias para la formulación de su manejo.

El estudio morfométrico de una cuenca, deben de ser tenidos en cuenta en cualquier proceso de transformación para adaptarse a la legislación vigente y ser respetuoso con el medio ambiente; evitando desastres naturales, los cuales provocan pérdidas de infraestructura, económicas, riesgo a la salud, entre otros.

El estudio morfométrico se debe realizar para conocer con exactitud los aspectos morfométricos del río Olímpico y río Canalitos del municipio de Guatemala con el objeto de que la Municipalidad de Guatemala, en conjunto con DMA (Dirección de Medio Ambiente) lleguen a lograr un manejo adecuado del recurso hídrico conociendo las características de las áreas de estudio.

2.2. Leyes que involucren el estudio hídrico

La Constitución Política de la República de Guatemala es la ley suprema en la que se rige todo el Estado y sus demás leyes. En el Artículo 97, indica que los recursos naturales serán utilizados y aprovechados de manera racional y evitando su depredación. En el Artículo 127 indica que los cuerpos de agua son de dominio Estatal, y en el Artículo 128 indica que el aprovechamiento del recurso hídrico que llegase a contribuir al desarrollo del país es permisible.

En el Código Civil, Artículo 579, indica que las aguas son de dominio privado siempre y cuando existan sobre y/o debajo de un terreno privado, mientras no traspasen sus linderos.

Sin embargo; la inexistencia una ley que regule el uso del recurso hídrico hace que ambas leyes se contradigan. Las pocas leyes que mencionan sobre el recurso hídrico indican que el acceso al agua es un derecho universal y el aprovechamiento de este es público. Debido a la falta de claridad de estas leyes en cuanto el derecho al agua ocasiona un desorden, aprovechamiento y/o explotación inadecuada del recurso hídrico.

En el año 2016 se emitió el Acuerdo Ministerial 335 – 2016, el cual indica promover la gestión integrada de cuencas y llegar a obtener un control sobre el recurso hídrico en las cuencas hidrográficas de la República de Guatemala. Así mismo se debe de participar voluntariamente a proteger, conservar y preservar los recursos naturales de la cuenca; promover y ejecutar proyectos orientados a la gestión integrada de las cuencas hidrográficas.

Hasta el día de hoy, el Estado de Guatemala ha mostrado acciones burocráticas en cuanto al recurso hídrico, y no ha cumplido con las aprobaciones de leyes de aguas, sin embargo; han existido intentos de creación de leyes de aprovechamiento del recurso hídrico, y han sido desaprobadas.

2.3. Población afectada y demanda

La demanda del proyecto está identificada a una población, y la demanda son datos que nos ayudan a conocer, en cierto punto, el estado actual de las cuencas.

2.3.1. Río Canalitos

La población de Canalitos lleva más de dos décadas luchando contra la falta de agua potable. El abastecimiento por parte de la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA) se ha vuelto cada vez más irregular y escaso.

De los cinco pozos municipales en la zona, solo uno está habilitado y tiene que abastecer a aproximadamente 38 mil personas en los ocho cantones.

A finales de 2020, el nivel de agua en el pozo bajó tanto que se quemó la bomba. La medida de EMPAGUA fue limitar la distribución del agua. En los cantones Las Pilas y Las Huertas, ubicados en la parte alta de la zona, comenzaron a recibir agua solamente un día por semana. A las familias les tocó acudir a toneles, baldes o a comprar agua en pipas.

Para su sorpresa, un día descubrieron zanjas con tubería recién hechas alrededor de Las Huertas y se enteraron que la empresa Acuífero San Miguel, S.A. estaba extrayendo agua subterránea de un pozo ubicado en el cantón (Flores, 2022, párr. 1-4).

2.3.2. Río Olímpico

La zona 5 cuenta con una cobertura bastante grande en lo que se refiere al servicio de agua potable. Su distribución está regulada por la Empresa Municipal de Agua, EMPAGUA. Dicha zona es abastecida por la Planta de Tratamiento Santa Luisa, la cual se encuentra ubicada en la zona 16; el pozo municipal ubicado en Jardines de la Asunción en la zona 5 y La Estación de Bombeo ubicado en el Campo de Marte. Al tratar de analizar el volumen de agua potable que consume la población determinada, se encontró que EMPAGUA lleva el control de la cantidad de clientes que utilizan este servicio.

Figura 5.

Usuarios y consumo en la zona 5 en el período 2008 – 2011

Año	Mes	Cantidad de Metros Cúbicos Consumidos	Cantidad de Usuarios	Año	Mes	Cantidad de Metros Cúbicos Consumidos	Cantidad de Usuarios
2008	1	94139	2395	2009	1	113814	2482
	2	91485	2401		2	103372	2487
	3	89811	2402		3	98452	2487
	4	101149	2404		4	110681	2487
	5	94601	2409		5	90900	2494
	6	98174	2412		6	100428	2506
	7	97971	2417		7	94196	2515
	8	81644	2435		8	89347	2537
	9	95638	2442		9	87363	2679
	10	90583	2451		10	89794	2681
	11	101177	2476		11	86135	2698
	12	90329	2476		12	89396	2698
2010	1	98528	2698	2011	1	108025	2853
	2	107221	2710		2	111026	2771
	3	98058	2713		3	105380	2788
	4	97320	2719		4	110388	2804
	5	104747	2749		5	137222	2815
	6	123458	2754		6	112947	2885
	7	95349	2752		7	110914	2895
	8	107544	2769		8	108804	2908
	9	106379	2782		9	118355	2935
	10	110535	2816		10	102732	2936
	11	105326	2828		11	111048	2945
	12	106091	2841		12	110890	2956

Nota. Nota general de la figura. Obtenido de Municipalidad de Guatemala. (2011). *Unidad de Información de la Expediente No 194296-2011.* (p.1). Dirección de Control Territorial.

2.4. Precipitación de estaciones cercanas a las cuencas

Se solicitó información de precipitación de las estaciones cercanas a las cuencas las siguientes:

- Jardín botánico, zona 5.
- San José Pinula
- Lo de Coy Mixco
- Aurora

2.5. Cálculos de precipitación

Para contar con los datos de precipitación, se le solicitaron al INSIVUMEH, el cual midió la precipitación por medio de pluviómetros, estos son equipos que miden los niveles de lluvia, posteriormente genera una gráfica y luego se colocan los datos para la generación de base de información.

2.5.1. Estimación de datos faltantes

La estimación de datos faltantes sirve para completar las series disponibles para poder realizar análisis hidrológicos del tipo de periodo común y para mejorar la calidad estadística de los parámetros que se estiman, al emplear series completas y más largas. Para ello se utiliza el método de la Razón, formula:

$$q = \frac{\sum b_i}{\sum a_i}$$

(Ec. 1)

Donde:

i: desde 1 hasta N

N: número total de datos de la serie

bi: dato i de la estación B

ai: dato i de la estación A

2.5.2. Construcción de curva de Intensidad, Frecuencia y Duración (IFD)

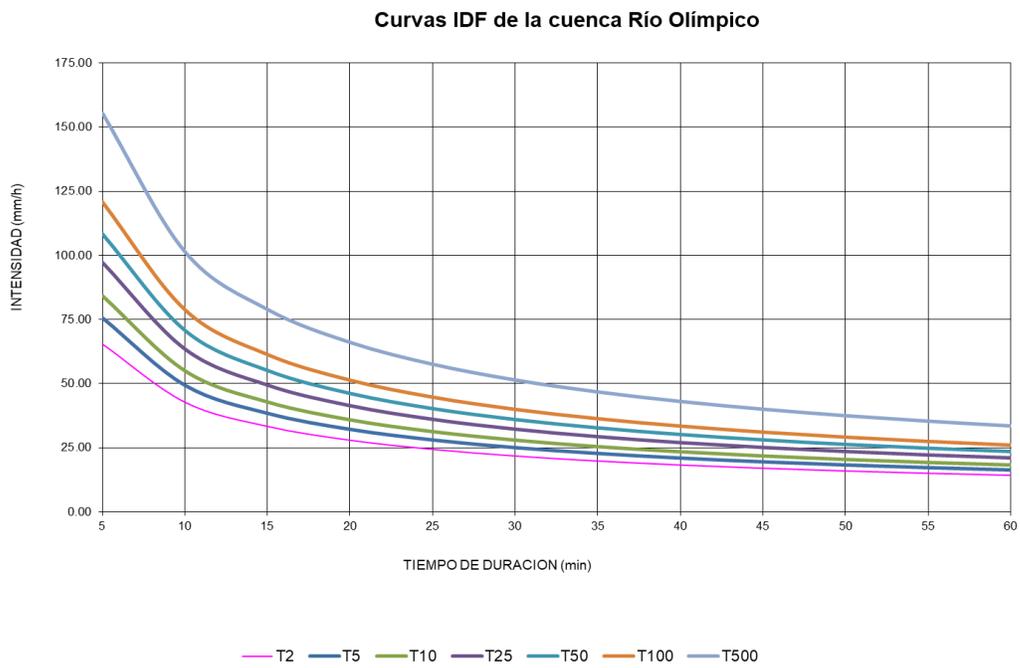
Según Pizarro, la curva de Intensidad, Frecuencia y Duración es la representación gráfica de la relación que existe entre la intensidad de la lluvia con su duración, asociado a la frecuencia o período de retorno, donde para cada período de retorno se tiene una curva diferente. Para ello se utiliza la Ecuación de Intensidad – Duración.

- Cuenca río Olímpico

$$I = \frac{158.7602 * T^{0.156119}}{t^{0.61639}}$$

(Ec. 2)

Figura 6.
Gráfica IDF río Olímpico



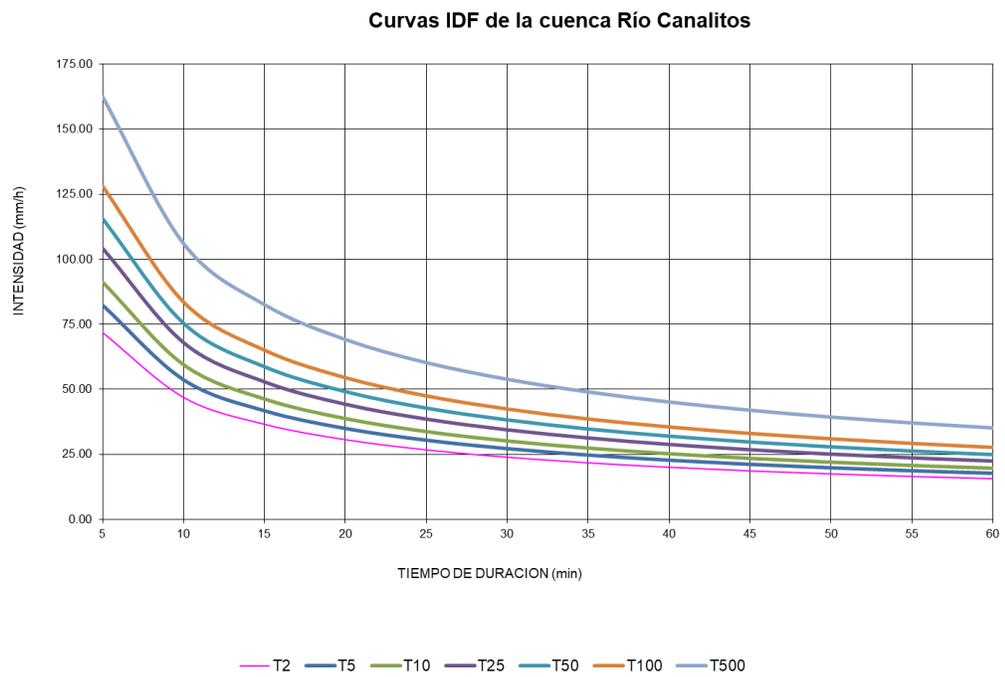
Nota. Las curvas muestran tiempos de duración hasta de 500 minutos. Elaboración propia, realizado con Excel.

- Cuenca río Canalitos

$$I = \frac{174.7481 * T^{0.147833}}{t^{0.61639}} \quad (\text{Ec. 3})$$

Figura 7.

Gráfica IDF río Canalitos



Nota. Las curvas muestran tiempos de duración hasta de 500 minutos. Elaboración propia, realizado con Excel.

Donde:

I = intensidad (mm/hr)

T = Periodo de retorno (años)

t = Tiempo de duración de tormenta

Tabla 1.*Tabla de intensidad de lluvia para distintos periodos de retorno*

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm/hr) según el Periodo de Retorno						
Hr	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	1440	1.9778	2.4782	2.8095	3.2280	3.5386	3.8468	4.5591
18 hr	1080	2.3998	3.0069	3.4088	3.9167	4.2935	4.6674	5.5317
12 hr	720	3.1645	3.9651	4.4952	5.1649	5.6617	6.1549	7.2945
8 hr	480	4.0348	5.0555	5.7313	6.5852	7.2187	7.8475	9.3005
6 hr	360	4.8259	6.0468	6.8551	7.8764	8.6341	9.3862	11.1241
5 hr	300	5.4114	6.7803	7.6867	8.8319	9.6815	10.5248	12.4736
4 hr	240	6.1709	7.7320	8.7656	10.0715	11.0403	12.0020	14.2243
3 hr	180	7.2785	9.1198	10.3389	11.8792	13.0219	14.1562	16.7774
2 hr	120	9.2563	11.5980	13.1483	15.1073	16.5605	18.0030	21.3364
1 hr	60	14.2404	17.8430	20.2282	23.2419	25.4777	27.6969	32.8253

Nota. Estudio realizado para un tiempo de retorno máximo de 500 años. Elaboración propia, realizado con Excel.

