



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

**APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y
DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE UNA CUENCA
HIDROGRÁFICA**

Jonahatan Alexander Illescas Chico
Asesorado por el Ing. Isaías España Pixtun

Guatemala, noviembre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y
DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE UNA CUENCA
HIDROGRÁFICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JONAHATAN ALEXANDER ILLESCAS CHICO
ASESORADO POR EL ING. ISAÍAS ESPAÑA PIXTUN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Tícun Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
EXAMINADOR	Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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:

APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 04 de noviembre de 2015.

Jonahatan Alexander Illescas Chico

Guatemala, 11 de julio de 2016

Ingeniero
Claudio Cesar Castañon Contreras
Coordinador del Área de Hidráulica
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería/USAC

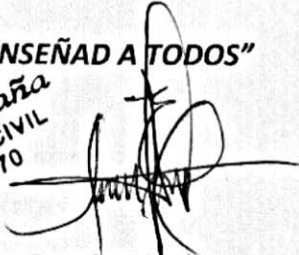
Ingeniero Castañon:

Por medio de la presente me dirijo a usted para desearle éxitos en sus labores diarias.

El motivo de la presente es para informarle que he asesorado al estudiante JONAHATAN ALEXANDER ILLESCAS CHICÓ, con número de carné 95-16249, en su trabajo de graduación que lleva por título **APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS MORFO MÉTRICOS DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA.**

Luego de haber propuesto correcciones y el estudiante haberlas realizado, **apruebo** este trabajo de graduación para que el mismo sea sometido a su consideración y posteriormente a una aprobación final.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"
Isaias España
INGENIERO CIVIL
COL. 8,870

Isaias España Pixtún
Ingeniero Civil
Col. No. 8670



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
11 de octubre de 2016

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA**, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil Jonahatan Alexander Illescas Chico, quien contó con la asesoría del Ing. Isaías España Pixtun.

Considero que este trabajo está bien desarrollado y representa un aporte para el departamento y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑANZA A TODOS

Ing. Claudio César Castañón Contreras
Jefe del Departamento de Hidráulica



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
USAC

Más de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua

7/06/2016





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



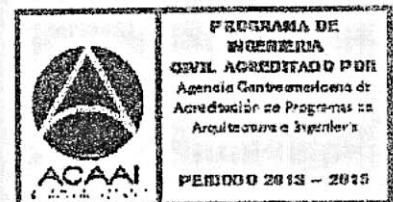
El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Isaías España Pixtún y del Coordinador del Departamento de Hidráulica Ing. Claudio César Castañón Contreras, al trabajo de graduación del estudiante Jonahatan Alexander Illescas Chico, titulado **AMPLIACIONES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, noviembre 2016
/mrrm.

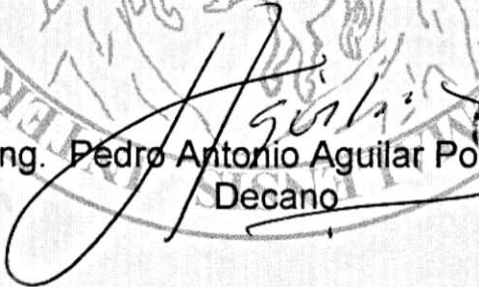
Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





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: **APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA**, presentado por el estudiante universitario: **Jonahatan Alexander Illescas Chico**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, noviembre de 2016

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios Nuestro Señor

Gracias por las bendiciones y fortaleza, para hacer realidad las metas en mi vida.

Mis padres

Por su incansable apoyo, sus consejos y el compartir conmigo las tristezas y alegrías, sin importar las condiciones, desvaneciendo las penas, convirtiéndolas en motivaciones y nuevos retos en mi vida.

Mi esposa

Por su amor, paciencia y entrega en este meta que hoy alcanzamos.

Mis hijas

Que este logro sirva como ejemplo para sus metas trazadas a lo largo de su vida.

AGRADECIMIENTOS A:

- A Dios** Por el regalo de la vida y poder así cumplir de su mano las metas y anhelos.
- Universidad de San Carlos de Guatemala** Por darme la oportunidad de formarme como profesional.
- Mis padres** Raquel Chicó Orantes de Illescas y Edgar Aroldo Illescas Cruz, por ser los cimientos y pilares fundamentales en mi vida, quienes me apoyaron siempre no importando las circunstancias ni condiciones, siempre han estado con la disposición anteponiendo mis intereses a los suyos, por sus sabios consejos y el impulso que me han dado para alcanzar así este tan anhelado logro.
- Mi esposa** Brenda Noemí Rivas Arriaga, por su amor incondicional, apoyo y paciencia en todo momento, para juntos alcanzar esta nuestra meta.
- Mis hijas** Jackeline Sucely y Raquel Alejandra Illescas Rivas, por su comprensión y el amor que me ha servido de motor para poder ser perseverante y alcanzar así un sueño.

Mis hermanos

Edgar Aroldo y Marvin Obbed Illescas Chicó, por el apoyo total, por motivarme y creer en mí en todo momento y ser mi guía y el ejemplo a seguir infinitas gracias.

Mis sobrinos

Jonathan André, Andrea y Elena Illescas, que está por demás decirles que son como mis hijos y este logro sirva de ejemplo para alcanzar sus sueños.

Mi amigo

Jorge Hernández que es como mi hermano, por el apoyo absoluto siendo parte importante de esta meta.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. RECURSO AGUA	1
1.1. Definiciones.....	1
1.2. Actualidad.....	1
1.3. Gestión ambiental.....	2
1.4. Usos del agua.....	2
1.4.1. Nivel internacional	3
1.4.2. Nivel nacional	4
2. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	9
2.1. Definiciones	9
2.2. Generalidades	9
2.3. Componentes de Sistema de Información Geográfica (SIG)...	10
2.3.1. Hardware	11
2.3.2. Software	11
2.3.3. Datos	11
2.3.4. Personal	11
2.3.5. Métodos y procedimientos.....	12
2.4. Tipos.....	12

2.5.	Componentes y propiedades de los datos geográficos.....	13
2.5.1.	Componente espacial.....	13
2.5.2.	Componente temática	14
2.5.3.	Componente temporal.....	14
2.6.	Almacenamiento de datos	15
2.7.	Diseño de base de datos.....	15
2.8.	Modelación hidrológica.....	15
2.9.	Aplicaciones	16
2.9.1.	Aplicaciones de administración y gestión	16
2.9.2.	Aplicaciones socioeconómicas.....	16
2.9.3.	Aplicaciones en Ingeniería Civil.....	17
2.9.3.1.	Aplicaciones al medio ambiente	17
2.9.3.2.	Aplicaciones en hidrología.....	18
3.	HIDROLOGÍA	21
3.1.	Conceptos básicos de hidrología	21
3.2.	División de la hidrología	23
3.3.	Ciclo hidrológico	24
3.4.	Situación del recurso agua en Guatemala	25
3.5.	Sistemas de información geográfica aplicados en hidrología...26	
3.5.1.	Antecedentes	28
3.5.2.	Tipos	28
3.5.3.	Ventajas	30
3.5.4.	Base de datos	31
3.5.5.	Personal humano	32
3.6.	Cuencas hidrográficas.....	32
3.6.1.	Definición.....	33
3.6.2.	Delimitación.....	33
3.6.3.	División.....	34

3.6.4.	Determinación de las características morfológicas de una cuenca.....	35
3.6.4.1.	Definición.....	35
3.6.4.2.	Tipos.....	36
4.	APLICACIÓN CASO PRÁCTICO	39
4.1.	Antecedentes.....	39
4.2.	Determinación de las características morfológicas de la cuenca del río Panajachel	41
4.3.	Método aplicado	41
4.3.1.	Descripción	41
4.3.2.	Uso del programa Qgis	43
4.3.2.1.	Antecedentes.....	43
4.3.2.2.	Características.....	44
4.3.3.	Desarrollo	44
4.3.3.1.	Paso 1: Selección del área	45
4.3.3.2.	Paso 2: Generación de cuencas.....	51
4.3.3.3.	Cálculo de parámetros.....	54
4.3.3.4.	Resultados.....	68
4.3.3.5.	Curva hipsométrica.....	71
4.4.	Análisis de resultados.....	73
4.4.1.	Generalidades	74
4.4.2.	Tabulación y análisis información	74
4.4.3.	Gráficas y tablas	75
	CONCLUSIONES	77
	RECOMENDACIONES	79
	BIBLIOGRAFÍA.....	81

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Distribución del agua.....	2
2.	Cuencas hidrográficas República de Guatemala	5
3.	Aplicación de sistemas de Información geográfica	10
4.	El ciclo hidrológico a nivel de cuenca.....	25
5.	Imagen de satélite Landsat del territorio de una cuenca hidrográfica ..	27
6.	Tipos diferentes de información geográfica.....	29
7.	Cuenca topográfica y cuenca vertiente	34
8.	Ubicación de la subcuenca del río Panajachel.....	40
9.	Detalle área de interés sub cuenca Rio Panajachel y Cuenca del lago Atitlán	42
10.	Datos básicos.....	46
11.	Botón: realizar una selección de objetos espaciales utilizando una expresión.....	46
12.	Menú de selección de objetos espaciales por expresión	47
13.	Botón: realizar una selección de objetos espaciales utilizando una expresión.....	48
14.	Resultados de la acción zoom a lo seleccionado	48
15.	Cuadro de diálogo Clipper.....	49
16.	Resultados herramienta Clipper	50
17.	Cuadro de diálogo herramienta r.watershed primera parte	51
18.	Resultados del proceso en el archivo Basin.tif	54
19.	Herramienta Poligonizar	55

20.	Botón de selección de objetos espaciales por polígono o por click único	56
21.	Guardar capa vectorial como... ..	56
22.	Resultado Capa Cuenca Río Panajachel.....	57
23.	Botón Abrir Tabla de Atributos	58
24.	Despliegue de la Tabla de Atributos de la capa CuencaRPanajachel.shp	60
25.	Formulario de calculadora de campos	60
26.	Formulario para cálculo de área de la cuenca	61
27.	Formulario para obtener el cálculo de perímetro de la cuenca	63
28.	Formulario de Calculadora de Campos para obtener el Radio circular	65
29.	Herramienta de selección de objetos espaciales por ubicación.....	67
30.	Ubicación del río Panajachel	68
31.	Imagen de tabla de resultados presentados por QGIS 2.14.0	69
32.	Mapa resultado Cuenca río Panajachel	70
33.	Herramienta Curva hipsométrica río Panajachel	71
34.	Curva hipsométrica río Panajachel	73

TABLAS

I.	Clases y tipos de uso del agua, según el Código Civil de Guatemala	6
II.	Cuadro de diálogo herramienta Clipper	50
III.	Resultados cálculo de curva hipsométrica	72
IV.	Información cuenca río Panajachel.....	75
V.	Resultados análisis morfométrico cuenca Río Panajachel	76

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área
cm	Centímetro
h	Hora
m	Metro
m²	Metro cuadrado
m³/s	Metros cúbicos por segundo
DEM	Modelo digital de elevaciones
%	Porcentaje
SIG	Sistemas de información geográfica
u	Unidad

GLOSARIO

Actividades	Corresponden a las tareas a realizar para llevar a cabo la construcción de un elemento. Estas se dividen en actividades rítmicas, actividades comunes que tienen los distintos elementos y actividades singulares, que son las que corresponden a la personalización de cada vivienda.
Bitácora de supervisión	Libro oficial y legal que servirá como instrumento de comunicación entre el cliente y la supervisión, en la cual se asentarán los hechos y asuntos sobresalientes que en alguna forma afecten al proyecto o a la misma ejecución de la obra.
Contratista	Persona física o moral responsable de la ejecución de la obra, de acuerdo a las disposiciones contractuales establecidas por el cliente.
Control	Significa inspección, revisión y/o verificación del cumplimiento de una norma, un programa u otro objetivo específico; las acciones consecuentes de advertir o informar a quién corresponda, y ordenar las medidas correctivas que en su caso procedan; el control de la obra, en sentido estricto, sólo puede ser ejercido por el constructor, por ser el único

capaz de llevar a cabo las acciones requeridas.

Elemento	Corresponde a la unidad que se deberá construir en forma repetitiva para obtener la construcción del proyecto.
Manejo de proyectos	Es el arte de organizar los componentes de un proyecto, el que es creado una sola vez, es temporal y es específico. Tiene un principio y un fin, consume recursos, necesita de personas, dinero, materia prima o tiempo y está alineado a la visión de la empresa.
Memoria de obra	Informe final de los objetivos de la obra, así como la forma y términos en que fueron realizados los trabajos.
Proyecto, obra o actividad	Un proyecto, obra o actividad incluye la planeación, ejecución, emplazamiento, instalación, construcción, montaje, ensamble, mantenimiento, operación, funcionamiento, modificación, y desmantelamiento, abandono, terminación, del conjunto de todas las acciones, usos del espacio, actividades e infraestructura relacionadas y asociadas con su desarrollo.
Recurso natural	Es el elemento natural susceptible de ser aprovechado por el ser humano.

Subcontratista

Persona física o moral responsable de la ejecución de alguna parte de la obra, de acuerdo con un contrato.

RESUMEN

La gestión de los recursos hídricos se considera cada vez más un problema global cuya resolución implica el reconocimiento de su carácter espacial; los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen una tecnología para gestionar y analizar la información espacial y temporal, representan una herramienta muy útil en la integración de la información necesaria.

En los últimos años los SIG han alcanzado gran aplicación en el campo de la hidrología, específicamente, en la determinación y evaluación morfométrica de cuencas hidrográficas. Entre otras muchas alternativas, mediante el uso de los SIG se puede:

- Manejar y crear modelos digitales del terreno
- Delimitación y caracterización de cuencas
- Estudio de la distribución espacial de los recursos hídricos
- Evaluar la pérdida de suelo mediante modelos de erosión

Esta información es imprescindible a la hora de gestionar los recursos, ya que su análisis es clave en la toma de decisiones en proyectos de desarrollo socioeconómico y ambiental. El presente trabajo busca ampliar los conocimientos y procedimientos necesarios para utilizar los SIG para analizar y evaluar la morfometría de cuencas hidrográficas.

OBJETIVOS

General

Presentar los conocimientos y procedimientos necesarios para utilizar los Sistemas de Información Geográfica (SIG), como tecnología que permita determinar, analizar y evaluar las características morfométricas de cuencas hidrográficas.

Específicos

1. Elaborar una guía práctica para la aplicación de los SIG en la determinación de las características morfométricas de una cuenca hidrográfica, orientada a estudiantes, profesionales, técnicos y docentes relacionados con el área.
2. Conocer los usos y ventajas de los SIG como herramientas de apoyo para la realización de estudios hidrológicos.
3. Evaluar las características morfométricas de una cuenca hidrográfica, usando SIG.

INTRODUCCIÓN

La caracterización morfométrica de una cuenca hidrográfica es necesaria e importante, ya que son elementos que tienen una gran importancia en el comportamiento hidrológico de la misma. Tradicionalmente el estudio y delimitación de cuencas hidrológicas se ha realizado interpretando los mapas cartográficos; actualmente existen herramientas que proporcionan una amplia gama de aplicaciones y procesos que permiten realizar esta labor de una forma más sencilla y rápida.

Gracias al desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), estos se han convertido en una potente herramienta de apoyo en la gestión de recursos naturales; en los últimos años los SIG han alcanzado gran aplicación en el campo de la hidrología.

En la gestión del agua es fundamental el conocimiento de la disponibilidad y la distribución de los recursos hídricos; se deben aprovechar las ventajas que ofrece el *software QGIS* en su versión 2.14.0 (QGIS ESSEN), ya que se encuentra disponible en la red de forma gratuita así como diferentes cursos para su manejo y aplicaciones. El QGIS es un Sistema de Información Geográfica de código abierto, actualmente funciona en la mayoría de plataformas *Unix, Windows y OS X*.

El capítulo uno desarrolla el tema del recurso agua, abordando aspectos y definiciones importantes, los temas de gestión y usos y calidad del agua. En el capítulo dos, se presenta lo relacionado con los Sistemas de Información Geográfica, incluyendo definiciones, componentes y tipos de SIG, almacenamiento y modelación de datos y aplicaciones.

Dentro del capítulo tres se aborda el tema de la hidrología, incluyendo conceptos básicos, desarrollo y división de la hidrología, situación del recurso agua a nivel internacional y local, así como Sistemas de Información Geográfica aplicados en hidrología. En el capítulo cuatro se desarrolla la aplicación de un caso práctico y el análisis de resultados.

Por último se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo, esperando que sean de interés para los relacionados con el tema del estudio.

1. RECURSO AGUA

1.1. Definiciones

“Agua: es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O), es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. El término agua generalmente se refiere a la sustancia en su estado líquido, aunque la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo, y en su forma gaseosa denominada vapor.”¹

Ciclo hidrológico: comprende una serie de procesos continuos e interdependientes, de movimiento y transferencia de agua en la tierra, el océano, cuerpos de agua y en la atmósfera.”²

Recurso hídricos: recursos disponibles o potencialmente disponibles, en cantidad y calidad suficientes, en un lugar y en un período de tiempo apropiados para satisfacer una demanda identificable.”³

1.2. Actualidad

En el mundo el crecimiento de la población y el aumento de sus actividades económicas presionan negativamente a los recursos hídricos (ecosistemas de las aguas costeras, los ríos, los lagos, los humedales y los acuíferos).

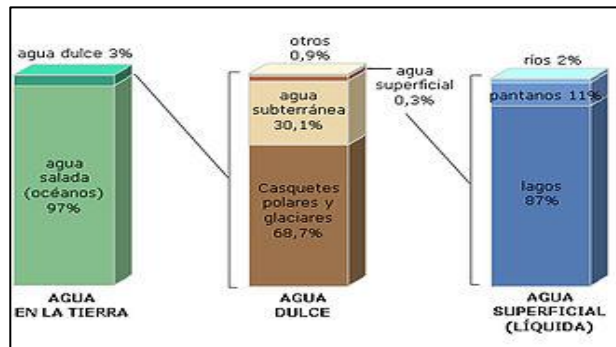
¹ *Usos del agua.* <https://es.wikipedia.org/wiki/Agua>. Consulta: octubre de 2015.

² *Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en la Gestión Hidrológica.* <https://iglobale.wordpress.com/2015/03/16/>. Consulta: octubre de 2015.

³ *Glosario Hidrológico Internacional de la UNESCO.* <http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/HINDEST.HTM>. Consulta: octubre de 2015.

La distribución de los recursos hídricos, pensando solamente en el agua dulce disponible para el consumo humano es muy variable de país en país.

Figura 1. **Distribución del agua**



Fuente: *Agua*. <https://es.wikipedia.org/wiki/Agua>. Consulta: octubre de 2015.

1.3. **Gestión ambiental**

La gestión sostenible del agua es una cuestión crítica a nivel mundial; existen factores que hay que tener en cuenta para conseguir una gestión sostenible e integrada de los recursos hídricos: eficiencia, ordenación del territorio, participación ciudadana, normativa, tecnología, economía, control de los consumos, responsabilidad compartida.

1.4. **Usos del agua**

A nivel mundial la mayor parte del agua se destina a la agricultura (riego de cultivos), la agricultura es la actividad que más agua demanda; la industria precisa el agua para múltiples usos: aplicaciones, para calentar y para enfriar, para producir vapor de agua o como disolvente, como materia prima o para limpiar.

En el Informe de la UNESCO sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo (WWDR, 2003) de su Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP), predice que en los próximos veinte años la cantidad de agua disponible para todos disminuirá al 30 %; en efecto, el 40 % de la población mundial tiene insuficiente agua potable para la higiene básica.”⁴

Los humanos consumimos «directamente o indirectamente» alrededor de un 54 % del agua dulce superficial disponible en el mundo. Este porcentaje se desglosa en:

20 %, utilizado para mantener la fauna y la flora, para el transporte de bienes (barcos) y para la pesca.

El 34 % restante, se utiliza de la siguiente manera: 70 % en irrigación, un 20 % en la industria y un 10 % en las ciudades y los hogares.

1.4.1. Nivel internacional

En el mundo el uso del agua por la agricultura supone un 70 % del consumo mundial. Un 20 % es para uso industrial y un 10 % para uso doméstico. En los países industrializados las industrias llegan a consumir hasta un 50 % del agua disponible para consumo humano; en países como Bélgica ese consumo llega a ser hasta un 80 %. Se estima que el volumen de agua anual utilizada para la industria aumentará de los 752 km³/año en 1995 a 1 170 km³/año en 2025.

A nivel mundial la extracción de agua potable se ha triplicado en los últimos 50 años; la demanda de agua potable se incrementa en niveles de

⁴ *Usos del agua*. <https://es.wikipedia.org/wiki/Agua>. Consulta: octubre de 2015.

64 000 millones de metros cúbicos al año (un metro cúbico son mil litros de agua); además del consumo humano las fuentes de energía nuevas suponen un consumo de agua muy alto. “Los mayores consumidores de agua para la industria en el año 2000 fueron: Estados Unidos 220,7 km³; China 162 km³; Federación Rusa 48,7 km³; India 35,2 km³; Alemania 32 km³; Canadá 31,6 km³ y Francia 29,8 km³. En los países de habla hispana, España 6,6 km³; México 4,3 km³; Chile 3,2 km³ y Argentina 2,8 km³.”⁵

La sobreexplotación del agua subterránea por parte de los agricultores excede los niveles de alimentación natural de los acuíferos en al menos en 160 000 millones de metros cúbicos cada año. La agricultura es en gran parte responsable del agotamiento del agua subterránea disponible y del 70 por ciento de su contaminación.

1.4.2. Nivel nacional

En lo referente a la información de los diferentes usos que se le da al recurso, en la mayoría de los casos no se cuenta con estadísticas actualizadas, por lo que se recurre a estimaciones gruesas en los usos más importantes del agua. En Guatemala el precio financiero y económico del agua es prácticamente igual a cero con excepción del agua potable y raras veces el riego. Guatemala a pesar de contar con recursos hídricos, es un país vulnerable que puede verse amenazado por conflictos relacionados con su uso y disponibilidad.

“Guatemala cuenta con una disponibilidad de 97 120 millones de m³ anuales de agua (SEGEPLAN, 2006 y 2006a); se estima que las aguas subterráneas representan alrededor de 33 699 millones de m³ anuales de agua

⁵: *Usos del agua*. <https://es.wikipedia.org/wiki/Agua>. Consulta: octubre de 2015.