Podemos observar que ambas cuencas tienden a tener un mismo comportamiento, y obtuve el resultado de periodo de retorno de 500 años ya que este es la precipitación máxima probable, son determinadas para cada sitio particular con procedimiento estadísticos, para dar seguridad.

2.5.3. Gráfica de Polígonos de Thiessen para lluvia media en cuencas

El método de Polígonos de Thiessen se utiliza para dividir el área cubierta por las entidades de puntos de entrada en zonas de Thiessen o proximales. Estas zonas representan áreas completas en las que cualquier ubicación dentro de la zona está más cerca de su punto de entrada asociado que de cualquier otro punto de entrada.

Para la cuenca del río Olímpico no se cuentan con estaciones que influyan para realizar el cálculo de los Polígonos de Thiessen, por lo que se puede visualizar en los mapas de polígonos.

2.5.3.1. Cuenca Canalitos

Se presentan las estaciones del INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología Vulcanología, Meteorología e Hidrología).

Tabla 2.

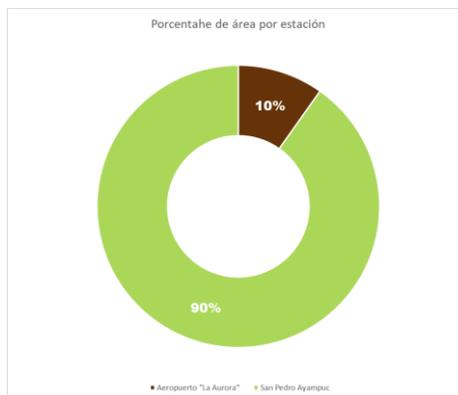
Lluvia media para cuenca Canalitos

Estación	Área	xi
Aeropuerto “La Aurora”	361281.19	0.09809636
San Pedro Ayampuc	3321640.2	0.90190364
Total	3682921.39	1

Nota. Área dada en hectáreas. Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 8.

Gráfica porcentaje de área por estación



Nota. Área dada en hectáreas. Elaboración propia, realizado con Excel.

2.5.4. Estudio morfométrico

El estudio se centra en el estudio de las relaciones entre el comportamiento hidrológico de la cuenca de las cuencas del río Canalitos y río Olímpico.

2.5.4.1. Partes de una cuenca

Desde el punto de vista geográfico, las cuencas pueden dividirse en tres partes básicas, y conocer donde se juntan las aguas recogidas en las diferentes partes de la cuenca.

Figura 9.

Partes de una cuenca



Nota. La figura muestra la zona más alta de la cuenta hasta su desembocadura. Obtenido de Priga. (s.f). *Partes de una cuenca hidrográfica.* (https://issuu.com/jmillan/docs/guia_recursos_hidricos_08-20/s/10870935), consultado el 22 de mayo de 2022. De dominio público.

2.5.4.1.1. Alta

La cuenca alta corresponde a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros, limitadas en su parte superior por los parteaguas o las divisorias de aguas. En estas zonas es fundamental conservar el bosque con el fin de asegurar la retención e infiltración de agua, así evitar deslaves o inundaciones en las áreas bajas de la cuenca

2.5.4.1.2. Media

La cuenca media es donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en la que el río principal mantiene un cauce definido. Es necesario proteger dicha área para asegurar la continuidad del cauce del río de la parte alta hacia la parte baja.

2.5.4.1.3. Baja

En la cuenca baja el río desemboca a ríos mayores o en estuarios o humedales. Se cuenta con buena calidad de agua, dependiendo la parte Alta y Media, afectará la parte baja de manera favorable o negativa.

2.5.5. Morfometría (Parámetros asociados a la forma de la cuenca) río Canalitos y río Olímpico

Las características físicas de una cuenca tienen una relación estrecha con el comportamiento de los caudales que transitan por ella; sin embargo, la poca información cartográfica de la que se dispone, hace que el encontrar esa relación no sea fácil y que por lo tanto su uso en estudios hidrológicos sea limitado, por otra parte no se puede garantizar que toda la información morfométrica de las

cuencas utilizadas para el estudio se pueda obtener en una misma escala, lo cual aumenta el grado de incertidumbre sobre la confiabilidad de los parámetros (UNAL, 1997).

2.5.5.1. Área (A)

Está definida como la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido, directa o indirectamente a un mismo cauce natural.

2.5.5.2. Perímetro (P)

Es la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas. Este parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en metros o kilómetros.

2.5.5.3. Longitud de la cuenca (L)

Se define como la distancia horizontal desde la desembocadura de la cuenca (estación de aforo) hasta otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca.

2.5.5.4. Ancho de la cuenca (B)

El ancho de la cuenca se define como la relación entre el área y la longitud de la cuenca.

2.5.5.5. Orientación

La orientación se determina de acuerdo con la orientación del río principal de la cuenca en relación al Norte y se considera su influencia especialmente en las zonas de ladera en donde la inclinación de las vertientes afectará la influencia solar.

2.5.5.6. Factor de Forma de Horton (Kf)

Es la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca.

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

(Ec. 4)

Intenta medir cuan cuadrada (alargada) puede ser la cuenca. Una cuenca con un factor de forma bajo, está menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma. Principalmente, los factores geológicos son los encargados de moldear la fisiografía de una región y la forma que tienen las cuencas hidrográficas. Un valor de Kf superior a la unidad proporciona el grado de achatamiento de ella o de un río principal corto y por consecuencia con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas.

2.5.5.7. Coeficiente de compacidad (kc)

Propuesto por Gravelius, compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio. Se define como la razón entre el perímetro de la cuenca que es la misma longitud del parteaguas o divisoria que la encierra y el perímetro de la circunferencia. Este

coeficiente adimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de uno para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Nunca los valores del coeficiente de compacidad serán inferiores a uno. El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano a uno sea, es decir mayor concentración de agua.

$$K_c = \frac{P}{P_c} = \frac{P}{2\pi R}$$

(Ec. 5)

Donde, P es el perímetro de la cuenca (longitud de la línea parteaguas), P_c es el perímetro de la circunferencia y R es el radio de la circunferencia. Se han establecido tres categorías para la clasificación de acuerdo con este parámetro:

Tabla 3.

Características de la cuenca de acuerdo con el valor K_c

Valores de k_c	Forma
1.00 – 1.25	Redonda a oval redonda
1.25 – 1.50	De oval redonda a oval oblonga
1.50 – 1.75	De oval oblonga a rectangular oblonga

Nota. De acuerdo al tipo de cuenta así se utilizará el varlo de k_c. Elaboración propia, realizado con Word.

La razón para usar la relación del área equivalente a la ocupada por un círculo es porque una cuenca circular tiene mayores posibilidades de producir avenidas superiores dadas su simetría. Sin embargo, este índice de forma ha sido criticado pues las cuencas en general tienden a tener la forma de pera.

2.5.5.8. Relación de elongación (Re)

Se define como la relación entre el diámetro de un círculo que posea la misma área de la cuenca y cuyo diámetro sea igual la longitud de la cuenca y su formulación matemática es la siguiente:

$$R_e = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{L} \quad (\text{Ec. 6})$$

El valor de la relación de elongación se acerca a la unidad cuando la cuenca es muy plana y circular, cuando la cuenca es plana con porciones accidentales, la relación de elongación está entre 0.5 y 0.8.

2.5.5.9. Índice de alargamiento

Este define si la cuenca es alargada, cuando su valor es mucho mayor a la unidad, o si es achatada cuando son valores menores a la unidad.

Tabla 4.

Parámetros para cuenca río Olímpico

Parámetro	Valor	Dimensional
Área	992.310	Ha
Perímetro	19.690	Km
Longitud de cuenca	6.232	Km
Ancho de cuenca	6.220	Km

Nota. Dimensiones dadas de acuerdo como lo solicita la ecuación. Elaboración propia, realizado con Word.

La forma de la cuenca condiciona la velocidad del escurrimiento superficial. Para cuencas de igual superficie y formas diferentes se espera un comportamiento hidrológico también diferente. 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 más información histórica de su comportamiento hidrológico.

Tabla 5.

Parámetros forma cuenca río Olímpico

Parámetro	Valor	Observación
Factor de Forma	0.02559505	cuenca con bajo potencial de crecida. cuenca alargada
Coefficiente de Capacidad	1.76329558	1.50 – 1.75 menos torrencial.
Relación de Elongación	0.18052653	
Índice de Alargamiento	2.37681159	> 1: cuenca Alargada

Nota. Dimensiones dadas de acuerdo como lo solicita la ecuación. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 6.

Parámetros para cuenca río Canalitos

Parámetro	Valor	Dimensional
Área	368.290	Ha
Perímetro	11.950	Km
Longitud de cuenca	3.966	Km
Ancho de cuenca	1.4490	Km

Nota. Dimensiones dadas de acuerdo como lo solicita la ecuación. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 7.

Parámetros forma para cuenca río Canalitos

Parámetro	Valor	Observación
Factor de Forma	0.02579016	cuenca con bajo potencial de crecida. cuenca alargada
Coefficiente de Capacidad	1.75661274	1.50 – 1.75 menos torrencial.
Relación de Elongación	0.18121333	
Índice de Alargamiento	2.73706004	> 1: cuenca Alargada

Nota. Dimensiones dadas de acuerdo como lo solicita la ecuación. Elaboración propia, realizado con Word.

Para cuenca río Olímpico, con área de 992.31 hectáreas y para la cuenca río Canalitos con área de 368.28 hectáreas, perímetro de 19.69 kilómetros y 11.95 kilómetros, respectivamente.

Forma de las cuencas, se presentan, para el factor forma de 0.02559505 para río Olímpico y 0.02579016 para cuenca río Canalitos, presentan un indicador de una forma alargada de baja susceptibilidad a las avenidas torrenciales. Son cuencas con precipitaciones concentradas de baja intensidad, relieve accidentado, las áreas se presentan parcialmente deforestadas, y suelos poco erosionados, originando áreas de bajos sedimentos.

Los resultados nos indica que se relaciona con los eventos de precipitación en la cual no habrá fuertes picos de crecidas en el caudal de salida. La forma alargada de la cuenca y las pequeñas longitudes de sus cauces está relacionada con la pendiente del terreno, por lo general la cuenca en términos ambientales, tendrá bajas probabilidades a inundaciones.

2.5.6. Parámetros relativos al Relieve

Los parámetros de relieve principales son la relación existente entre el desnivel altitudinal del cauce y su longitud.

2.5.6.1. Altura y elevación

Es uno de los parámetros más determinantes de la oferta hídrica y del movimiento del agua a lo largo de la cuenca. De ella dependen en gran medida la cobertura vegetal, la biota, el clima, el tipo y uso del suelo y otras características fisiográficas de un territorio.

- Cota mayor de la cuenca (CM): es la mayor altura a la cual se encuentra la divisoria de la cuenca (msnm.).
- Cota menor de la cuenca (Cm): es la cota sobre la cual la cuenca entrega sus aguas a un cauce superior (msnm.).
- Elevación promedia del relieve: es la elevación promedia de la cuenca referida al nivel del mar.
- Histograma de frecuencias altimétricas: corresponde a la estimación del histograma de frecuencias de las elevaciones en la cuenca.

2.5.6.2. Pendiente

Pendiente media de la cuenca (S): es el valor medio del declive del terreno y la inclinación, respecto a la horizontal, de la vertiente sobre la cual se ubica la cuenca.

Tabla 8.

Clasificación de las cuencas de acuerdo con la pendiente

Pendiente media (%)	Tipo de relieve
0-3	Plano
3-7	Suave
7-12	Medianamente accidentado
12-20	Accidentado
20-35	Fuertemente accidentado
35-50	Muy fuertemente accidentado
50-75	Escarpado
>75	Muy escarpado

Nota. Valores para diferentes pendientes. Obtenido de Fundación Universitaria Agraria de Colombia. (2018). *Morfometría.* (p.10). CVC. (https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes_y_Programas/Planes_de_Ordenacion_y_Manejo_de_cuencas_Hidrografica/La%20Vieja%20%20POMCA%20en%20Ajuste/Fase%20Diagnostico/7_Capitulo1_Diagnostico_Morfometria.pdf), consultado el 18 de mayo de 2022. De dominio público.

Histograma de pendientes: permite conocer la distribución el porcentaje asociado a cada tipo de pendientes.