(INSIVUMEH, 2009). La disponibilidad total anual equivale a una cantidad siete veces mayor que la establecida como límite de riesgo hídrico de acuerdo con el estándar internacional de 1,000 m³ /habitante/año.”⁶

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. Los recursos hídricos del país incluyen: siete lagos, 19 lagunas costeras, 49 lagunas, 109 lagunetas, siete embalses y tres lagunas temporales.

Figura 2. Cuencas hidrográficas República de Guatemala



Fuente: *Situación del recurso hídrico en Guatemala. Documento Técnico del Perfil Ambiental de Guatemala.* [www.http://biblio3.url.edu.gt/](http://biblio3.url.edu.gt/). Consulta: octubre de 2015.

⁶ *Presentación de la Política Nacional del Agua de Guatemala y su Estrategia.* 2011. http://www.segeplan.gob.gt/downloads/clearinghouse/politicas_publicas/Recursos%20Naturales/Pol%C3%ADtica%20Nacional%20Guatemala.pdf. Consulta: agosto de 2016.

Dentro de los principales usos del agua en Guatemala, se pueden mencionar los siguientes:

- Uso agrícola
- Uso doméstico
- Uso energético
- Uso minero y de hidrocarburos
- Uso para la navegación

Tabla I. **Clases y tipos de uso del agua, según el Código Civil de Guatemala**

Clases de uso	Tipos de uso	Requisitos
Uso común	Navegación y doméstico sin fines comerciales	Cumplir disposiciones administrativas
Aprovechamiento especial	Todos, menos la navegación y doméstico	Necesidad de autorización previa del Estado.
		Sin perjuicio de tercero.
		Plazo y destino definido.
		Derechos accesorios.
		Metros ³ / necesidades de uso.
		Sujeto a ley.

Fuente: *Situación del recurso hídrico en Guatemala*. [www.http://biblio3.url.edu.gt/](http://biblio3.url.edu.gt/).

Consulta: octubre de 2015.

“La proporción en la extracción de agua para satisfacer las demandas en Guatemala es similar a la del resto del mundo: el uso agropecuario es el mayor, equivale al 41 % de la demanda hídrica total y al 77 % de los usos consuntivos; el uso doméstico representa el 9 % de la demanda total y el 16 % de los usos

consuntivos; el industrial el 3 % de la demanda total y el 7 % de los consuntivos.”⁷

⁷ *Presentación de la Política Nacional del Agua de Guatemala y su Estrategia. 2011.* <http://www.segeplan.gob.gt/downloads/clearinghouse/Guatemala.pdf>. Consulta: agosto de 2016.

2. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

2.1. Definiciones

“Sistemas de información geográfica: son un sistema computarizado que permite la entrada, almacenamiento, representación y salida eficiente de datos espaciales (mapas) y atributos (descriptores) de acuerdo a especificaciones y requerimientos concretos, también se lo considera como una combinación de software y hardware capaz de manipular entidades que contengan propiedades de localización y atributos.”⁸

“Un Sistema de información geográfica (SIG) se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos.”⁹

2.2. Generalidades

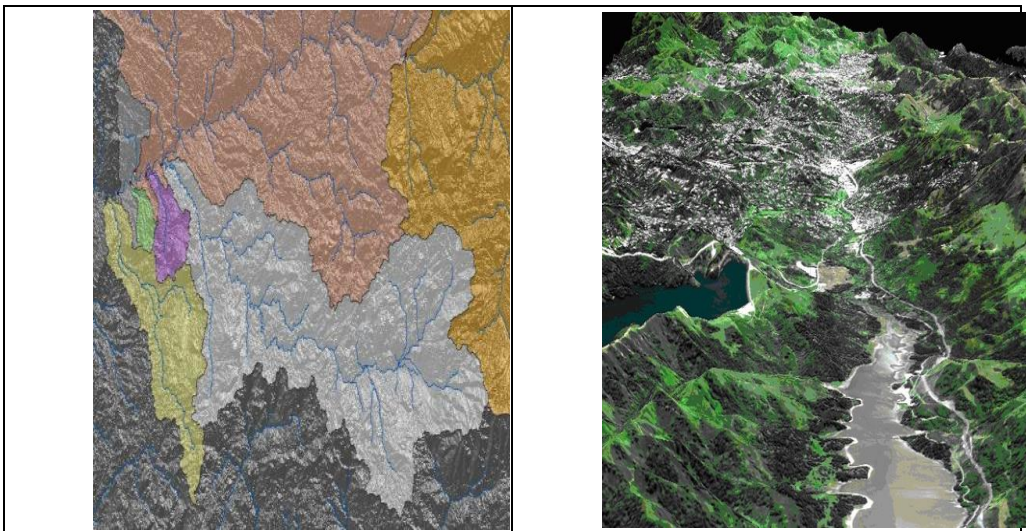
Una de las principales ventajas de los SIG, se relaciona con la capacidad que poseen de construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales, esto se logra aplicando una serie de procedimientos específicos que generan aún más información para el análisis.

⁸ ANAYA FERNANDEZ, Oscar Gonzalo. *Caracterización morfo métrica de la cuenca hidrográfica Chinchao, distrito de Chinchao, provincia Huánuco, región Huánuco.* p. 60.

⁹ *Sistemas de Información Geográfica.* <http://www.oirsa.org.pdf>. Consulta: diciembre de 2015.

Los SIG facilitan la ejecución de operaciones y análisis entre capas de información, permiten observar la distribución espacial de los resultados y resultan especialmente útiles a la hora de visualizar y generar cartografía que muestre de forma clara los resultados obtenidos.

Figura 3. **Aplicación de sistemas de Información geográfica**



Fuente: *Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en la Gestión Hidrológica*.
<https://iglobale.wordpress.com/2015/03/16/>. Consulta: octubre de 2015.

2.3. Componentes de Sistema de Información Geográfica (SIG)

Para la construcción de un SIG deben establecerse claramente los objetivos que se desean alcanzar, debe ser una construcción planificada y en donde los recursos disponibles deben ser bien aprovechados.

Los elementos que componen un SIG varían en pocos términos, generalmente en los procesos de recolección de información, que siendo los mismos procesos, en ocasiones deben obtenerse de otros medios; otro

elemento distintivo es el tratamiento que reciben los datos de acuerdo a las necesidades que se desean cubrir

2.3.1. Hardware

Consiste en el equipo de cómputo que sirve para almacenamiento y tratamiento de información así como para la utilización de programas de computadoras.

2.3.2. Software

Todos los programas (conjunto de instrucciones) de computadoras que permiten hacer uso de toda la funcionalidad del equipo.

2.3.3. Datos

Se refieren a toda la información recolectada por los diferentes medios que se almacenan en las bases de datos geográficas. La calidad de los resultados que se obtengan de un SIG, dependerá de lo bueno que sean los datos almacenados en el.

2.3.4. Personal

Las personas que realizan todo el trabajo, tanto en la investigación de campo, recopilación de información o administración de los sistemas y bases de datos, son de vital importancia.

2.3.5. Métodos y procedimientos

Este componente se refiere a las reglas o disciplinas que cada equipo de trabajo de SIG, implante para mejorar el funcionamiento y se aprovechen de mejor manera los resultados obtenidos.

2.4. Tipos

La utilización de un modelo u otro dependerá de las necesidades que se tengan; existen fundamentalmente dos tipos de SIG, su principal diferencia se encuentra en la representación de los datos (puntos y líneas en el modelo vectorial y píxeles en el modelo ráster).

- El modelo vectorial: lleva a cabo la representación de los datos por medio de los elementos bien definidos como son el punto, la línea o el polígono, éstos se encuentran representados en el Sistema de Información Geográfica por medio de coordenadas UTM (*Universal Transversal Mercator*), tratándose de estas coordenadas las representadas en un eje cartesiano (x, y).
- El modelo ráster, por su parte, se caracteriza porque la representación de la información no se realiza por medio de puntos, líneas o polígonos, sino por celdillas o píxeles.
- Existe, en tercer lugar, un modelo híbrido entre el modelo ráster y el modelo vectorial, se trata del Modelado Digital del Terreno (MDT); consiste en la representación tridimensional de la topografía de un territorio.

2.5. Componentes y propiedades de los datos geográficos

En la actualidad las modernas tecnologías de los SIG trabajan con información digital, para la cual existen varios métodos utilizados en la creación de datos digitales. El método más utilizado es la digitalización, donde a partir de un mapa impreso o con información tomada en campo se transfiere a un medio digital por el empleo de un programa de Diseño Asistido por Ordenador (DAO o CAD) con capacidades de georeferenciación.

Las bases de datos geográficos presentan varias componentes o características que los hace peculiares y les confiere un atractivo especial a la vez que dificultad añadida.

2.5.1. Componente espacial

La componente espacial hace referencia a las características geométricas del elemento incluida su localización geográfica; la que se expresa mediante un sistema de coordenadas; responde a la pregunta: ¿Dónde se localiza?

Los objetos con que se representa la realidad tienen ciertas propiedades geométricas conforme a su naturaleza:

- Propiedades geométricas de las líneas: longitud, forma, pendiente y la orientación.
- Propiedades geométricas de los polígonos: la superficie, el perímetro, la forma, la pendiente y la orientación.

2.5.2. Componente temática

La componente temática recoge las características descriptivas de los elementos geográficos, responde a la pregunta ¿qué es?

Los objetos con los que se representa la variación que se produce en el mundo real poseen unas determinadas características que se conocen como atributos (o variables). Las variables que constituyen la información temática de las unidades espaciales pueden ser de distinto tipo y estar medidas a diferentes escalas.

- Escala nominal
- Escala ordinal
- Escala de intervalo

2.5.3. Componente temporal

El tiempo juega un papel fundamental en la evolución del territorio, el mundo real solo puede ser explicado a través de procesos espacio-temporales; las distribuciones espaciales se van modificando con el devenir del tiempo.

La consideración de la dimensión temporal en un SIG supone la necesidad de almacenar y tratar grandes volúmenes de datos, ya que cada estrato de información se debe almacenar tantas veces como momentos temporales se consideren.

2.6. Almacenamiento de datos

En un SIG se utilizan tanto datos gráficos como descriptivos o alfanuméricos, éstos están relacionados por medio de un código o identificador que los une, con esto se sabe que información descriptiva y gráfica pertenecen al mismo objeto.

2.7. Diseño de base de datos

La base de datos es una herramienta que permite disponer de la información dentro de una computadora en forma rápida y eficaz en comparación a tenerla en papel. La base de datos no necesariamente ayuda a realizar análisis de la información, más bien sirve como un almacén de datos.

2.8. Modelación hidrológica

La modelación hidrológica es una herramienta de gran importancia para los estudios hidrológicos; en la actualidad, con el empleo de estos modelos, se realiza el análisis y la prevención de las inundaciones; además, es posible manejar hipótesis suficientemente realistas o previsibles que ofrezcan un cierto grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea en la ordenación del territorio en torno a los ríos o para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia.

Incluso, alertar a los servicios de protección civil y establecer protocolos de actuación ante posibles situaciones de peligro por intensas lluvias.

2.9. Aplicaciones

Son muchas las aplicaciones que actualmente se pueden obtener de un SIG y cada día aparecen más; independientemente de la aplicación, una de las principales ventajas al utilizar los SIG, consiste en la facilidad para combinar capas de información y realizar el cálculo de ecuaciones y fórmulas, teniendo además la posibilidad de operar con una gran cantidad de datos.

2.9.1. Aplicaciones de administración y gestión

Son aplicaciones que se dan en muchas regiones a lo largo del mundo; la utilidad que proporciona un SIG para la gestión y planificación de recursos naturales, se ve mejor representada con la utilización de imágenes de tipos de suelo, ayudando a determinar la vocación de los suelos y planear la futura ocupación de estos; realizando modelos para el comportamiento de los recursos y determinar la mejor forma de aprovecharlos sin agotarlos irremediablemente.

2.9.2. Aplicaciones socioeconómicas

Dentro de esta área se tienen las siguientes aplicaciones de los SIG:

- Análisis de fenómenos sociales
- Análisis de las regiones de mayor peligrosidad
- Urbanismo
- Estudios relacionados con el gobierno y municipalidades

2.9.3. Aplicaciones en Ingeniería Civil

La elaboración de información sobre catastro es un proyecto de grandes dimensiones; la información que se obtiene para fines de catastro cuenta con un gran nivel de detalle.

Ejemplo de aplicaciones de un SIG se tiene: intensidad de lluvias, zonas de alto riesgo de derrumbe durante el invierno, zonas de mayor tránsito peatonal. Estos mapas en ocasiones son el resultado de combinar datos obtenidos de varias fuentes y el uso de probabilidades de acuerdo a información estadística o análisis temporales.

En la geología se utilizan los SIG para visualizar en forma tridimensional las estructuras, la geomorfología, el comportamiento de la distribución de los depósitos, otros.

2.9.3.1. Aplicaciones al medio ambiente

Los SIG se aplican en el manejo forestal y la biodiversidad; también se usa como herramienta en la protección del medio ambiente, identificación de la distribución de especies de flora y fauna, la determinación del impacto ambiental de actividades humanas, estudio y manejo de ecosistemas, análisis de áreas protegidas, manejo de desechos y monitoreo de la calidad de las aguas.

Las aplicaciones ambientales se utilizan principalmente por organizaciones que buscan evitar desastres ambientales, teniendo información de eventos ocurridos anteriormente, pueden realizar proyecciones de acuerdo a situaciones hipotéticas. Todo esto tiene como objetivo, el tomar conciencia de

las repercusiones de nuestros actos.

Una gran herramienta en las evaluaciones de impacto ambiental es la fotografía aérea y las imágenes de satélite, éstas permiten observar las condiciones actuales de ciertas áreas y determinar las causas de su estado.

2.9.3.2. Aplicaciones en hidrología

Tradicionalmente el estudio y delimitación de cuencas hidrológicas se ha realizado interpretando los mapas cartográficos, pero hoy en día los SIG proporcionan una amplia gama de aplicaciones y procesos que permiten realizar esta labor de una forma más sencilla y rápida.

En la gestión del agua es fundamental el conocimiento de la disponibilidad y la distribución de los recursos hídricos, su estimación interviene en aspectos de suma importancia como la realización de estudios de inundabilidad y gestión de sequías, la comprobación de la fiabilidad de los modelos de gestión de sistemas de abastecimiento y riego, el establecimiento de los regímenes de caudales ecológicos o el estudio de las necesidades hídricas de lagos y humedales, entre otros.

También es importante en el tema de gestión hidrológica la estimación/evaluación de la pérdida de suelo mediante la aplicación de modelos de erosión que combinan diversos factores (precipitación, características del propio suelo, inclinación y longitud de la pendiente del terreno, otros). Los pasos que se siguen en un estudio hidrológico son los siguientes:

- Localización del proyecto
- Recolección de información

- Trabajos de campo
- Análisis de la información

3. HIDROLOGÍA

3.1. Conceptos básicos de hidrología

A continuación se presentan algunos conceptos importantes relacionados con la hidrología y sus aplicaciones.

- “Hidrología: es la ciencia que trata de las aguas sobre la tierra, su ocurrencia, circulación y distribución, sus propiedades químicas y físicas y su reacción con el medio ambiente, incluyendo su relación con los seres vivos.”¹⁰
- “Ciclo hidrológico: es el fenómeno de circulación global del agua producido fundamentalmente por la energía solar, e influenciado por las fuerzas de gravedad y la rotación de la tierra.”¹¹
- “Precipitación: la caída de agua sólida o líquida debido a la condensación del vapor sobre la superficie terrestre.”¹²

“Datos cronológicos o históricos: observaciones *in situ* discretas o continuas en el tiempo, que requieren para su utilización un determinado

¹⁰ GAMEZ, Zulimar <https://es.scribd.com/doc/297988609/Resumen-Tema-1-La-Hidrologia-Como-Ciencia>. Consulta: agosto de 2016.

¹¹ *Conceptos hidrológicos básicos*. <http://www.la-wetnet.org/lasmiradasdelagua/descargas/Conceptos%20Hidrol%C3%B3gicos%20B%C3%A1sicos.pdf>. Consulta: agosto 2016.

¹² *Precipitación*. <https://es.wikipedia.org/wiki/Precipitaci%C3%B3n>. Consulta: agosto 2016.

período de mayor o menor longitud de acuerdo a la información que de ellos se quiera obtener. Son la base para los análisis estadísticos y estocásticos.”¹³

“Datos de campo a tiempo presente: observaciones *in situ* que en general no se repiten sistemáticamente en el tiempo y relacionadas con las características del medio físico.”¹⁴

“Evaporación: es el proceso físico por el cual el agua pasa del estado líquido al gaseoso y representa la tasa neta de transporte de vapor hacia la atmósfera; es una variable fundamental del ciclo hidrológico.”¹⁵

“Infiltración: es el proceso de entrada de agua a través del suelo proveniente de lluvia, derretimiento nival o irrigación.”¹⁶

“Caudal: es la cantidad de agua expresada en volumen (litros o m³) que circula en un lugar de un río (sección) por unidad de tiempo (horas o segundos).”¹⁷

“Cuenca hidrográfica es toda el área o superficie del terreno que aporta sus aguas de escorrentía a un mismo punto de desagüe o punto de cierre.”¹⁸

¹³ *Fenómenos Hidrometereológicos*. http://www.academia.edu/7102334/0_Fen%C3%B3menos_Hidrometereol%C3%B3gicos. Consulta: agosto 2016.

¹⁴ *Ibíd.*

¹⁵ *Conceptos hidrológicos básicos*. <http://www.la-wetnet.org/.pdf>. Consulta: agosto 2016.

¹⁶ *Ibíd.*

¹⁷ *Definiciones y sistemas de medición*. http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/ingenie/vera_h_l/cap3.pdf. Consulta: agosto 2016.

¹⁸ *Morfología de las cuencas hidrográficas*. <https://riunet.upv.es/.pdf>. Consulta: diciembre de 2015.

3.2. División de la hidrología

La hidrología puede dividirse, de acuerdo al criterio que se utilice en cada caso.

- De acuerdo con la forma de análisis y el uso que se dará de los resultados.
 - Hidrología aplicada o ingeniería hidrológica
 - Hidrología cualitativa
 - Hidrología hidrométrica
 - Hidrología cuantitativa
 - Hidrología en tiempo real
 - Hidrología forestal

- De acuerdo al espacio físico donde el agua está confinada.
 - Hidrometeorología
 - Potamología
 - Limnología
 - Oceanografía
 - Pedohidrología
 - Hidrogeología

- De acuerdo a las etapas cronológicas de la investigación científica.
 - Hidrometría
 - Hidrografía
 - Hidrología científica

- De acuerdo a los diferentes temas de investigación.
 - Hidrología integral
 - Criología
 - Glaciología
 - Crenología
 - Hidroquímica
 - Hidrofísica
 - Biohidrología

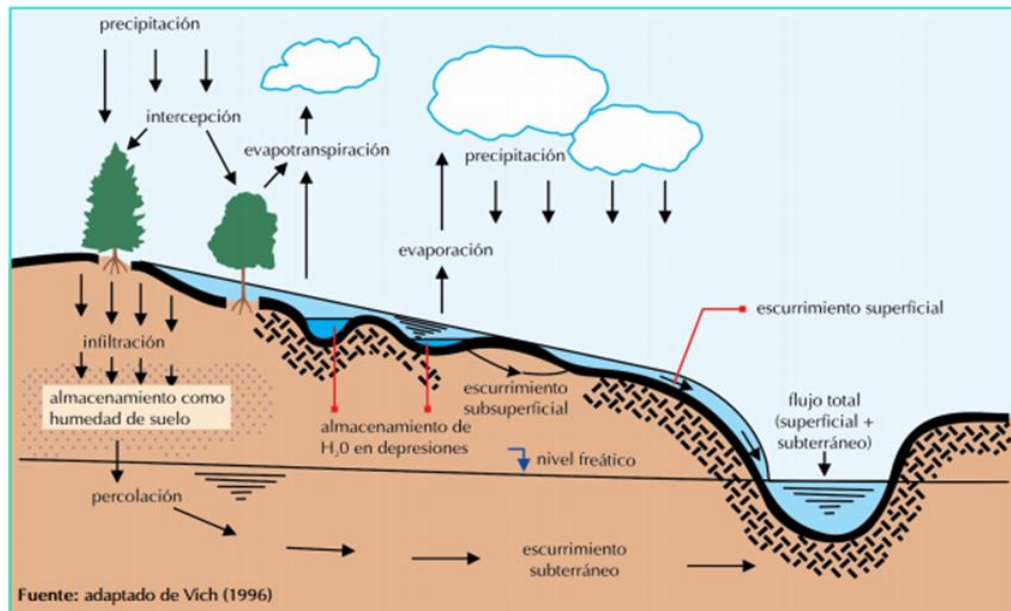
3.3. Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es el tema central de la hidrología, no tiene principio ni fin y sus diversos procesos ocurren en forma continua. “Se puede definir como el conjunto de trayectorias que describe el agua en la naturaleza, con independencia del estado en que se encuentre.”¹⁹

El conocimiento pleno de todos sus componentes es una tarea complicada que conlleva un estudio pormenorizado y cuasi experimental. El concepto de balance hidrológico lleva aparejado el del ciclo hidrológico dentro de unos límites definidos tanto geográfica como temporalmente.

¹⁹ *Conceptos generales y definiciones*. http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/415/pdfs/Capit.pdf. Consulta: agosto de 2016.

Figura 4. El ciclo hidrológico a nivel de cuenca



Fuente: *Conceptos Hidrológicos Básicos*. <http://www.la-wetnet.org/.pdf>. Consulta: diciembre de 2015.

3.4. Situación del recurso agua en Guatemala

En Guatemala existen grandes desafíos para lograr una gestión adecuada de los recursos hídricos nacionales; se pueden mencionar: la abundancia de lluvia, aguas superficiales y aguas subterráneas en su territorio. Su sistema hidrográfico se divide en tres vertientes hidrográficas principales:

- La vertiente del océano Pacífico: cubre el 22 % del país y cuenta con 18 cuencas hidrográficas.
- La vertiente del Mar Caribe: cubre el 31 % de la superficie del país y cuenta con 10 cuencas hidrográficas.

- La vertiente del Golfo de México: cubre el 47 % del territorio de Guatemala y cuenta con 10 cuencas hidrográficas.

En Guatemala las aguas superficiales cubren cerca de 1 000 km² de sus 108 900 km² de superficie terrestre; sin embargo se distribuyen de forma desigual, altamente estacional, y en general son contaminadas. El agua subterránea es abundante en los acuíferos de sedimentos de las llanuras, valles y tierras bajas del país.