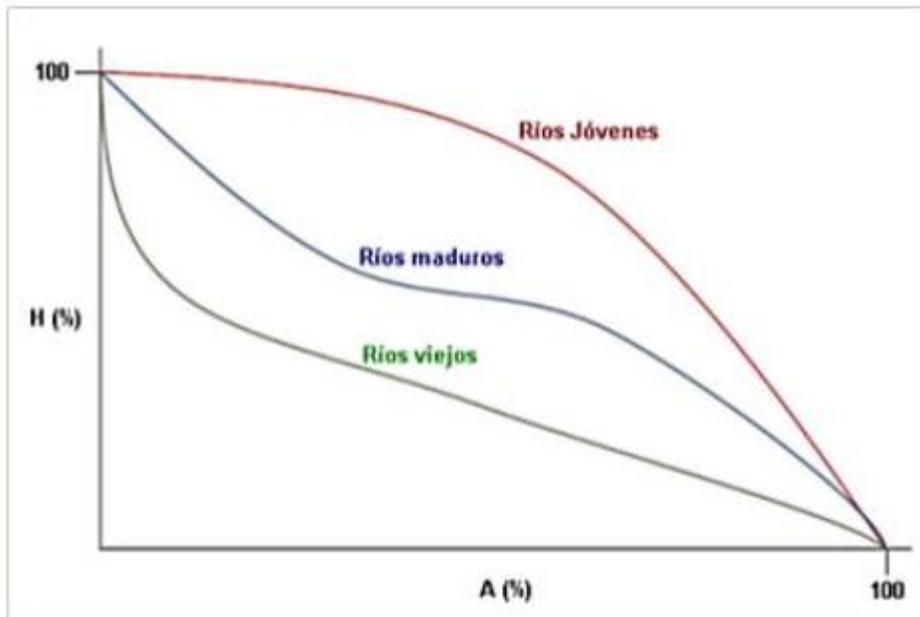
2.5.6.3. Curva hipsométrica

Es la representación gráfica de la variación altitudinal de una cuenca, por medio de una curva tal, que a cada altura le corresponde un respectivo porcentaje del área ubicada por encima de esa altura. Estas se pueden clasificar en:

- Río Joven: zona donde predomina la producción de sedimentos y aguas.
- Río Maduro: zona donde predomina el transporte de ambos.
- Río Viejo: zona caracterizada por la deposición de sedimentos.

Figura 10.

Clasificación de los ríos de acuerdo con la curva hipsométrica



Nota. Valores de la figura dados en porcentajes. Obtenido de Fundación Universitaria Agraria de Colombia. (2018). *Morfometría.* (p.10). CVC. (https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes_y_Programas/Planes_de_Ordenacion_y_Manejo_de_cuencas_Hidrografica/La%20Vieja%20%20POMCA%20en%20Ajuste/Fase%20Diagnostico/7_Capitulo1_Diagnostico_Morfometria.pdf), consultado el 18 de mayo de 2022. De dominio público.

2.5.6.4. Parámetros relativos al relieve cuenca río Olímpico

La cota mayor de la cuenca es la mayor altura a la cual se encuentra la divisoria de la cuenca, y la menor a la cual la cuenca entrega sus aguas.

Tabla 9.

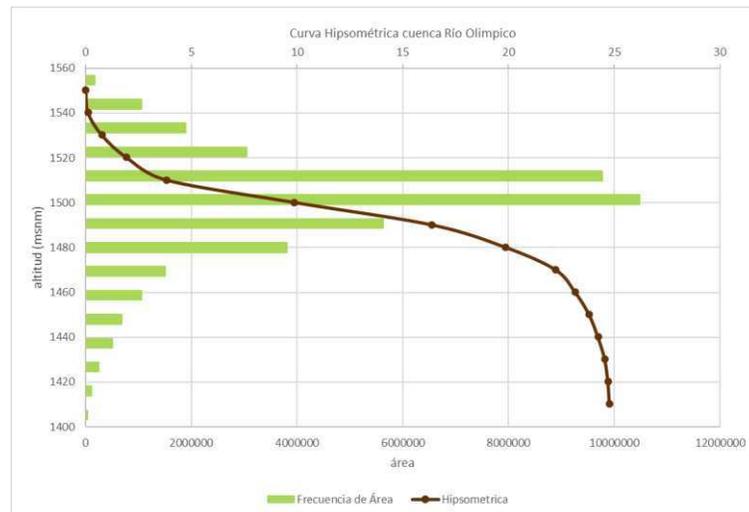
Parámetros relativos al relieve cuenca río Olímpico

PARÁMETROS DE RELIEVE	VALOR	DIMENSIONAL
Cota mayor	1545.01	M
Cota menor	1415.01	M
Pendiente media	5.17	grados

Nota. Dimensiones dadas de acuerdo como lo solicita la ecuación. Elaboración propia, realizado con Word.

Figura 11.

Curva Hipsométrica río Olímpico



Nota. Área dada en hectáreas. Elaboración propia, realizado con Excel.

2.5.6.5. Parámetros relativos al relieve cuenca río Canalitos

La cuenca del río Canalitos presenta resultados de cota mayor 1439 m y cota menor 1177 m.

Tabla 10.

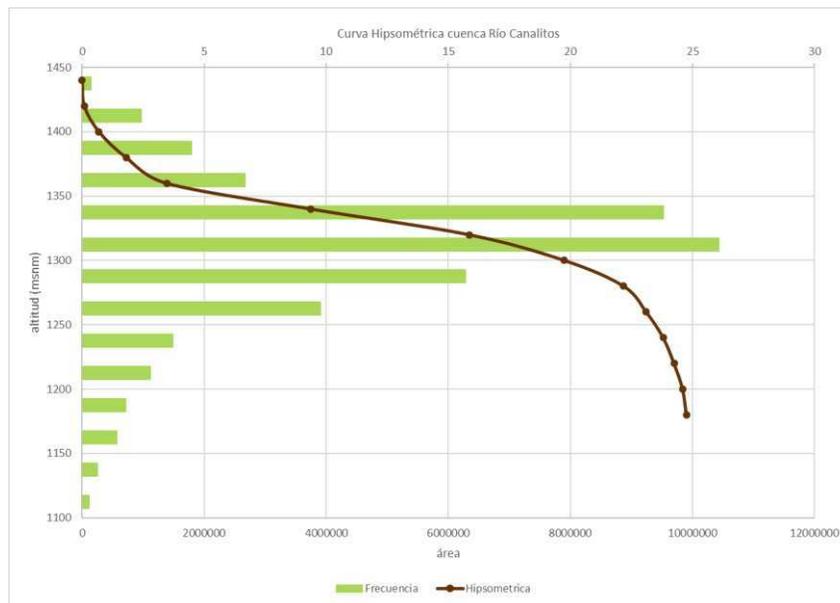
Parámetros relativos al relieve cuenca río Canalitos

PARÁMETROS DE RELIEVE	VALOR	DIMENSIONAL
Cota mayor	1439	m
Cota menor	1177.02	m
Pendiente media	17.24	grados

Nota. Dimensiones dadas de acuerdo como lo solicita la ecuación. Elaboración propia, realizado con Word.

Figura 12.

Curva Hipsométrica cuenca río Canalitos



Nota. Área dada en hectáreas. Elaboración propia, realizado con Excel.

Ambas cuencas presentan una cuenca Madura, esto se debe a que en la parte alta en los últimos años ha venido aumentando el crecimiento urbano de la ciudad de Guatemala y además en las zonas 24 y 5 se tienen pendientes

relativamente altas, provocando el aumento de la erosión del suelo, menor infiltración y mayor escorrentía, lo que infiere que los sedimentos sean transportado y depositados en la parte media y baja de la cuenca.

2.5.7. Parámetros relativos al perfil

Se presentan los resultados de cotas del Cauce, pendiente y longitud del cauce para ambas cuencas.

2.5.7.1. Cota mayor de cauce (CMc)

Se define como cota mayor de cauce a la elevación del punto más alto del cauce (msnm).

2.5.7.2. Cota menor de cauce (Cmc)

La cota menor de cauce debe coincidir con la cota menor de la cuenca (msnm.).

2.5.7.3. Pendiente promedio del cauce (S0)

Con base en el perfil altimétrico a lo largo del río se puede encontrar la pendiente de la recta ajustada a parejas de valores obtenidos en intervalos iguales a lo largo del cauce.

2.5.7.4. Longitud del cauce principal (Lc)

Corresponde a la longitud del cuerpo de agua que le da nombre a la cuenca de estudio en este parámetro se tienen en cuenta la sinuosidad cauce; éste parámetro se expresa normalmente en kilómetros.

2.5.7.5. Longitud del cauce hasta la divisoria (Lf)

Se estima prolongando longitud del cauce principal hasta la divisoria sumándole la distancia en línea recta que separa ambas medidas

2.5.7.6. Parámetros relativos al perfil

La pendiente del cauce de la cuenca influye sobre la velocidad de flujo, es un parámetro importante en el estudio del comportamiento del recurso hídrico en el tránsito de avenidas, en la determinación de las características para aprovechamientos hidroeléctricos, entre otros.

2.5.7.7. Parámetros relativos al perfil cuenca río Olímpico

La cota menor del Cauce es el mismo dato de la cota menor de la cuenca del río Olímpico.

Tabla 11.

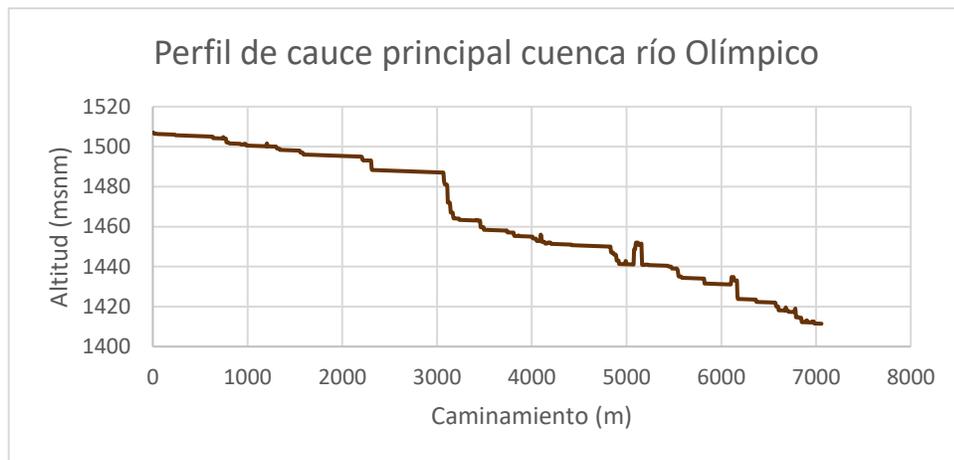
Parámetro relativo al perfil cuenca río Olímpico

PARÁMETROS DEL PERFIL	VALOR	DIMENSIONAL
Cota mayor Cauce P.	1507.02	m
Cota menor Cauce P.	1411.31	m
Longitud Cauce P	7.9	Km

Nota. Dimensiones dadas de acuerdo como lo solicita la ecuación. Elaboración propia, realizado con Word.

Figura 13.

Perfil río Olímpico



Nota. Caminamiento dado en metros. Elaboración propia, realizado con Excel.

2.5.7.8. Parámetros Relativos al Perfil cuenca río Canalitos

La cota menor del Cauce es el mismo dato de la cota menor de la cuenca del río Canalitos.

Tabla 12.

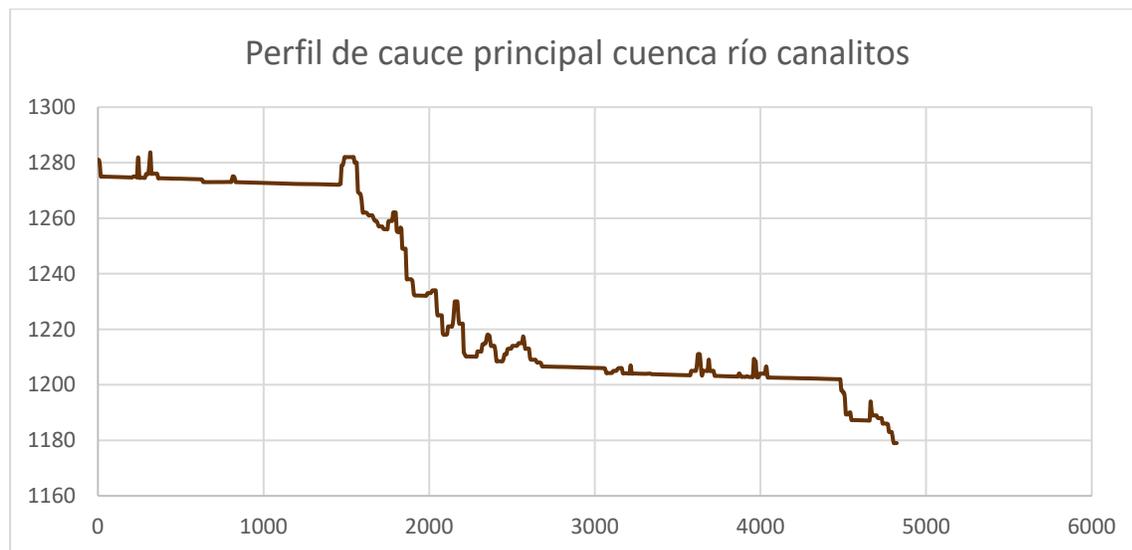
Parámetros Relativos al Perfil cuenca río Canalitos

PARÁMETROS DEL PERFIL	VALOR	DIMENSIONAL
Cota mayor Cauce P.	1274.95	m
Cota menor Cauce P.	1177.05	m
Longitud Cauce P	4.82	Km

Nota. Dimensiones dadas de acuerdo como lo solicita la ecuación. Elaboración propia, realizado con Word.

Figura 14.

Perfil cuenca río Canalitos



Nota. Caminamiento dado en metros. Elaboración propia, realizado con Excel.

2.5.8. Parámetros relativos al drenaje

La forma en que estén conectados los canales en una cuenca determinada, influye en la respuesta de ésta a un evento de precipitación.

2.5.8.1. Orden de los cauces

El orden de las corrientes es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca. Existen varios métodos para realizar tal clasificación. En este caso se optó por el método de Strahler, el cual define que el orden de los cauces es aquel número que expresa el grado de ramificación de un sistema hidrográfico.

- Orden de los Causas río Olímpico

Tabla 13.

Orden de los Causas río Olímpico

PARÁMETROS DEL DRENAJE		
Orden de corriente	4	Según método Strahler

Nota. Realizado de acuerdo a la cantidad de ramificaciones de la cuenca. Elaboración propia, realizado con Excel.

- Orden de los Causas río Canalitos

Tabla 14.

Orden de los Causas río Olímpico

PARÁMETROS DEL DRENAJE		
Orden de corriente	3	Según método Strahler

Nota. Realizado de acuerdo a la cantidad de ramificaciones de la cuenca. Elaboración propia, realizado con Excel.

2.5.9. Caracterización hidroclimática

Es el estudio que abarca la precipitación, temperatura y evapotranspiración de las cuencas en estudio.

2.5.9.1. Precipitación

La precipitación es una parte importante del ciclo hidrológico, llevando agua dulce a la parte emergida de la corteza terrestre y, por ende, favoreciendo la vida en nuestro planeta, tanto de animales como de vegetales, que requieren agua para vivir. El estudio de las precipitaciones es de vital importancia en la evaluación y predicción de la amenaza natural del área de estudio.

El agua de lluvia cae en forma irregular tanto en cantidad como en tiempo y espacio para formar ríos, mediante las escorrentías provenientes de las montañas que delimitan una cuenca hidrográfica; alimentar y, en su caso, aumentar las reservas de pantanos y de embalses antes de desembocar en el mar. Otra parte se infiltrará a través del suelo para formar corrientes subterráneas que devendrán en acuíferos. Así como sus efectos son benéficos también, en ocasiones, son catastróficos.

Por ello, es importante medir tanto la cantidad de lluvia como su tiempo de precipitación y establecer su lugar de destino con la finalidad de prevenir desastres naturales y crear políticas públicas destinadas a regular, entre otras acciones, desarrollos inmobiliarios, áreas de reserva ecológica, ubicación de infraestructuras urbanas, industrial e hidroagrícola, por mencionar las más importantes.

2.5.9.2. Temperatura

La temperatura es una de las variables principales para el desarrollo de modelos hidrológicos estos valores se obtienen mediante la información guardada por estaciones meteorológicas a lo largo del tiempo.

2.5.9.3. Evapotranspiración

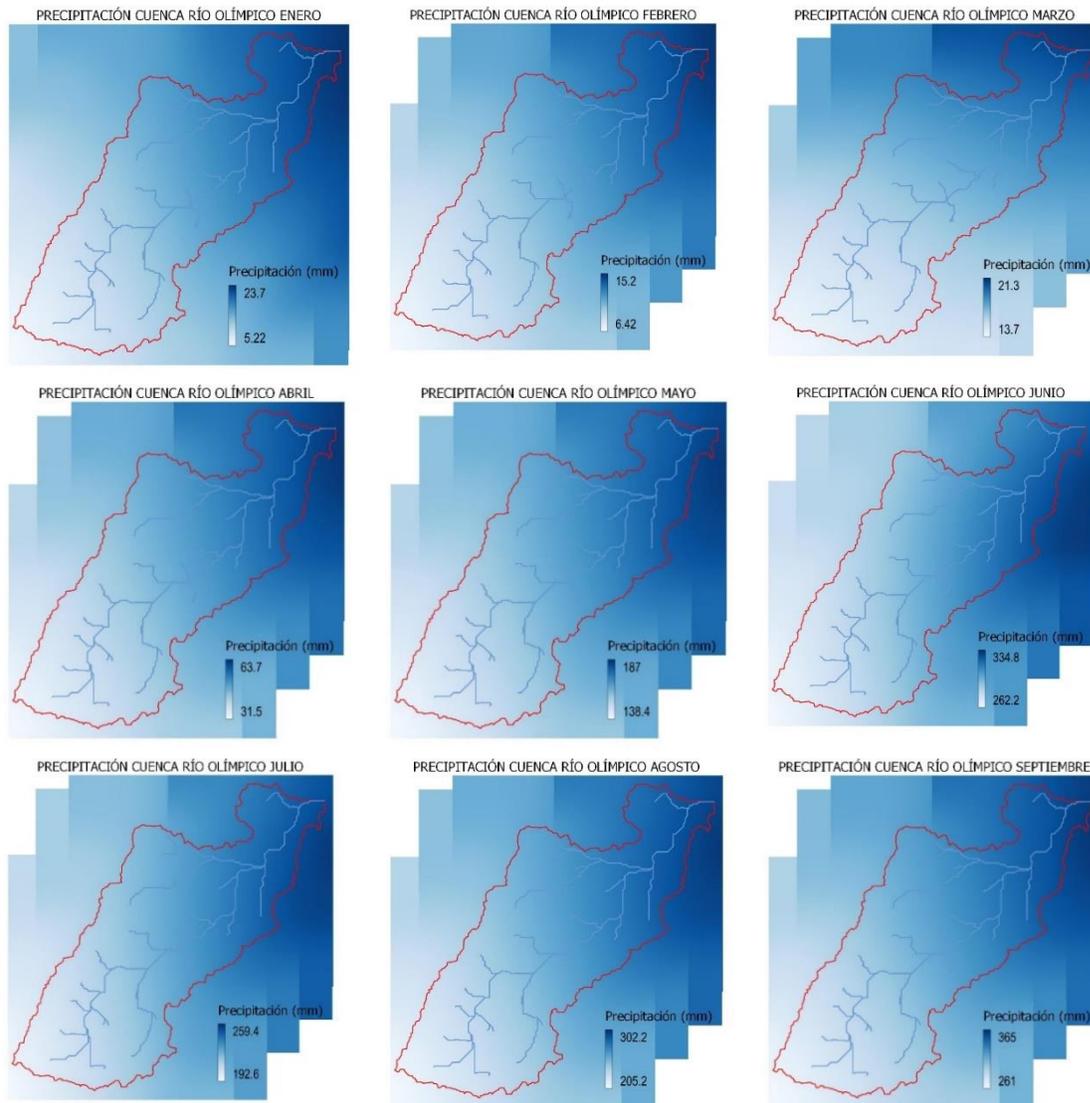
La evapotranspiración es considerada como la evaporación procedente de la superficie del agua, el suelo, la nieve, el hielo, la vegetación y de otras superficies más la transpiración. Thornthwaite (1948) denominó Evapotranspiración Potencial (ETP) a la evapotranspiración que se produciría si la humedad del suelo y la cobertura vegetal estuvieran en condiciones óptimas. Por el contrario, la Evapotranspiración Real (ETR) es la que se produce realmente en las condiciones existentes en cada caso.

2.5.9.4. Precipitación de las cuencas

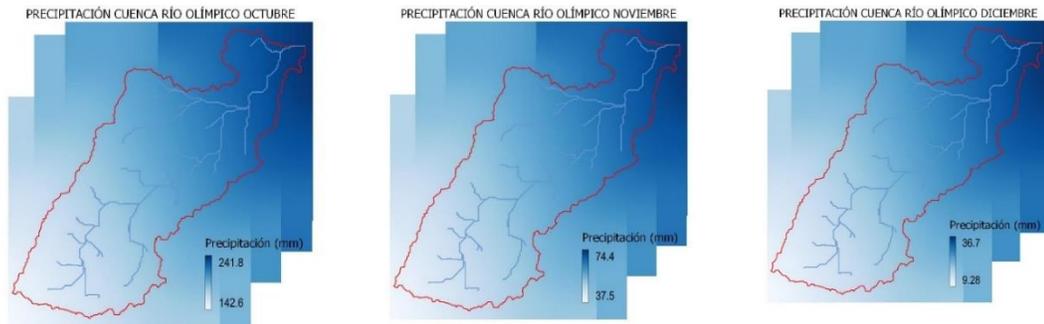
La Figura 15 muestra la precipitación dada por meses durante un año para ambas cuencas, río Olímpico y río Canalitos. Se puede observar que, mientras mas intenso es el color, se presenta mayor precipitación en el área, al contrario, mientras es mas claro el color presenta menor precipitación, cabe destacar que la precipitación se presenta en milímetros.

Figura 15.

Precipitación cuenca río Olímpico



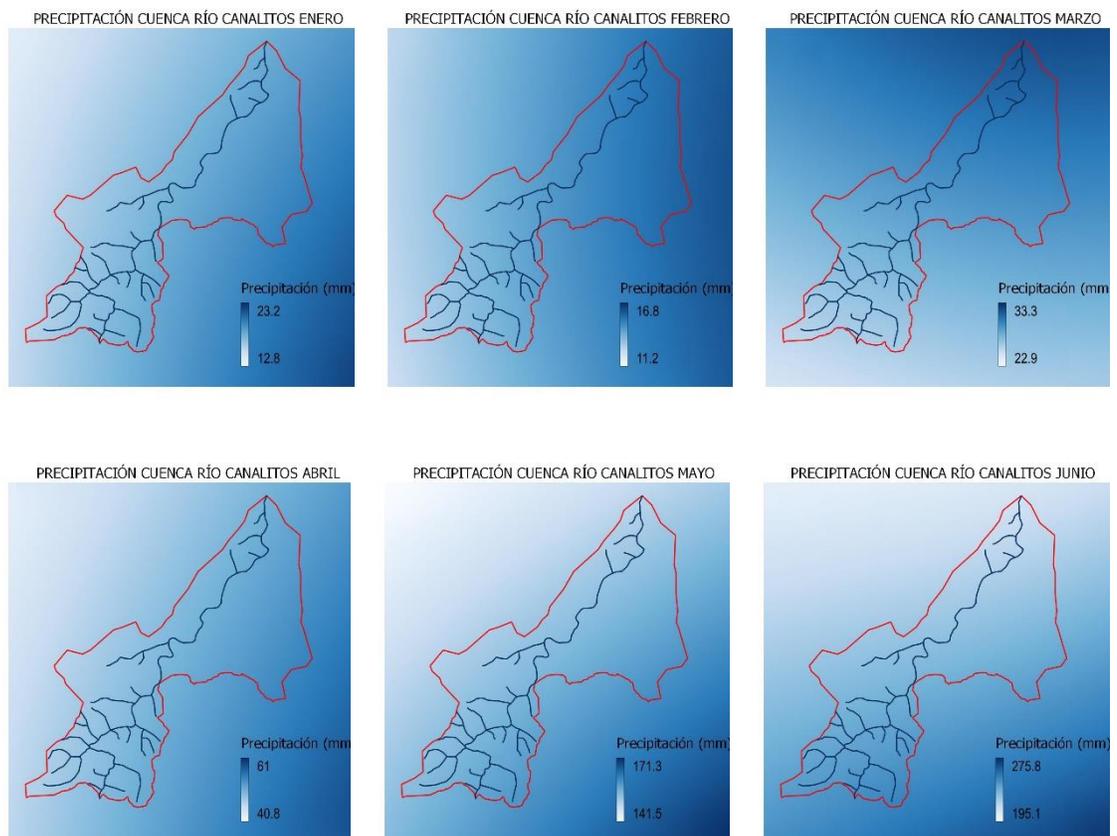
Continuación figura 15.



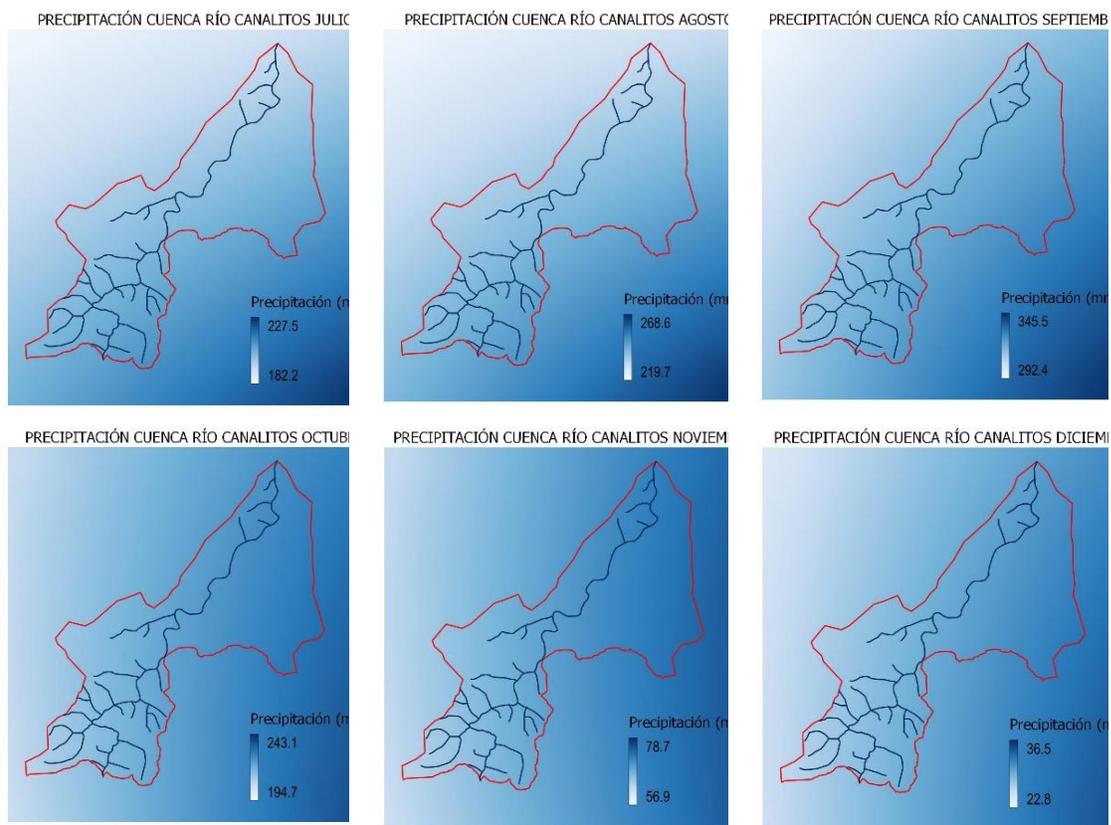
Nota. Precipitaciones por meses. Elaboración propia, realizada con QGIS.