Del volumen total de agua disponible anual en Guatemala, sólo se aprovecha cerca de 9 700 millones de m³ que equivalen al 10 % del total. “Se estima que Guatemala tiene una disponibilidad de más de 97 mil millones de metros cúbicos anuales de agua, cantidad 7 veces mayor al límite de riesgo hídrico establecido por estándares internacionales al relacionarla con su población.”²⁰

Por otra parte, el acceso a los servicios de agua y saneamiento en Guatemala ha aumentado lentamente en los últimos años.

En Guatemala la proporción en la extracción de agua para satisfacer sus demandas es similar a la del resto del mundo, eso significa que los principales usos del agua son: agropecuario, doméstico e industrial.

3.5. Sistemas de información geográfica aplicados en hidrología

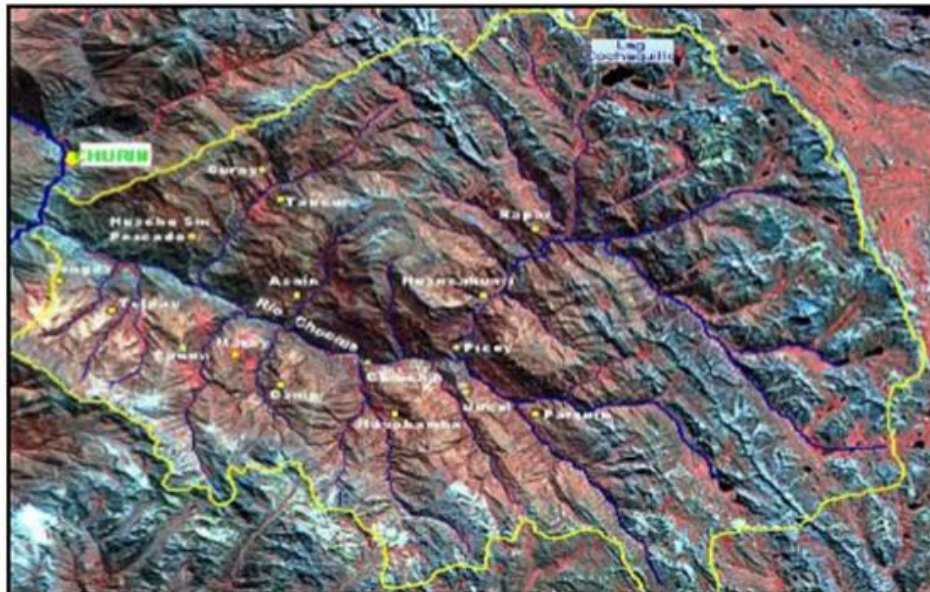
Los Sistemas de información geográfica se han convertido en una potente herramienta para planificar y gestionar los recursos hídricos gracias a que

²⁰ *Política Nacional del Agua de Guatemala y su Estrategia.* <http://www.segeplan.gob.gt>. Consulta: diciembre de 2015.

disponen de múltiples opciones para su análisis y evaluación. Los SIG aplicados en hidrología permiten manejar y crear modelos digitales del terreno, llevar a cabo la delimitación y caracterización de cuencas, estudiar y analizar la distribución espacial de los recursos hídricos o evaluar la pérdida de suelo mediante modelos de erosión.

En el análisis de la distribución de las precipitaciones, son una herramienta especialmente útil y la base de cualquier trabajo de carácter hidrológico, ya que en ocasiones la variabilidad de los registros pluviométricos, la existencia de datos erróneos o la falta de información llega a dificultar su estudio.

Figura 5. Imagen de satélite Landsat del territorio de una cuenca hidrográfica



Fuente: ANAYA FERNANDEZ, Oscar Gonzalo. *Caracterización morfométrica de la cuenca hidrográfica Chinchao, distrito de Chinchao, provincia Huánuco, región Huánuco.* p. 10.

3.5.1. Antecedentes

Para la planificación y gestión de los recursos hídricos es necesario el conocimiento de su disponibilidad y distribución; los SIG son una tecnología fundamental en la gestión hidrológica; facilitan la realización de cálculos que hasta hace años se llevaban a cabo manualmente, lo que suponía una mayor inversión en tiempo y en muchas ocasiones, una menor precisión en los resultados.

La historia de los SIG se remonta a la década de los 60; en Canadá se diseñó el primer sistema de información geográfica destinado al mantenimiento de un inventario de recursos naturales a escala nacional. En Guatemala aparecieron a principio de los años noventa, muchos de ellos como componentes de proyectos de cooperación técnica internacional, principalmente en las ramas de agricultura, medio ambiente, desarrollo energético, infraestructura vial y levantamientos catastrales.

Anteriormente el estudio y delimitación de cuencas hidrológicas se realizaba interpretando los mapas cartográficos, en la actualidad los SIG proporcionan una amplia gama de aplicaciones y procesos que permiten realizar esta labor de una forma más sencilla y rápida.

3.5.2. Tipos

La mayoría de los elementos que existen en la naturaleza pueden ser representados mediante formas geométricas (puntos, líneas o polígonos, esto es, vectores) o mediante celdillas con información (raster). Son formas de ilustrar los espacios intuitivos y versátiles, que ayudan a comprender mejor los elementos objeto de estudio según su naturaleza.

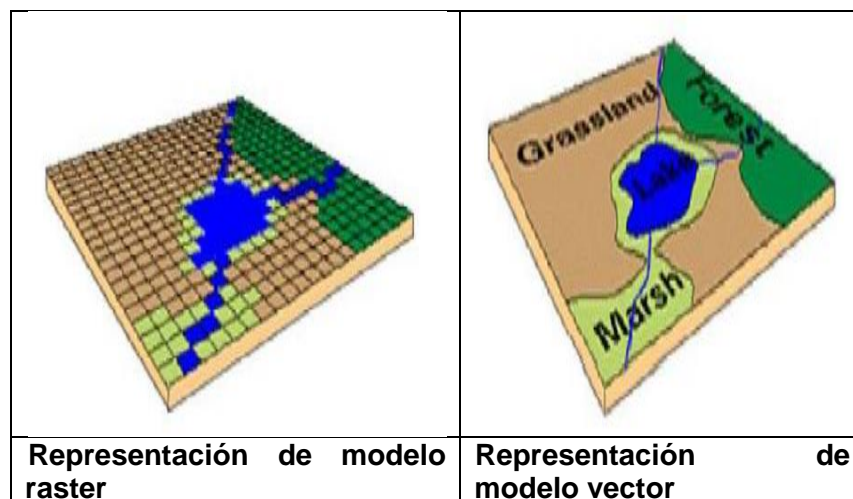
En función de la forma de representar el espacio de la que hacen uso, se pueden clasificar los SIG en dos grandes modelos o formatos:

Modelo vectorial (formas geométricas): para la descripción de los objetos geográficos utilizan vectores definidos por pares de coordenadas relativas a algún sistema cartográfico.

- Modelo ráster (celdillas con información): trabajan dividiendo la zona de afección de la base de datos en una retícula o malla regular de pequeñas celdas (a las que se denomina pixels) y atribuir un valor numérico a cada celda como representación de su valor temático.

Existe un modelo híbrido entre el modelo ráster y el modelo vectorial, se trata del Modelado Digital del Terreno (MDT).

Figura 6. **Tipos diferentes de información geográfica**



Fuente: ZEPEDA HERNÁNDEZ, Silsa Karen. *Manual para la aplicación del Sistema de Información Geográfica SPRING en proyectos de Ingeniería Civil.* p. 26.

3.5.3. Ventajas

A menudo los estudios y proyectos implican el manejo y análisis de grandes volúmenes de información estadística y geográfica en formatos digitales, la cual muchas veces es necesaria organizar y en ocasiones editar.

Los SIG constituyen una herramienta cuyo gran potencial permite almacenar, consultar, analizar y desplegar la información estadística y geográfica que se considera relevante, así como desarrollar modelos y aplicaciones específicas, orientados a apoyar técnicamente los procesos de investigación y de toma de decisiones.

Facilitan la ejecución de operaciones y análisis entre capas de información, permiten observar la distribución espacial de los resultados y resultan especialmente útiles a la hora de visualizar y generar cartografía que muestre de forma clara los resultados obtenidos. Incluyen numerosas funciones para el manejo de datos espaciales en formato digital, las que pueden clasificarse en:

- Almacenamiento de datos espaciales y temáticos.
- Visualización de estos datos en forma de mapas, tablas o gráficos.
- Consultas que permiten seleccionar aquellos elementos que cumplen un conjunto de condiciones, de tipo espacial o no espacial.
- Análisis de datos.
- Modelización.

3.5.4. Base de datos

Los SIG son programas diseñados para el manejo de bases de datos espaciales utilizando diferentes modelos lógicos; una de las principales limitaciones al momento de desarrollar cualquier proyecto basado en SIG, lo constituye la disponibilidad de datos geográficos del territorio a estudiar.

- Una base de datos es un conjunto de datos que cumple:
 - No redundancia: los datos se almacenan una sola vez, aunque se utilicen para varias aplicaciones.
 - Independencia: los datos se organizan de una manera estructurada independientemente de la aplicación que se vaya a utilizar para tratarlos.
 - Concurrencia: varios usuarios pueden acceder simultáneamente a los datos sin interferirse.
- Los datos para las aplicaciones en un SIG incluyen:
 - Datos digitales y escaneados.
 - Datos de monitoreo de campo georreferenciados (de ser posible con GPS)
 - Bases de datos (georreferenciados).

- Datos obtenidos mediante sensores remotos a bordo de aviones, satélites, otros.
- Bases cartográficas (incluyendo bases digitales).
- Datos fotogramétricos.

El SIG permite efectuar consultas selectivas a los datos almacenados y obtener mapas temáticos mediante la formulación de una pregunta al sistema, en la que pueden involucrarse tanto elementos geográficos de las coberturas como sus atributos asociados.

3.5.5. Personal humano

La tecnología de los SIG es de valor limitado sin el personal que lo maneje y desarrolle planes que se apliquen a los problemas del mundo real; con frecuencia la falta del personal adecuado causa que los datos no se actualizan y se manejan equivocadamente; además, el hardware no se utiliza en todo su potencial.

Para un eficiente uso de los SIG, se necesita personal capacitado para realizar el procesamiento de datos hidrológicos transformándolos en información útil, mediante el uso de nuevas tecnologías.

3.6. Cuencas hidrográficas

Las cuencas hidrográficas son necesarias para brindar un hábitat a plantas y animales, y proporcionan agua potable para la gente, sus cultivos, animales e industrias. De manera general la cuenca hidrográfica funciona como

un gran colector que recibe las precipitaciones y las transforma en escurrimientos; esta acción es función de una gran cantidad de parámetros que influyen en el comportamiento hidrológico de la cuenca.

Una cuenca hidrográfica y una cuenca hidrológica se diferencian en que la primera se refiere exclusivamente a las aguas superficiales, mientras que la cuenca hidrológica incluye las aguas subterráneas (acuíferos).

3.6.1. Definición

“Cuenca hidrográfica es toda el área o superficie del terreno que aporta sus aguas de esorrentía a un mismo punto de desagüe o punto de cierre.”²¹

“La cuenca hidrográfica es una unidad territorial formada por un río con sus afluentes, y por un área colectora de las aguas. En la cuenca están contenidos los recursos naturales básicos para múltiples actividades humanas, como: agua, suelo, vegetación y fauna. Todos ellos mantienen una continua y particular interacción con los aprovechamientos y desarrollos productivos del hombre.”²²

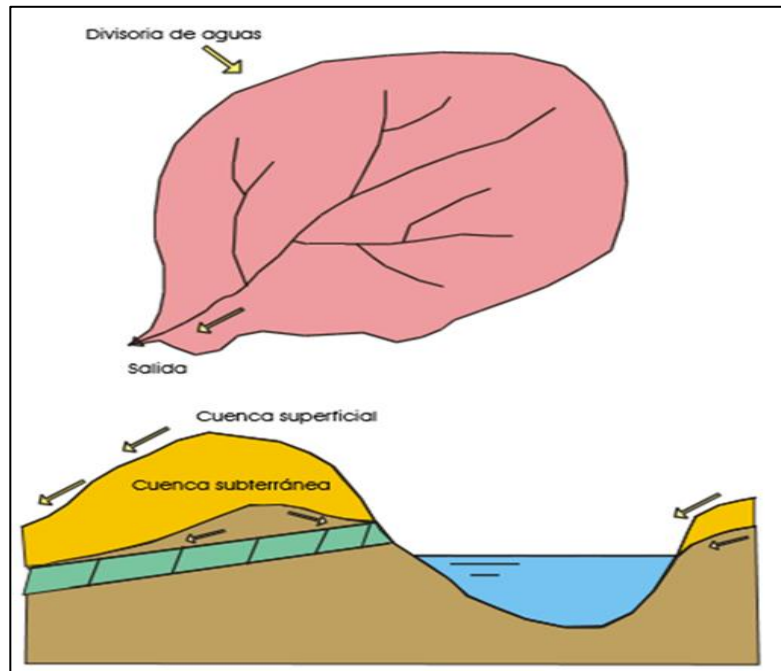
3.6.2. Delimitación

Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas. La divisoria de aguas o *divortium aquarum* es una línea imaginaria que delimita la cuenca hidrográfica; otro término utilizado para esta línea es parte aguas.

²¹ *Morfología de las cuencas hidrográficas*. <https://riunet.upv.es/>.pdf. Consulta: diciembre de 2015.

²² LONDOÑO ARANGO Carlos Hernando. *Cuencas hidrográficas: bases conceptuales – caracterización planificación-administración*. <http://www.ut.edu.co/academico.pdf>. Consulta: diciembre de 2015.

Figura 7. **Cuenca topográfica y cuenca vertiente**



Fuente: ZEPEDA HERNÁNDEZ, Silsa Karen. *Manual para la aplicación del Sistema de Información Geográfica SPRING en proyectos de Ingeniería Civil.* p. 26.

3.6.3. División

Una cuenca hidrográfica o cuenca de drenaje de un río, es el área limitada por un contorno al interior del cual las aguas de la lluvia que caen se dirige hacia un mismo punto, denominado salida de la cuenca hidrográfica. Es en suma, el área de captación de aguas de un río delimitado por el parte aguas.

3.6.4. Determinación de las características morfométricas de una cuenca

La caracterización es un inventario detallado de los recursos y las condiciones biofísicas, socioeconómicas y ambientales de la cuenca y sus interrelaciones. Las características físicas de una cuenca hidrográfica tienen una relación estrecha con el comportamiento de los caudales que transitan por ella.

Los componentes y variables importantes de caracterizar en una cuenca hidrográfica, pueden agruparse en tres grandes grupos:

- Ubicación, morfometría e hidrología
- Caracterización biofísica
- Caracterización socioeconómica

Las características morfométricas de una cuenca hidrográfica dan una idea de las propiedades particulares de cada una; existe una diferencia significativa entre el comportamiento de una cuenca pequeña y una grande.

3.6.4.1. Definición

Es el estudio cuantitativo de las características físicas de una cuenca hidrográfica, se utiliza para analizar la red de drenajes, las pendientes y la forma de una cuenca a partir del cálculo de valores numéricos.

3.6.4.2. Tipos

Para realizar una correcta descripción de una cuenca hidrográfica se debe incluir, datos relativos a su situación, tamaño, perímetro, ancho y desnivel longitudinal como aspectos generales, longitud, jerarquización y densidad en cuanto a la red de drenaje y finalmente, otros parámetros de relieve y de forma como la curva hipsométrica o el coeficiente de Gravelius.

- Área: es el tamaño de la superficie de cada cuenca en km^2 ; el área de una cuenca en general, se encuentra relacionada con los procesos que en ella ocurren. Una cuenca se puede clasificar atendiendo a su tamaño, en cuenca grande y cuenca pequeña.
- Longitud (L): se define como la distancia horizontal del río principal entre un punto aguas abajo (estación de aforo) y otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca.
- Perímetro (P): es un parámetro importante, pues en conexión con el área da información sobre la forma de la cuenca.
- Ancho (An): se define como la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L).
- Parámetros de forma: la forma de una cuenca es determinante de su comportamiento hidrológico.
 - Factor de forma (F): expresa la relación entre el ancho promedio de la cuenca (w) y la longitud (L).

- Coeficiente de compacidad (K_c): compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio.
- Parámetros relativos al relieve: el relieve de una cuenca tiene más influencia sobre la respuesta hidrológica que su forma.
 - Pendiente de la cuenca hidrográfica: es la relación del desnivel que existe entre los extremos de la cuenca, siendo la cota mayor y la cota menor, y la proyección horizontal de su longitud, siendo el lado más largo de la cuenca.
 - Pendiente del cauce principal: se determina según la relación entre el desnivel que hay entre los extremos el cauce y la proyección horizontal de su longitud.
 - Curva hipsométrica: es la representación gráfica de la variación altitudinal de una cuenca y se obtiene a partir de un plano topográfico tomándose los valores en porcentajes del área que están por debajo de una determinada altura.
- Parámetros relativos al drenaje: una densidad de drenaje alta se asocia con materiales impermeables a nivel sub superficial, vegetación dispersa y relieves montañosos.
 - Densidad de drenaje: indica la posible naturaleza de los suelos, que se encuentran en la cuenca; también da una idea sobre el grado de cobertura que existe en la cuenca.

4. APLICACIÓN CASO PRÁCTICO

4.1. Antecedentes

El río Panajachel es una corta corriente entre las fluencias de los ríos Quechelajya y Pacublya, se le conoce también con el nombre de Río San Francisco; su curso es de Noreste a Sureste desemboca en el lago de Atitlán.

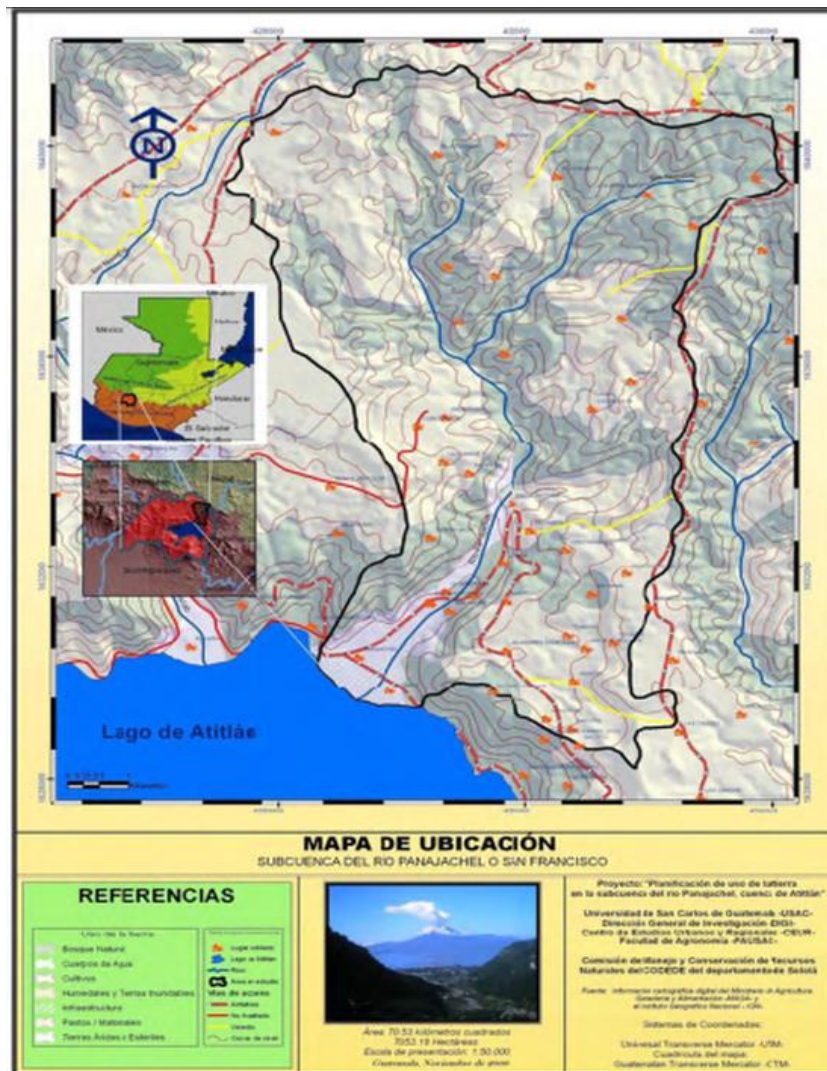
La sub cuenca del río Panajachel pertenece a la cuenca del Lago de Atitlán, zona de gran riqueza en recursos naturales; contribuye en el mejoramiento de paisaje, conservación de la cuenca y el sistema lacustre; incluye los municipios de Panajachel, Sololá, Concepción, Chichicastenango y San Andrés Semetabaj, del departamento de Sololá, todos próximos al lago de Atitlán.

Por la naturaleza volcánica de la cuenca del lago Atitlán, los suelos predominantes en la subcuenca del río San Francisco son los andisoles, que cubren más del 60 % de su área.

Se utilizaron procedimientos técnicos sistemáticos para evaluar las características morfométricas de la cuenca hidrográfica, basados en sistemas de información geográficos, el Software QGIS en su versión 2.14.0 (QGIS ESSEN). La morfología de la cuenca queda definida por tres tipos de parámetros:

- Parámetros de forma
- Parámetros de relieve
- Parámetros relativos a la red hidrológica.

Figura 8. Ubicación de la subcuenca del río Panajachel



Fuente: *Ubicación de la subcuenca del río Panajachel*. [http://www. base cartográfica digital del MAGA](http://www.base.cartografica.digital.del.MAGA). Consulta: julio de 2015.

4.2. Determinación de las características morfométricas de la cuenca del río Panajachel

Las características de la subcuenca del río San Francisco se encuentran condicionadas tanto por la historia geológica de la cuenca del Lago Atitlán, como por características climáticas e hidrológicas que han acontecido en el área.

Dentro de la subcuenca del río San Francisco, se definen tres micro cuencas: micro cuenca Alta San Francisco, micro cuenca baja San Francisco y micro cuenca Chicansanres).

Se evaluaron las siguientes características morfométricas de la cuenca en estudio: área y perímetro, radio circular, coeficiente de compacidad e identificación de cauces dentro de la cuenca.

4.3. Método aplicado

A continuación se presenta la metodología utilizada en el presente estudio, para evaluar las características morfométricas de la cuenca del río Panajachel.