Figura 16.

Precipitación cuenca río Canalitos



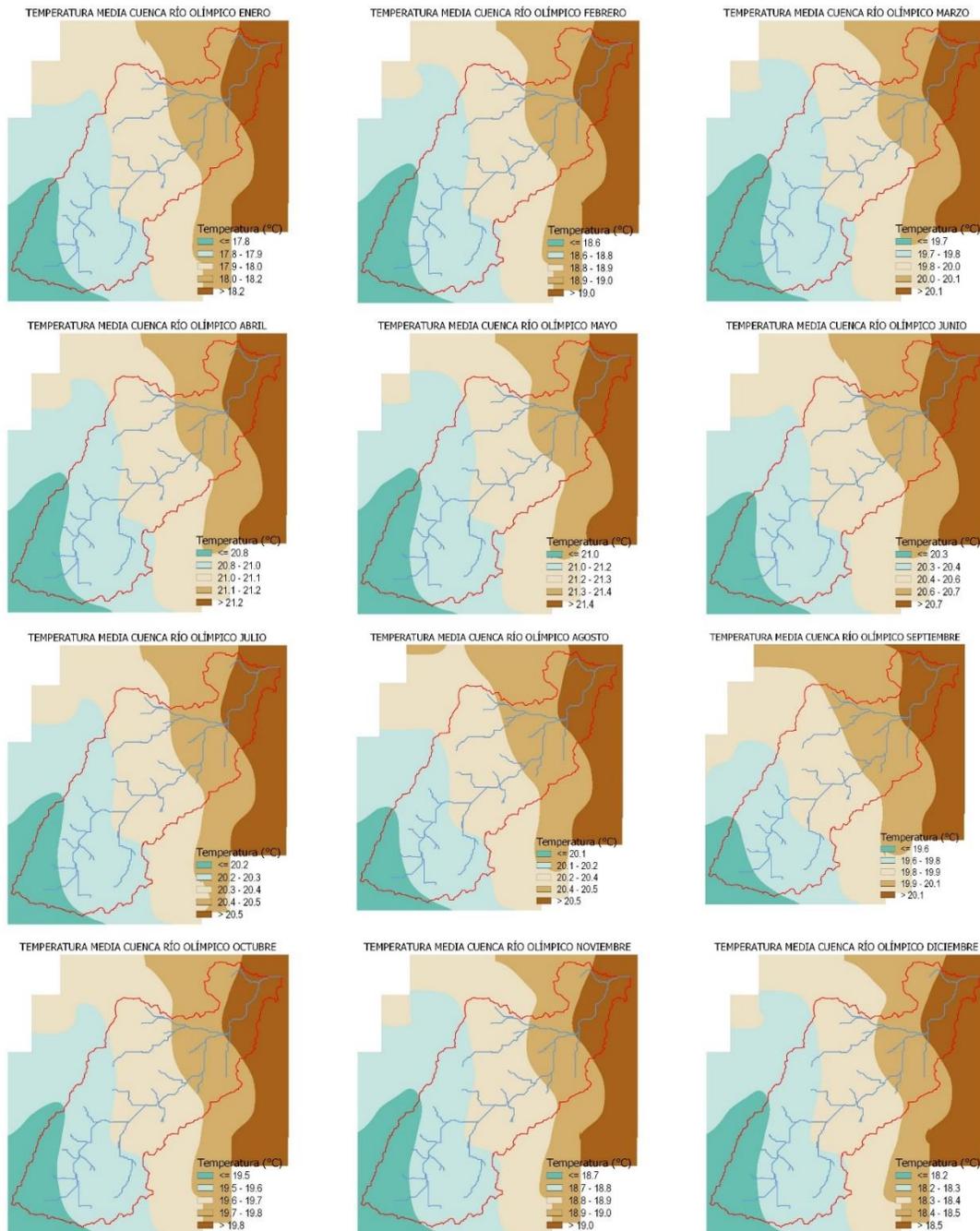
Continuación Figura 16.



Nota. Precipitaciones por meses. Elaboración propia, realizada con QGIS.

Figura 17.

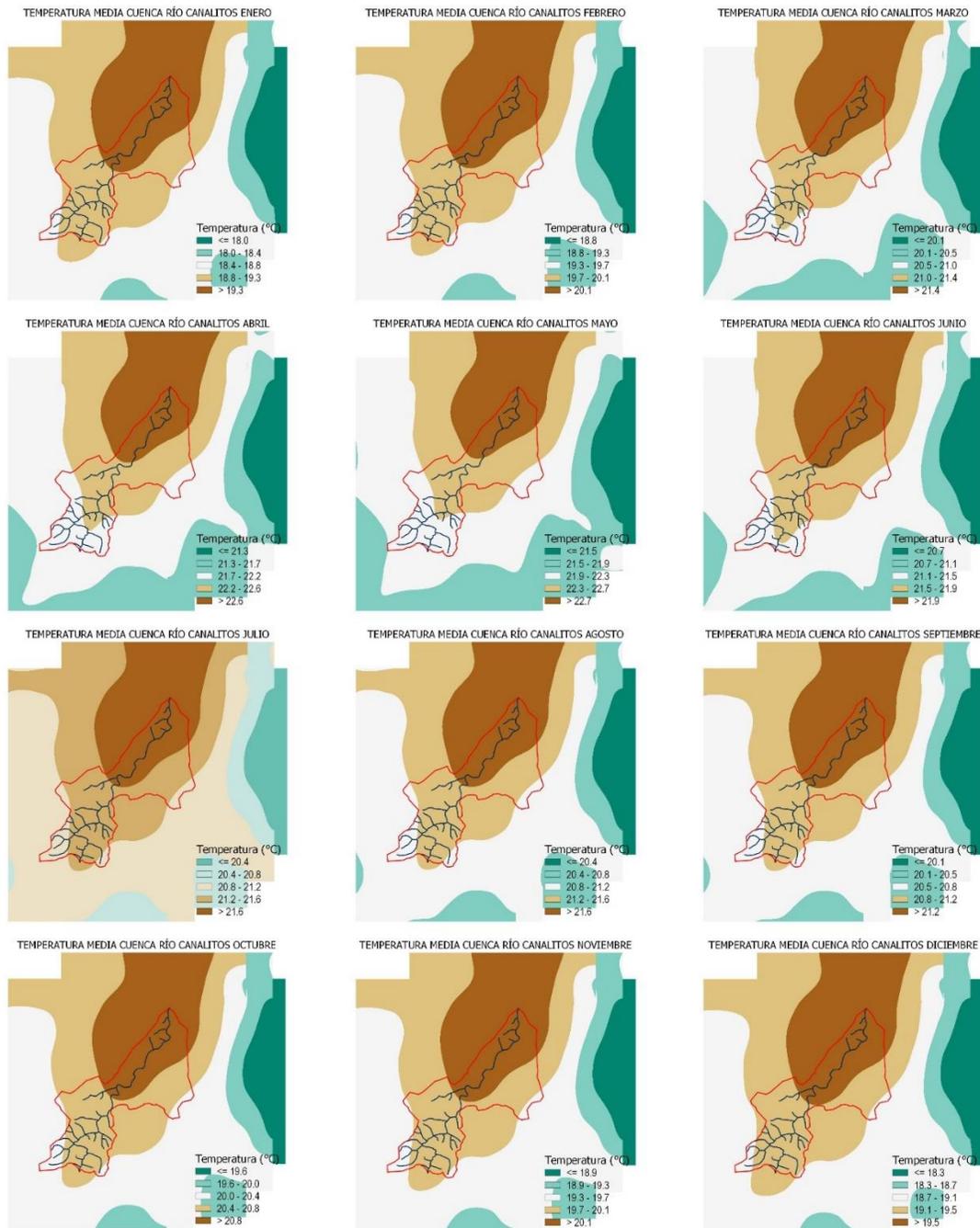
Temperatura Media cuenca río Olímpico



Nota. Temperatura por meses. Elaboración propia, realizada con QGIS.

Figura 18.

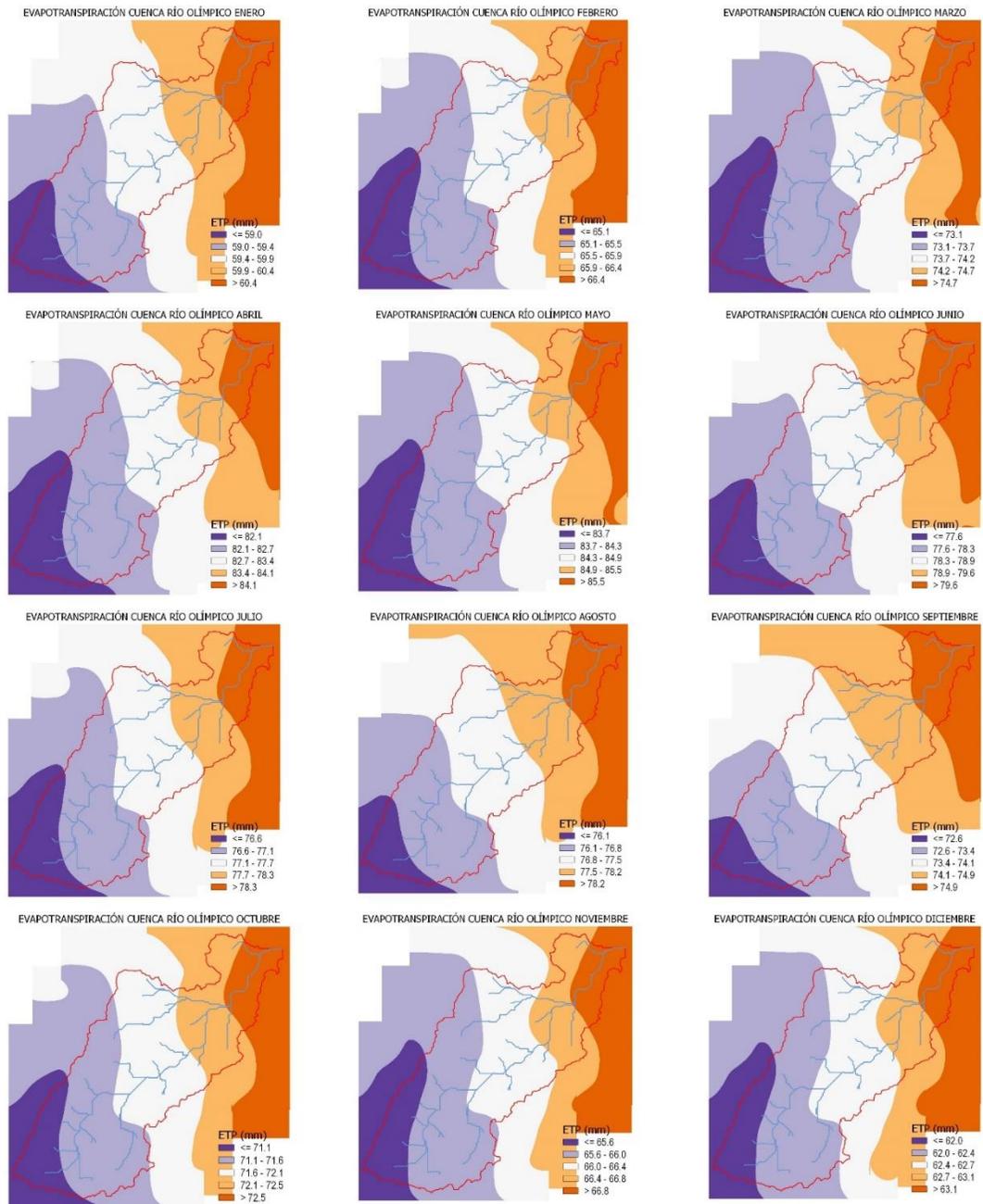
Temperatura Media cuenca río Canalitos



Nota. Temperatura por meses. Elaboración propia, realizada con QGIS.

Figura 19.

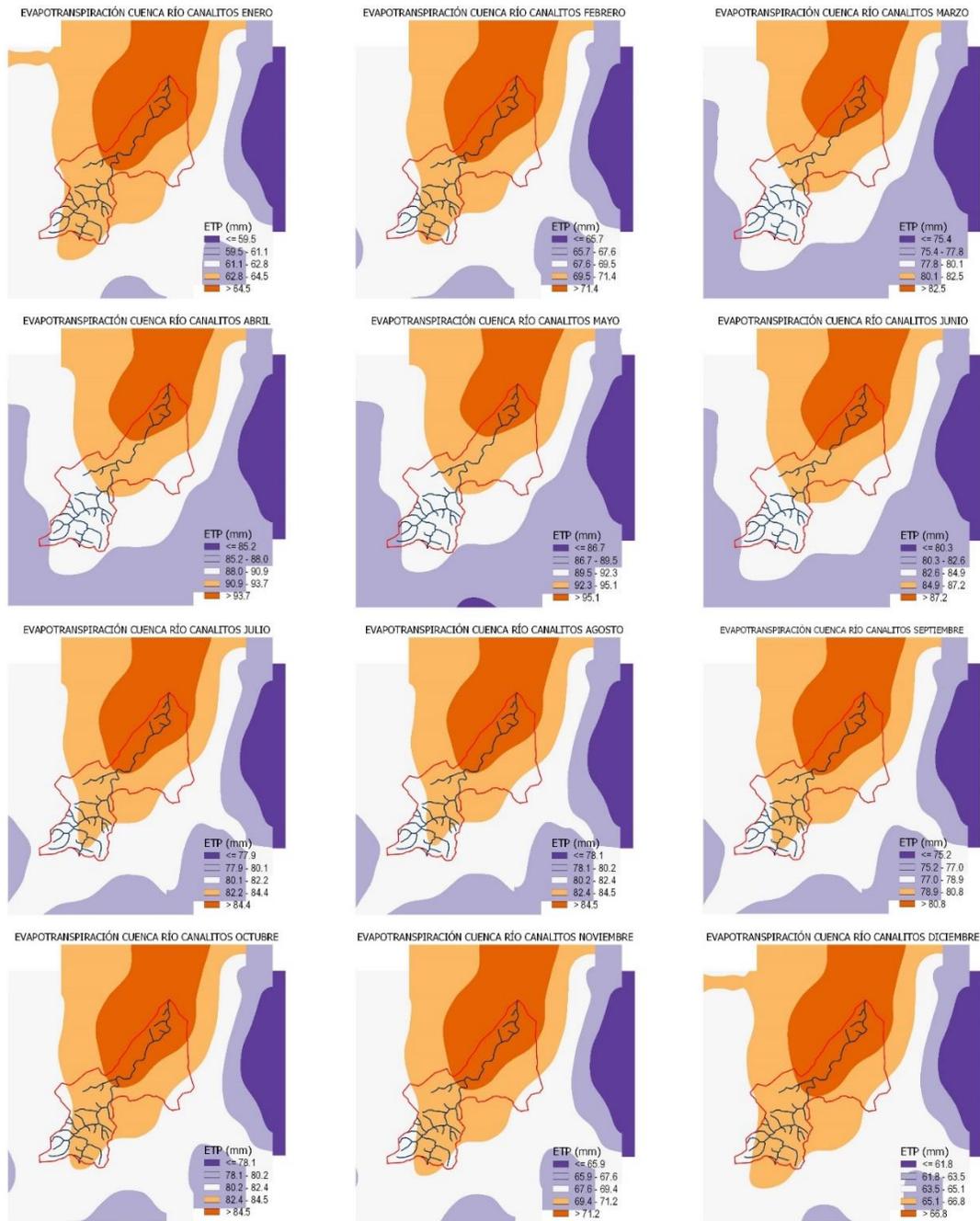
Evapotranspiración cuenca río Olímpico (Thornthwaite)



Nota. Evapotranspiración por meses. Elaboración propia, realizada con QGIS.

Figura 20.

Evapotranspiración cuenca río Canalitos (Según Thornthwaite)



Nota. Evapotranspiración por meses. Elaboración propia, realizada con QGIS.

2.5.10. Mapa morfométrico

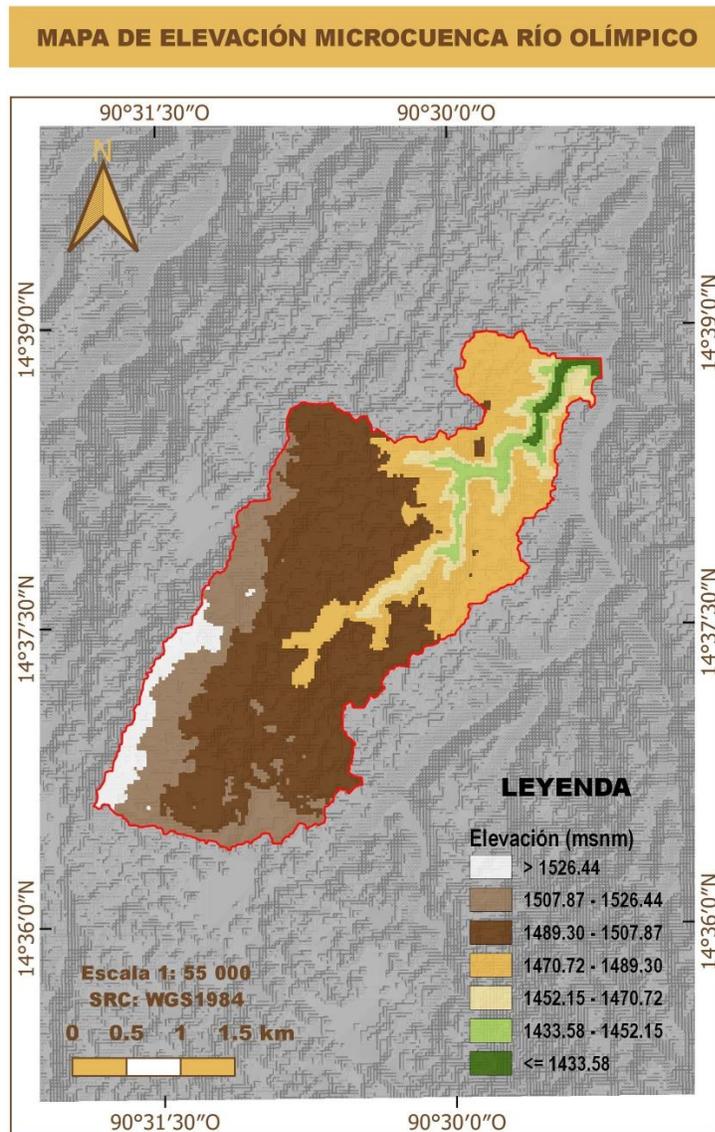
El estudio de variables de superficie, de relieve y drenaje; que permite conocer las características físicas de la cuenca, permitiendo realizar comparaciones entre varias cuencas.

2.5.10.1. Mapa altitud

Es la variación altitudinal de la cuenca hidrográfica que incide directamente sobre el clima y, por tanto, sobre el régimen hidrológico, además de brindar una base para caracterizar zonas climatológicas y ecológicas diferentes dentro de la misma cuenca.

Figura 21.

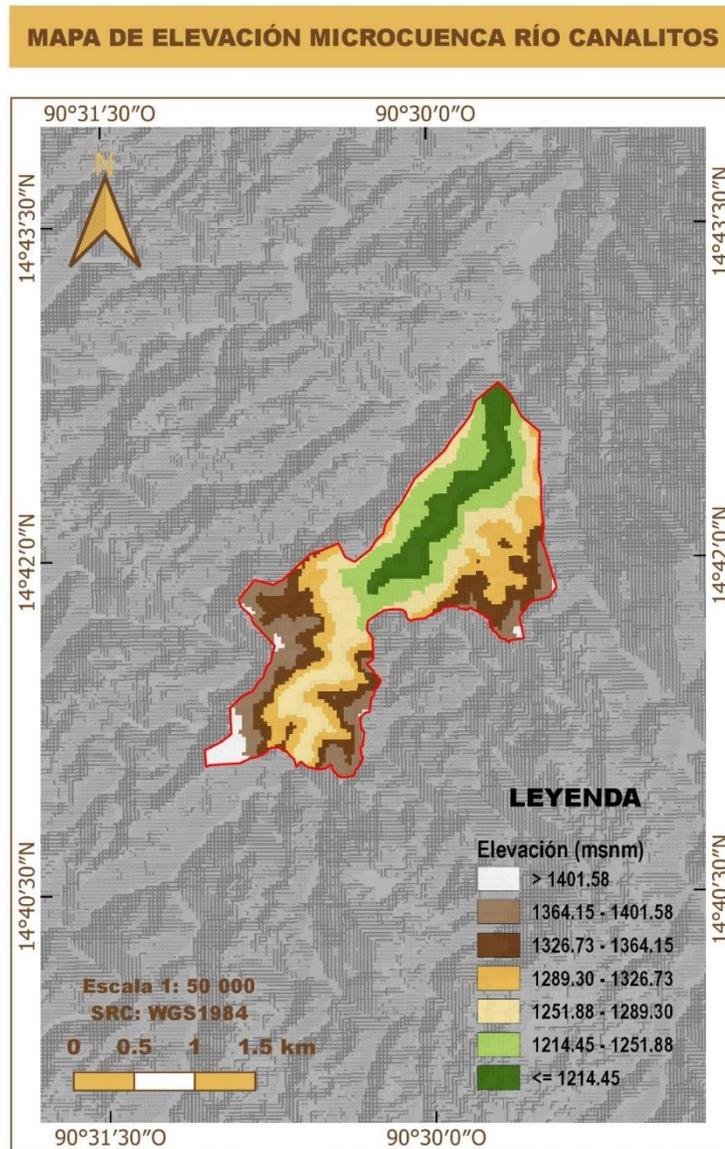
Mapa Altitud cuenca río Olímpico



Nota. Elevación de la micro cuenca. Elaboración propia, realizado con QGIS.

Figura 22.

Mapa Altitud cuenca río Canalitos



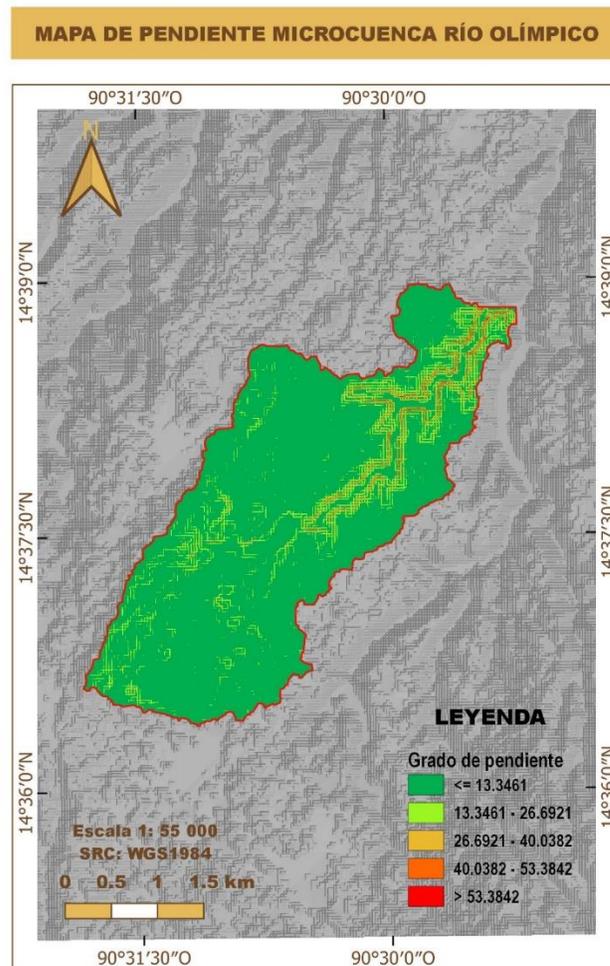
Nota. Elevación de la micro cuenca. Elaboración propia, realizado con QGIS.

2.5.10.2. Mapa Pendiente

Se utiliza para áreas extensas y con importantes diferencias de unas zonas a otras, permitiendo además diferenciar tantas clases de pendientes como se quiera.

Figura 23.

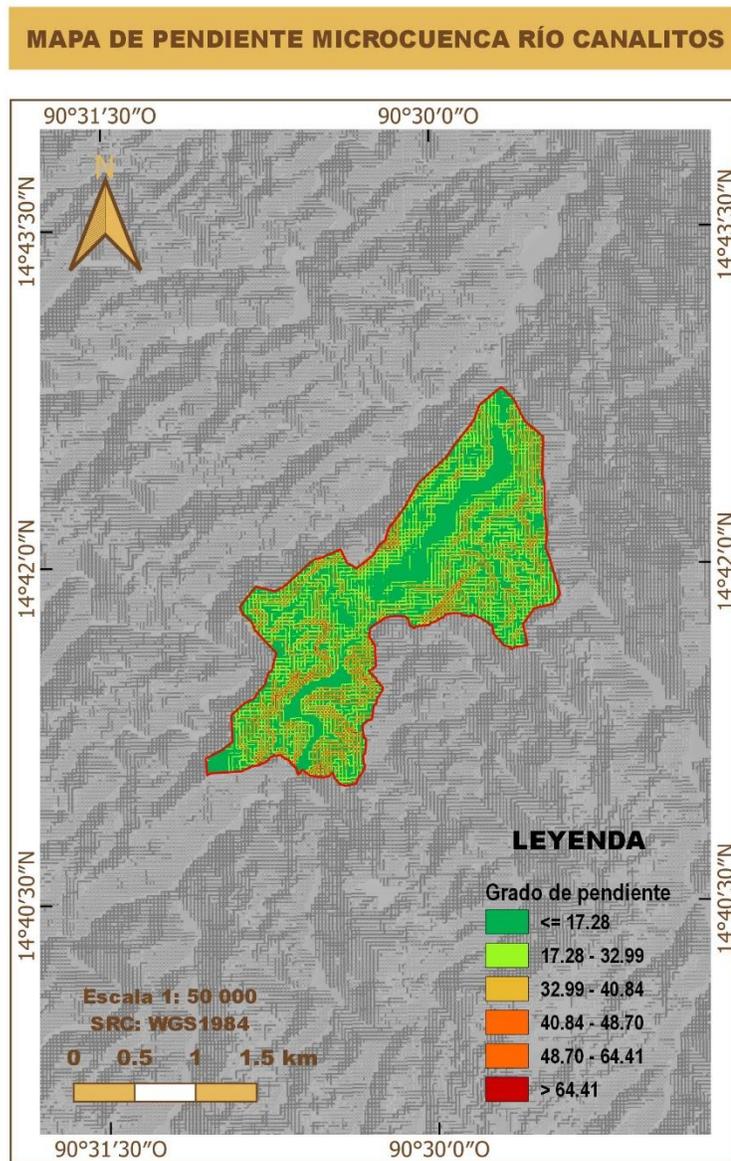
Mapa Pendiente cuenca río Olímpico



Nota. Pendiente de la micro cuenca. Elaboración propia, realizado con QGIS.