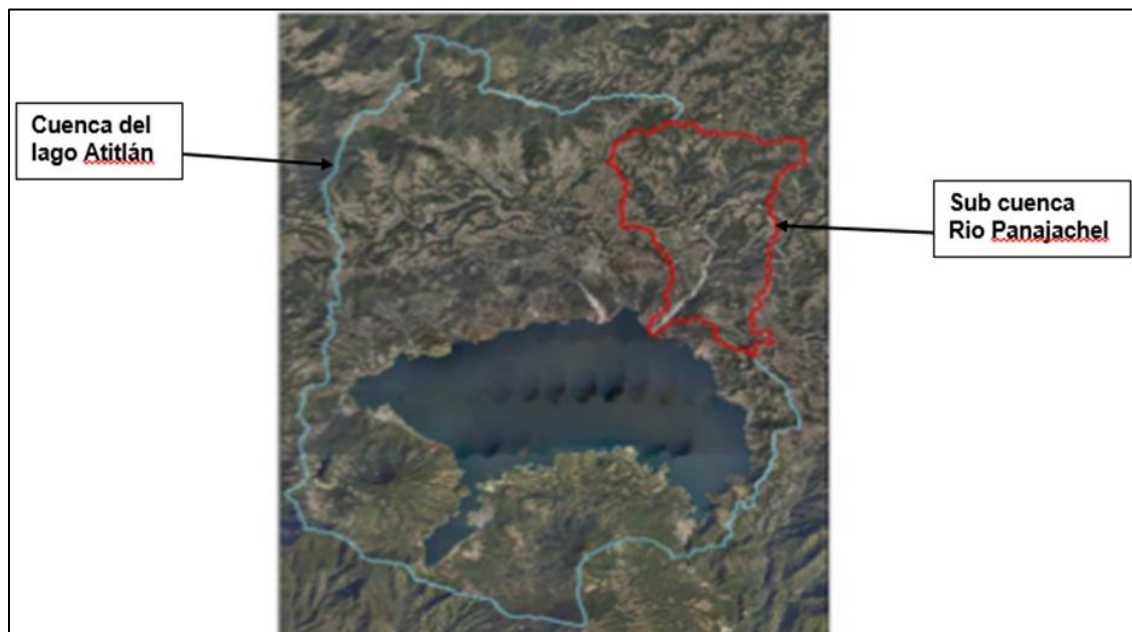
4.3.1. Descripción

Se presentan los pasos a seguir para generar la información necesaria para usar el software:

Inicialmente se realiza una revisión de antecedentes de la zona en estudio, se incluyen aspectos importantes y los fundamentos teóricos referentes a los sistemas de información geográfica.

Localización de la subcuenca (geográfica y política): el río San Francisco se encuentra localizado en la cuenca del lago Atitlán y constituye el segundo río en importancia (por área drenada y caudal) que vierte sus aguas en el lago.

Figura 9. **Detalle área de interés sub cuenca Rio Panajachel y Cuenca del lago Atitlán**



Fuente: HERNÁNDEZ, Miguel Ángel y NÚÑEZ ÁLVAREZ, Laura. *Estudio hidrológico-hidráulico de avenida en el río San Francisco (Panajachel)*. p. 8.

Clima: el área donde se localiza la cuenca del río San Francisco cuenta con clima templado, con verano benigno y húmedo e invierno seco; la vegetación natural característica es el bosque de coníferas, abarcando por entero su área.

Precipitación: la región presenta dos estaciones bien marcadas; la estación seca, entre los meses de noviembre y abril, con escasas precipitaciones y temperaturas elevadas, y la estación húmeda, entre los meses de mayo y octubre, con precipitaciones abundantes y temperaturas más suaves. Las precipitaciones medias mensuales presentan sus valores más altos en los meses de junio y septiembre.

4.3.2. Uso del programa Qgis

A continuación se presentan los pasos necesarios para realizar una caracterización básica de una cuenca, de acuerdo a lo establecido se utilizó el software QGIS en su versión 2.14.0 (QGIS ESSEN), el cual se encuentra disponible en la red de manera gratuita (software libre).

4.3.2.1. Antecedentes

“El QGIS es un software de licenciamiento libre, desarrollado por la Fundación OSGEO y es parte de un compendio de ocho software de Sistemas de Información Geográfico. El software salió de su fase de prueba en el año 2008.”²³

En la página oficial de QGIS (qgis.org), se indica que: “QGIS es un Sistema de Información Geográfica de código abierto. El proyecto nació en

²³ QGIS. <https://es.wikipedia.org/wiki/QGIS>. Consulta: mayo de 2016.

mayo de 2002 y se estableció como un proyecto en SourceForge en junio del mismo año... está al alcance de cualquiera con acceso básico a un ordenador personal. QGIS actualmente funciona en la mayoría de plataformas Unix, Windows y OS X.”²⁴

4.3.2.2. Características

De acuerdo con la información consultada, el software posee las siguientes características:

Ver datos

Explorar datos y componer mapas

Crear, editar, gestionar y exportar datos

Analizar datos

Publicar mapas en Internet

Extender funcionalidades QGIS a través de complementos

Consola de Python

4.3.3. Desarrollo

Para realizar los cálculos necesarios, se utilizó el Software QGIS en su versión 2.14.0 (QGIS ESSEN); el Software funciona bajo licencia *Open Source*.

De acuerdo a lo establecido y la metodología utilizada se presentan los pasos necesarios para realizar la caracterización básica de una cuenca; las acciones y vistas de pantalla necesarias en cada caso; en el caso de estudio la cuenca es la del río Panajachel o San Francisco, parte de la cuenca del lago de

²⁴ Guía de usuarios: http://docs.qgis.org/2.8/es/docs/user_manual/preamble/features.html. Consulta: mayo de 2016.

Atitlán. Para mayor facilidad de comprensión se detallan los pasos a seguir en cada proceso.

4.3.3.1. Paso 1: selección del área

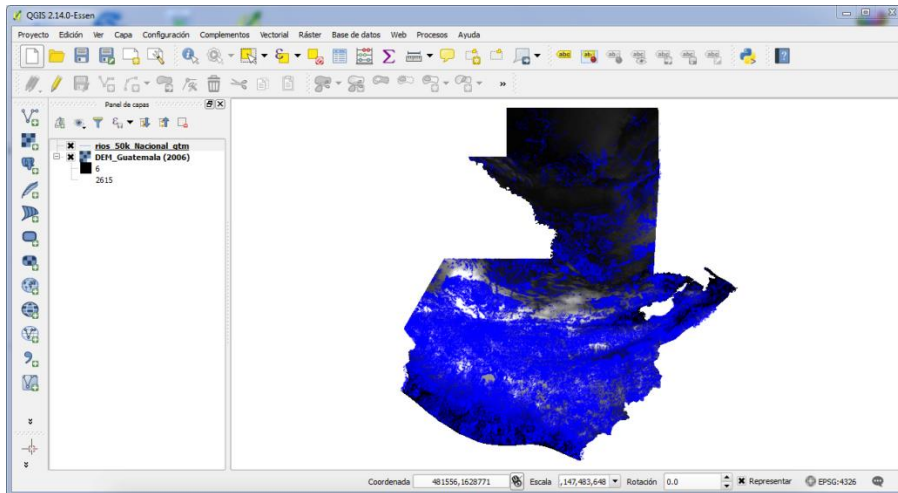
Inicialmente se abren los archivos base, los que se presentan a continuación:

- Modelo Digital de Elevaciones (DEM, por sus siglas en inglés), de Guatemala, en formato Ráster.
- Capa de ríos de Guatemala en formato *Shape*.

Para abrir los archivos se necesita ir a los siguientes menús:

- Capa/Añadir Capa/Añadir capa vectorial (esto en el caso de datos *Shape*).
- Capa/Añadir Capa/Añadir capa ráster (esto en el caso de datos Ráster)

Figura 10. **Datos básicos**



Fuente: elaboración propia, empleando Software QGIS.

A continuación se hace un acercamiento al área de estudio, para lo cual se realiza una selección de objetos espaciales utilizando una expresión, este botón se encuentra en la barra de tareas (ver figura 11).

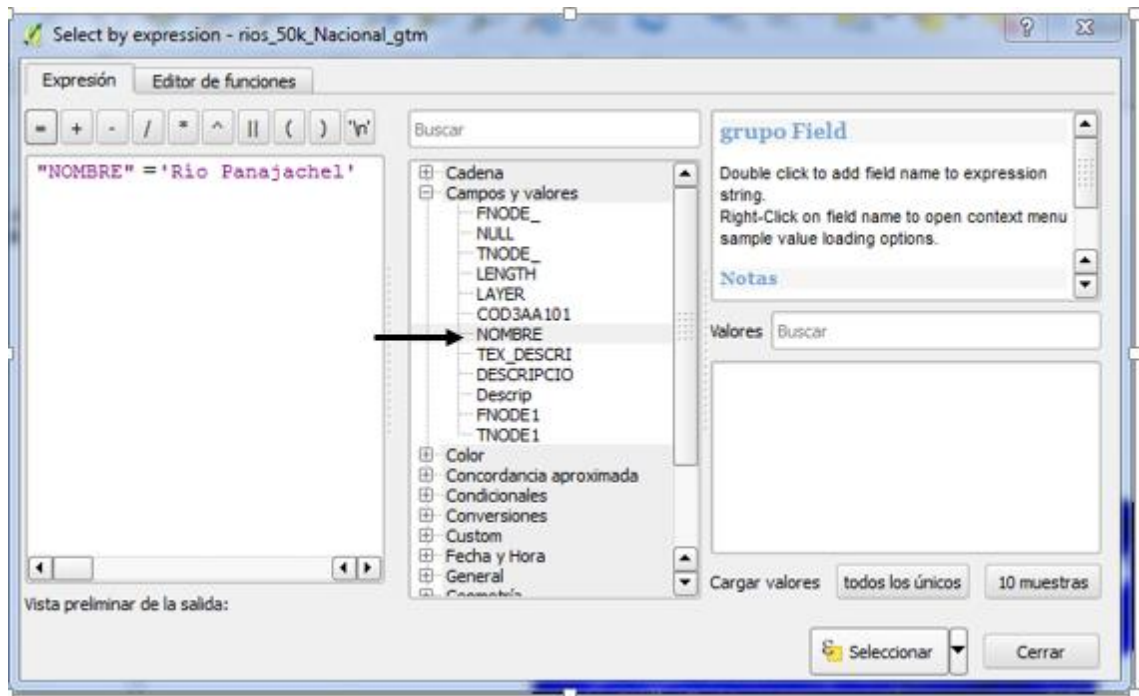
Figura 11. **Botón: realizar una selección de objetos espaciales utilizando una expresión**



Fuente: elaboración propia, empleando Software QGIS.

El botón abre la ventana de la figura 12, donde se coloca la expresión “NOMBRE”=’río Panajachel’. Del campo NOMBRE, se selecciona el registro río Panajachel.

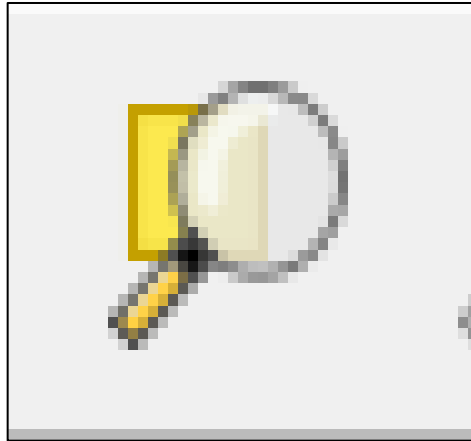
Figura 12. **Menú de selección de objetos espaciales por expresión**



Fuente: elaboración propia, empleando Software QGIS.