Figura 24.

Mapa de Pendiente cuenca río Canalitos



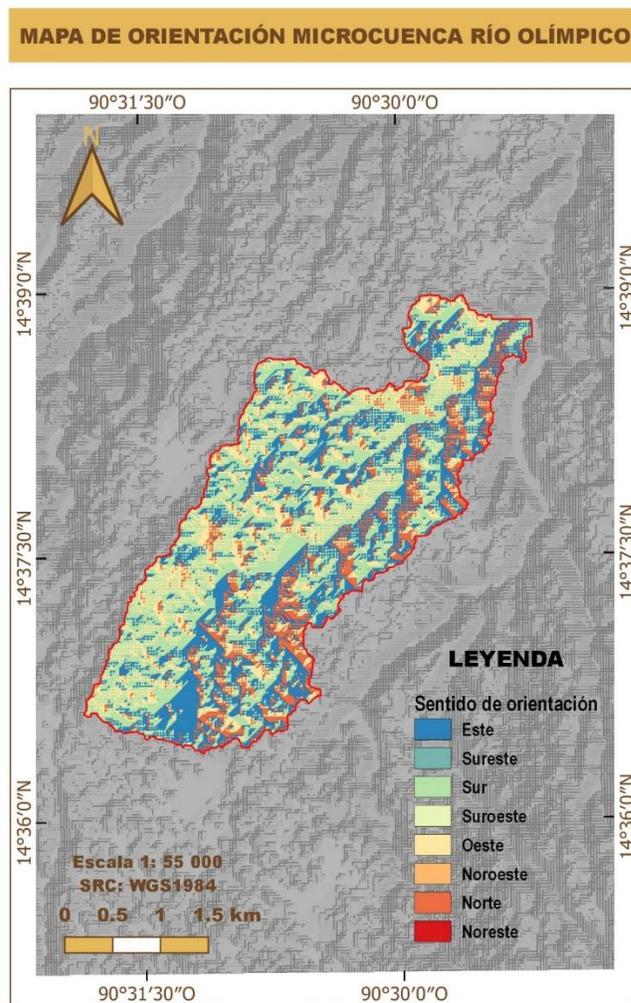
Nota. Elevación de la micro cuenca. Elaboración propia, realizado con QGIS.

2.5.10.3. Mapa orientación

Sirve para planificar la ubicación de las zonas residenciales propensas a ser afectadas primero por la escorrentía.

Figura 25.

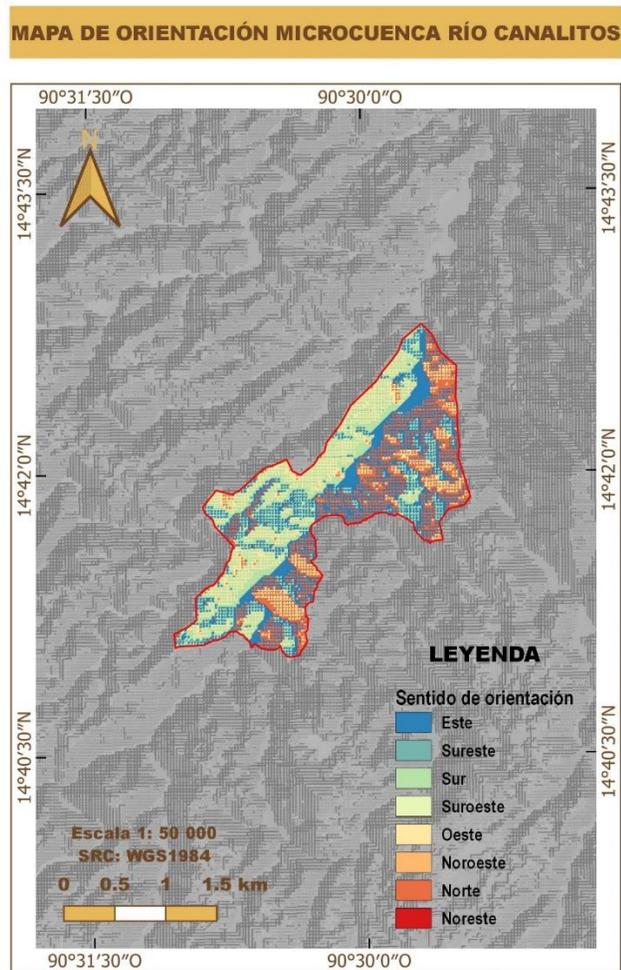
Mapa orientación cuenca río Olímpico



Nota. Orientación de la micro cuenca. Elaboración propia, realizado con QGIS.

Figura 26.

Mapa orientación cuenca río Canalitos



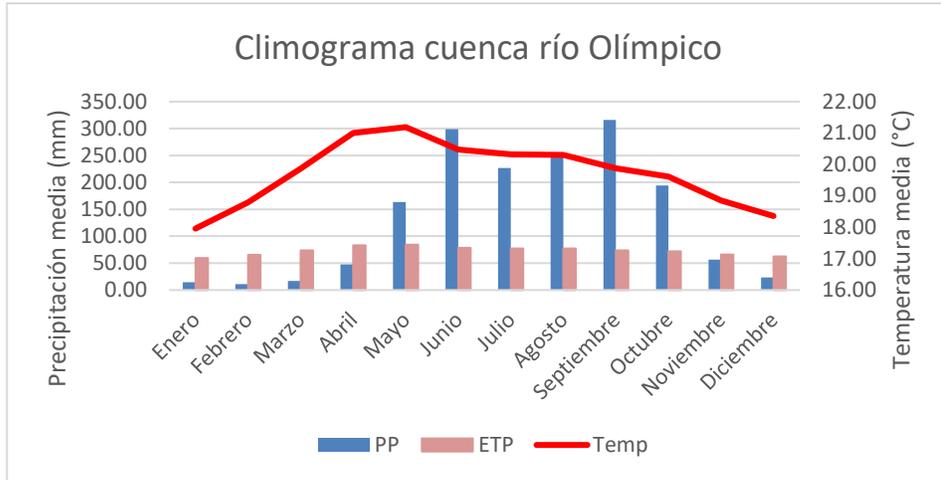
Nota. Elevación de la micro cuenca. Elaboración propia, realizado con QGIS.

2.5.11. Gráficas hidroclimáticas de la cuenca río Canalitos y río Olímpico

El climograma es un gráfico que sintetiza las características principales del clima de una determinada localidad.

Figura 27.

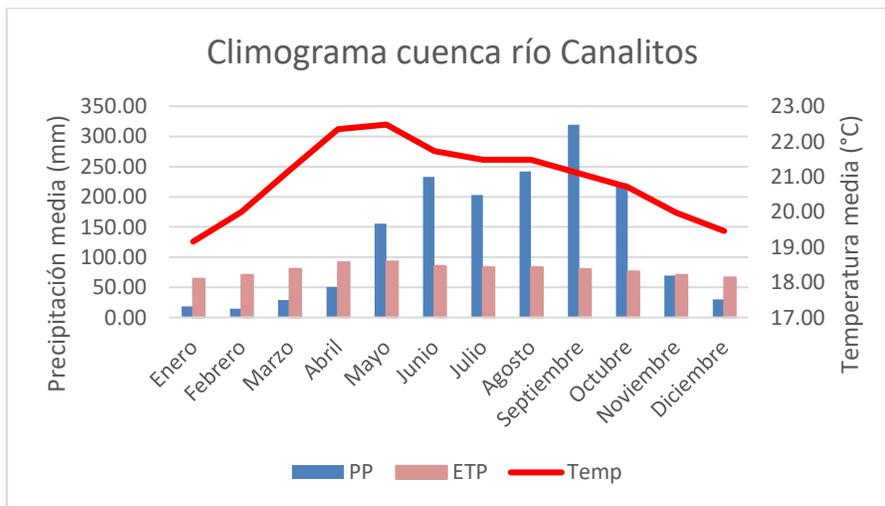
Climograma cuenca río Olímpico



Nota. Parámetros indicados en la figura. Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 28.

Climograma cuenca río Canalitos



Nota. Parámetros indicados en la figura. Elaboración propia, realizado con Excel.

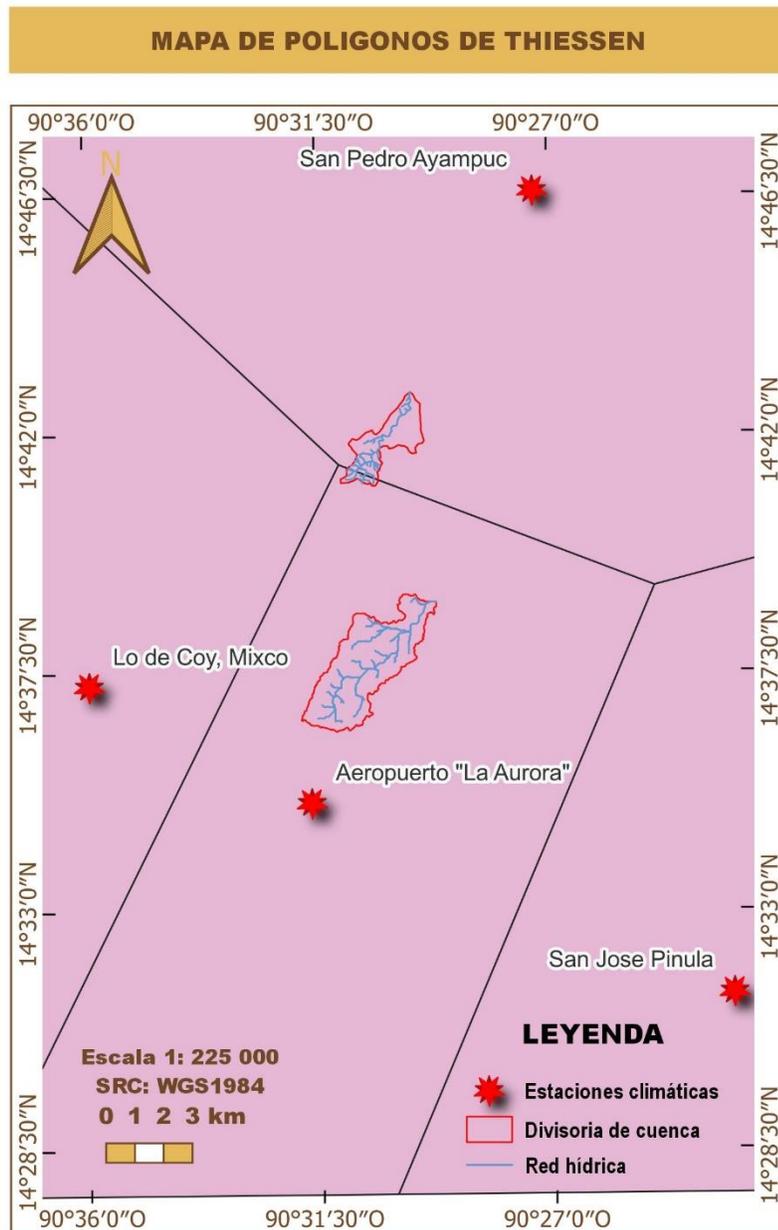
Ambas cuencas clima tropical seco porque presentan una estación seca durante más de tres meses y las temperaturas cálidas o calurosas todo el año.

2.5.12. Mapas con representación del polígono de Thiessen

El método de polígonos de Thiessen se utiliza para dividir el área cubierta por las entidades de puntos de entrada en zonas de Thiessen o proximales.

Figura 29.

Mapa polígono Thiessen



Nota. División de las áreas cubiertas. Elaboración propia, realizado con QGIS.

Se puede observar que en la cuadrícula de los polígonos, existen Estaciones donde se puede obtener información de precipitación de parte del INSIVUMEH, sin embargo; debido a la falta de información por parte del Instituto, se obtiene el mapa únicamente de referencia.

También, se puede observar la diferencia de tamaño de cada una de las cuencas y su ubicación.

3. IMPORTANCIA DE ESTUDIO DE CUENCAS

- **Gestión de Recursos Hídricos:** la caracterización climatológica permite comprender los patrones de precipitación, evapotranspiración y escorrentía en una cuenca. La morfometría, por otro lado, ayuda a cuantificar la forma y la topografía de la cuenca. Estos datos son esenciales para la planificación y gestión de recursos hídricos, incluida la regulación de caudales, la gestión de inundaciones y la provisión de agua para consumo humano, agricultura e industria.
- **Diseño de Infraestructura:** los datos climatológicos y morfométricos son críticos para el diseño y la construcción de infraestructuras hidráulicas como represas, embalses, canales y sistemas de drenaje. Estos proyectos requieren una comprensión precisa de las condiciones climáticas y la forma de la cuenca para garantizar un rendimiento óptimo y la seguridad.
- **Gestión de Riesgos Naturales:** conocer las características climáticas y morfométricas de una cuenca es fundamental para evaluar y mitigar los riesgos naturales, como inundaciones, deslizamientos de tierra y sequías. Estos datos permiten la planificación de medidas de adaptación y respuesta ante eventos extremos.
- **Conservación de Ecosistemas:** comprender la morfometría de una cuenca ayuda en la identificación de áreas críticas para la conservación de ecosistemas acuáticos y terrestres. Esto es importante para proteger la biodiversidad y mantener la calidad del agua.

- Planificación Urbana y Ordenamiento Territorial: la información sobre cuencas es esencial en la planificación del uso de la tierra y el desarrollo urbano sostenible. Ayuda a evitar la construcción en áreas propensas a inundaciones o deslizamientos y promueve prácticas de desarrollo que respeten la cuenca.
- Evaluación de Impacto Ambiental: los estudios de cuencas son críticos en la evaluación de impacto ambiental de proyectos de desarrollo. Ayudan a determinar cómo un proyecto afectará los recursos hídricos y el medio ambiente circundante.
- Investigación Científica: estos estudios proporcionan datos valiosos para la investigación científica en diversas disciplinas, como la hidrología, la climatología, la geomorfología y la ecología.
- Planificación de Adaptación al Cambio Climático: en un contexto de cambio climático, la caracterización climatológica es esencial para comprender cómo las pautas climáticas están cambiando en una cuenca y cómo se pueden tomar medidas para adaptarse a estos cambios.

CONCLUSIONES

1. Se realizó la caracterización morfométrica e hidroclimática de la cuenca del río Olímpico y río Canalitos, con base en los datos históricos de precipitación en un rango de 13 años, siendo desde el 1998 a 2015 extraídos de Base de Datos de Centro América, el cual recolecta la precipitación diaria de las estaciones de las instituciones meteorológicas de cada país.
2. Para la caracterización se utilizó la herramienta ArcGis 10.3 y se generaron mapas de ubicación, con ello se logró identificar los parámetros morfométricos generales como el área que caracterizó a la unidad hidrográfica como lo fueron las cuencas del río Olímpico y río Canalitos. Al contar con dicha información, se logró identificar la morfometría de ambas cuencas, dando como resultado que las cuencas del río Olímpico y Canalitos presentan una cuenca con factor forma de 0.02559 y 0.02579, respectivamente, como se puede observar en la Tabla No. 4 y No. 6; lo que nos indica que la cuenca es alargada, contando con un bajo potencial de crecida. Asimismo, afirmamos que la cuenca presenta un coeficiente de capacidad de bajo torrencial y forma alargada, siendo así que no se producirán corrientes de agua de forma repentina.
3. Para el río Olímpico, siendo una cuenca medianamente accidentado, indica que, de baja a moderada influencia a las crecidas instantáneas, por el otro lado para el río Canalitos, siendo una cuenca altamente accidentada. Ambas cuencas son ríos maduros, según la curva hipsométrica indicadas en Figura 11 y 12, lo cual se interpreta que se

presentan en valles amplios, son estables y la sección transversal en cada tramo es capaz de transportar la carga de sedimento en todo su recorrido. El río ha alcanzado su perfil de equilibrio, tiene un curso medio, su velocidad disminuye un poco debido al transporte de material y rocas que ensanchan el cauce del río formando valles en forma de U, esto lo vuelven caudaloso y navegable.

4. Para los resultados de la representación hidroclimática se interpreta, por medio de los climogramas, que, de los meses de junio a octubre, se presentan lluvias, como se observa en la Figura 15 y 16, y una baja temperatura respecto a la temperatura más alta del año, como se observa en la Figura 17 y 18, esto es para ambas cuencas. Para la cuenca río Olímpico se observa que en el área este se presenta una mayor evapotranspiración, siendo así que el área vegetal en dicha área estará en sus condiciones óptimas, por el otro lado para la cuenca río Canalitos, se observa una evapotranspiración media y baja en su mayoría, siendo así un área seca. Al contar con la información de las curvas IDF, el tiempo de precipitación y temperatura de las cuencas, se podrán realizar proyectos de mejora y ordenamiento en el área hídrica, para abastecimiento a la población de la zona 24 y zona 5; ya que la demanda con la que cuentan no es suficiente por medio de un pozo de absorción y posteriormente contar con servicio de drenajes.
5. Se presentaron mapas morfométricos de las cuencas, y para los mapas hidroclimáticos se presentan por mes, durante un año. Verificando dichos resultados, podemos interpretar que las cuencas, a pesar de la cercanía, presentan características diferentes para lograr realizar distintos proyectos en las cuencas dirigidos por la Municipalidad de Guatemala. Al conocer la morfometría e información hidroclimática de cuencas en la capital, se

podrán plantear leyes y decretos sobre el aprovechamiento hídrico para bien de la población y áreas aledañas, ya que las características de las cuencas, como el área, y que ambas cuencas son cuencas maduras, llegan a cumplir para la implementación de futuros proyectos para el aprovechamiento de las mismas.

6. El estudio de morfometría y representación hidroclimática de las cuencas del río Canalitos y río Olímpico, nace a raíz de que las cuencas de Guatemala presentan una falta de información actualizada, generando un déficit de desarrollo de proyectos y manejo adecuado del recurso hídrico. Contando con la información de las cuencas; creando un ordenamiento e inicio a proyectos de desarrollo en el área de estudio, evitando la falta de planificación del sistema hídrico en la ciudad de Guatemala.

RECOMENDACIONES

1. Continuar con la implementación de proyectos en las áreas de oportunidad para el crecimiento económico en el área poblacional, conociendo los puntos de oportunidad para plantación de vegetación sin ocasionar cambios en el suelo.
2. Contemplar la correcta implementación de leyes acerca del estudio morfométrico en demás cuencas del departamento de Guatemala, implementando áreas generales entre cuencas para combinar población en común para la creación e inicio de proyectos, ya sea ambientales, económicos, sociales, entre otros.
3. Aprovechar que ambas cuencas presentan un área de bajo torrencial para implementación de proyectos en donde existe un bajo nivel de crecidas.
4. Analizar el diseño de infraestructura, servirá para el estudio hidroclimático con la finalidad de poder ubicar las razones de áreas de hundimiento, conociendo el historial del área y prevenir más áreas de hundimiento.

REFERENCIAS

- Aprende Guatemala. (31 de julio de 2017). *Municipio de Guatemala, Guatemala*. AG. <https://aprende.guatemala.com/historia/geografia/municipio-de-guatemala-guatemala/>
- Flores, P. (31 de agosto de 2022). *Canalitos lucha para que no lleven su agua a zona 16*. QUORUM. https://quorum.gt/poderes/agua_canalitos/
- Fundación Universitaria Agraria de Colombia. (2018). *Morfometría*. (p.10). CVC. https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes_y_Programas/Planes_de_Ordenacion_y_Manejo_de_Cuencas_Hidrografica/La%20Vieja%20%20POMCA%20en%20Ajuste/Fase%20Diagnostico/7_Capitulo1_Diagnostico_Morfometria.pdf
- Garzaro, C. (27 de septiembre de 2014). *Historia de Zona 24, Canalitos*. Guate Historia. <https://guatehistoria.com/historia-de-zona-24-canalitos/>
- Lara, C. (2012). *La Nueva Guatemala de la Asunción, historia de 236 años*. La Hora. <https://hemeroteca.lahora.gt/la-nueva-guatemala-de-la-asuncion-en-sus-234-anos-de-fundacion/>
- Lesniewski, R. (s.f.). *Mapa Político Administrativo de la capital de Guatemala Ciudad de Guatemala*. Alamy. <https://www.alamy.es/foto-mapa-politico-administrativo-de-la-capital-de-guatemala-ciudad-de-guatemala-eps-134443892.html>

Mata, J. (17 de julio de 2020). *La Historia de la Zona 5*. Feature. <https://chavitos.juanpablomata.com/2020/07/la-historia-de-la-zona-5.html>

Municipalidad de Guatemala. (2011). *Dirección de Control Territorial. Unidad de Información de la Expediente No 194296-2011*. Autor.

Municipalidad de Guatemala. (s.f.). *Historia de la Nueva Guatemala de la Asunción*. Muniguat. <https://www.muniguat.com/historia/>

Priga. (s.f.). *Partes de una cuenca hidrográfica*. Guía Ciudadana para protección del recurso hídrico. https://issuu.com/jmillan/docs/guia_recursos_hidricos_08-20/s/10870935

Universidad Rafael Landívar (2005). *Situación del Recurso hídrico en Guatemala*. Autor. <https://desastres.medicina.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0135/doc0135.pdf>

Weather Spark (s.f.). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Ciudad de Guatemala*. WS. <https://es.weatherspark.com/y/11693/Clima-promedio-en-Ciudad-de-Guatemala-Guatemala-durante-todo-el-a%C3%B1o#:~:text=En%20Ciudad%20de%20Guatemala%2C%20la,m%C3%A1s%20de%2029%20%C2%B0C>.

ANEXOS

Anexo 1.

Resúmenes máximos

Etiquetas de fila	Máx. de La			
	Aurora	Máx. de Lo de Coy, Mixco	Máx. de San Jose Pinula	Máx. de San Pedro Ayampuc
2010	52.62453	61.68509	78.27834	61.54964
2011	66.37929	56.11073	107.46538	67.39776
2012	38.22293	50.44652	60.89971	33.25599
2013	41.38168	38.90932	49.80347	45.3248
2014	35.30684	37.59053	65.36774	45.38372
2015	44.01499	42.52762	68.89304	34.21471
2016	24.01394	26.66403	42.33241	43.0294
2017	28.63002	32.71954	45.92496	32.65845
2018	24.28235	29.05711	40.09855	28.89629
2019	37.27032	33.1787	48.92342	32.50666
2020	49.85556	60.26051	69.54799	57.11662
2021	34.2416	36.95565	50.14571	44.94075
2022	44.05909	52.64541	82.1448	45.49942
2023	0	0	0	0
Total general	66.37929	61.68509	107.46538	67.39776

La Aurora (Resumen)											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
3.131763	3.935281	4.406447	15.314872	52.62453	30.98127	26.49366	29.04078	33.818573	18.11604	4.24056	2.456693
3.685338	5.993575	10.23036	10.821854	20.08179	44.14396	20.07486	39.17028	66.37929	58.88892	6.833684	0
7.408814	4.4654875	3.929012	12.119789	23.833881	22.6286	17.80918	38.22293	22.9381	18.034414	4.163498	2.682263
2.973646	4.05312	9.357069	10.192812	25.5839	38.7022	33.86761	41.38168	24.44311	18.66118	25.4037	0
0	3.552324	10.04897	4.591211	19.6335	35.30684	10.04482	28.70933	23.7521	33.30146	6.842455	2.3538508
4.817447	3.415414	6.398332	9.833042	17.83552	27.55385	16.27916	12.95249	44.01499	27.53116	12.98192	0
3.601769	0	6.438955	8.604103	16.59371	16.89249	24.01394	20.17054	21.27805	20.37419	5.761396	3.343902
0	2.957846	7.127154	3.391786	20.23268	19.81137	19.15579	17.89348	28.63002	17.18538	6.69236	2.6190441
3.771192	3.013511	6.192803	9.071395	11.39295	23.91006	18.53987	20.85338	24.28235	16.36422	19.14433	2.98807
0	3.42452	3.338356	13.14156	19.15569	12.90248	21.27772	21.32741	37.27032	36.41646	4.294622	2.79611
4.251275	2.992416	3.973278	7.084207	49.85556	25.83672	30.21303	23.13375	32.51549	42.64041	30.96449	9.705721
5.82621	3.593601	5.192827	12.393785	14.89791	29.85736	34.2416	23.49816	20.71292	20.48038	3.042916	2.4859872
6.705837	3.600307	5.877254	10.63865	19.6529	44.05909	26.08947	32.01197	27.95009	43.05678	25.14053	4.263127

Continuación del Anexo 1.

Ayampuc											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0	0	2.776091	21.40422	61.54964	40.8959	34.36572	38.75476	26.79074	25.233192	15.789513	2.42656
0	0	12.00594	13.982277	24.39606	31.51243	35.85664	30.25817	32.23005	67.39776	16.33654	3.971982
0	0.8304982	4.212318	10.214223	22.87313	14.989363	16.47987	32.3757	18.220863	33.25599	4.500779	4.205757
0	0	8.646656	17.39619	14.810866	23.22351	25.76388	30.79617	29.26224	45.3248	12.92128	3.780826
0	0	16.75792	7.187934	23.11641	45.38372	12.858818	29.69043	20.62683	44.07191	8.39292	4.212689
1.455621	0	6.147041	12.735509	17.89401	26.36233	15.31745	25.41346	32.37851	34.21471	13.27222	0
0	0	4.709653	9.267904	20.79402	18.27369	20.23691	23.33632	43.0294	28.78852	5.123174	1.99731
0	0	7.307589	7.506229	25.6713	28.77713	18.90598	12.358118	32.65845	18.87015	6.981175	3.2904079
0	0	4.077905	7.082859	18.858747	28.89629	20.11158	26.8462	20.86053	15.54372	23.93691	0.6867027
0	0	3.022443	28.70833	17.9975	16.27514	16.83349	21.58296	30.72241	32.50666	5.0542	0
0	0	3.227587	14.459373	57.11662	24.45632	41.88127	28.66048	41.28698	27.28988	21.56341	4.847548
1.691991	0	2.792574	16.865379	16.731119	29.75285	44.94075	36.37151	18.60228	22.4742	5.47131	4.6862617
1.582488	0	2.394332	16.098143	26.24364	38.36026	24.32984	45.49942	25.68559	40.97777	18.89602	4.675354

Nota. Nota general de la figura. Obtenido de Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station Data CHIRPS (2015) v2.0. *Factibilidad del uso de bases de datos climáticos para seguros de índice en América Latina* (24). IRI Colombia