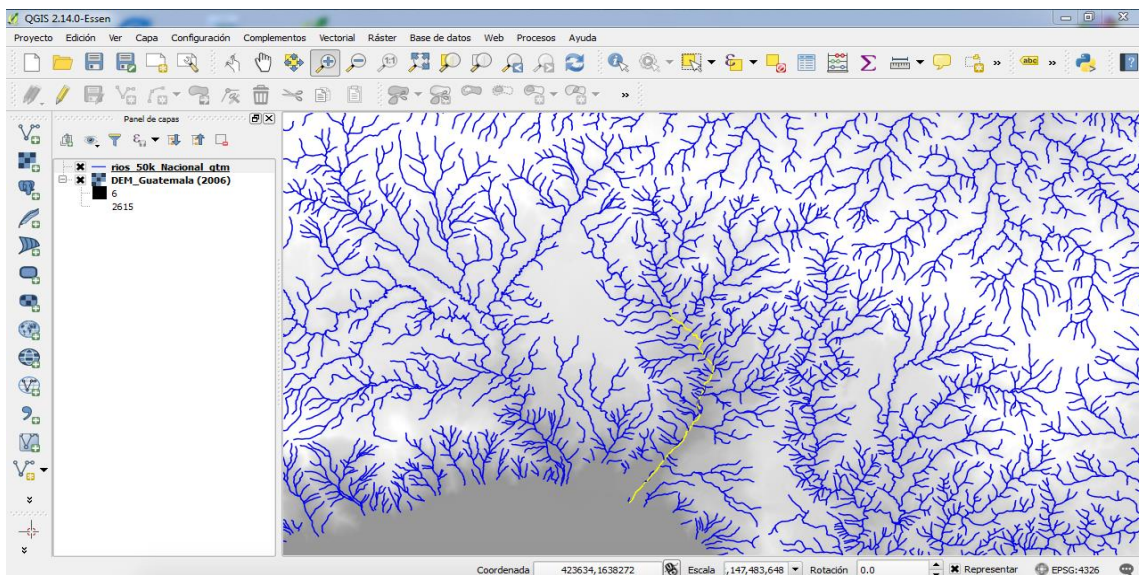
En este caso, la capa ríos debe contener previamente el campo y el registro. Finalmente se realiza un acercamiento a lo seleccionado, utilizando el botón zoom a lo seleccionado (ver Figura 13), obteniendo el resultado de la Figura 14.

Figura 13. **Botón: realizar una selección de objetos espaciales utilizando una expresión**



Fuente: elaboración propia, empleando Software QGIS.

Figura 14. **Resultados de la acción zoom a lo seleccionado**



Fuente: elaboración propia, empleando Software QGIS.

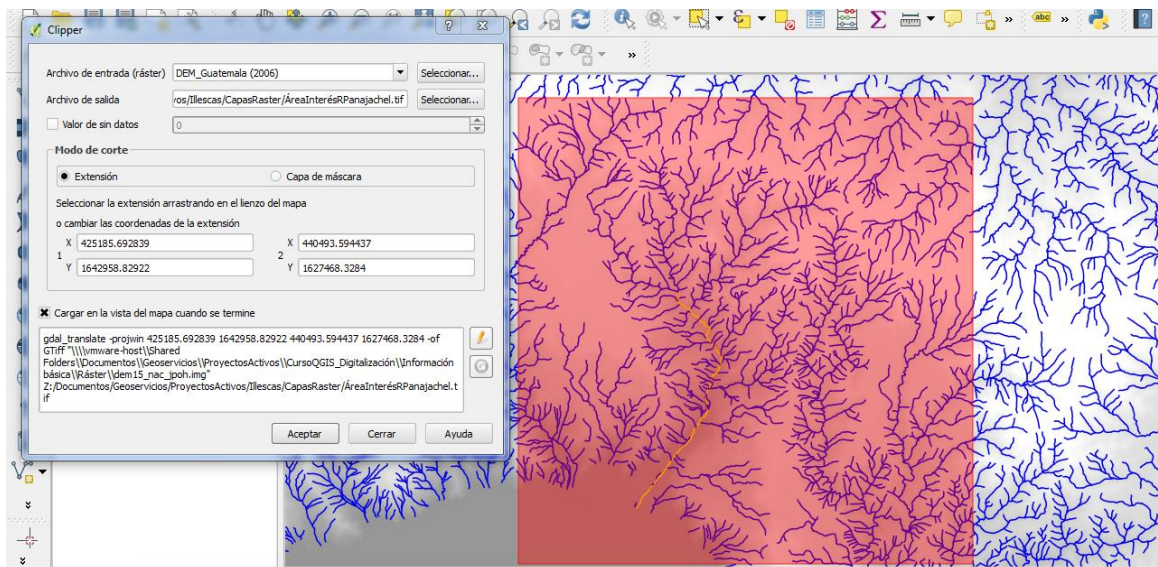
Este acercamiento permite observar el área de estudio con mayor detalle. Es importante notar que con el DEM de fondo y la capa de ríos es posible establecer a grandes rasgos el área aproximada de la cuenca. Con esta vista se procede a realizar el corte del DEM y circunscribir los procesos al área de interés.

Para realizar el corte del área se emplea la herramienta Clipper del menú principal, ubicada en el siguiente direccionamiento:

- Ráster/Extracción/Clipper...

Esta herramienta abre el cuadro de diálogo de la Figura 15; el cuadro de diálogo solicita la información de la Tabla II. El resultado de la herramienta se observa en la Figura 16.

Figura 15. Cuadro de diálogo Clipper



Fuente: elaboración propia, empleando Software QGIS.

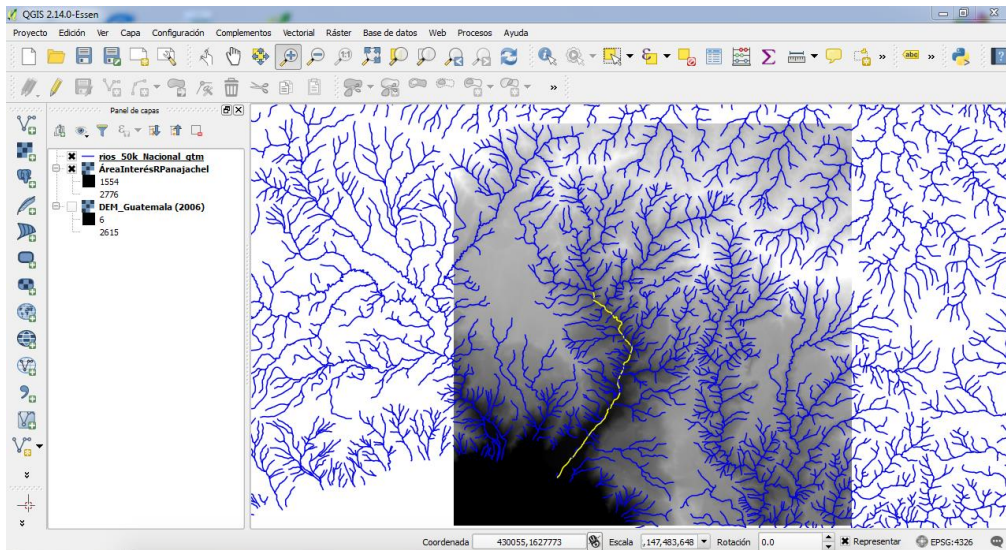
Tabla II. **Cuadro de diálogo herramienta Clipper**

Solicitud	Dato	Observaciones
Archivo de entrada (Ráster)	<i>DEM_Guatemala_2006</i>	
Archivo de salida	<i>.../ÁreaInterésRPanajachel.tif</i>	Se debe ubicar el archivo en una carpeta que sea fácil de ubicar. Por ejemplo, en el escritorio de la PC.
Extensión	Coordenadas	En esta opción es posible seleccionar un recuadro para que se reconozcan las coordenadas automáticamente (Recuadro rojo en la Figura 6).
Cargar en la vista de mapa cuando se termine	X (Seleccionar)	
Nota: en la tabla se incluyen únicamente las opciones que han sido cambiadas de los parámetros por defecto.		

Fuente: elaboración propia.

En este punto conviene eliminar las capas o apagarlas.

Figura 16. **Resultados herramienta Clipper**



Fuente: elaboración propia, empleando Software QGIS.

4.3.3.2. Paso 2: generación de cuencas

Para iniciar este paso, es necesario activar la opción de procesos en el menú principal:

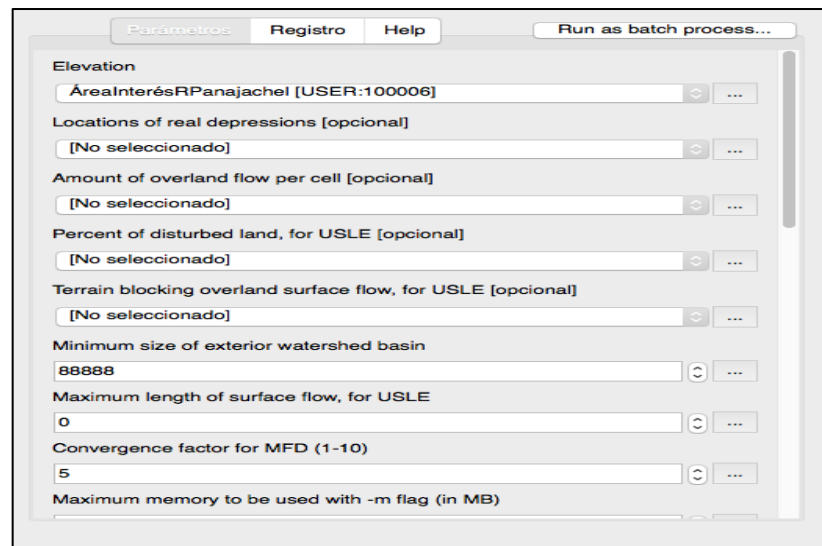
- Procesos/cajas de herramientas

Luego en el cuadro de búsquedas, en la caja de herramientas se busca la herramienta: *r.watershed*. También se puede ubicar esta herramienta en el menú de la Caja de Herramientas en el direccionamiento:

- Geoalgorithms/Ordenes de GRASS/Raster/*r.watershed*

Esta herramienta activa el cuadro de diálogo de las figuras 17, 18 y 19.

Figura 17. Cuadro de diálogo herramienta *r.watershed* primera parte



Fuente: elaboración propia, empleando Software QGIS.

Los parámetros que se ingresan en este paso son la elevación, mediante el DEM y el tamaño mínimo de la cuenca. En este sentido el tamaño mínimo de la cuenca ésta en función de la cantidad de celdas (pixeles), del DEM y el valor mínimo de la cuenca en metros cuadrados, la relación se plantea de la siguiente manera:

$$M = \frac{\text{area mínima en metros cuadrados}}{\text{area de la celda del DEM en metros cuadrados}}$$

Con base a la información existente, se espera un tamaño mínimo de cuenca de $60 \text{ km}^2 = 60\,000,00 \text{ m}^2$.

El área de cada celda del DEM es de $15 \text{ m} \times 15 \text{ m} = 225 \text{ m}^2$. Como resultado se obtiene un valor de 66 666 celdas cuadradas.

El resto de parámetros solicitados se dejan en los valores por defecto. Se desactiva la opción de Abrir el archivo de salida después de ejecutar el algoritmo de las opciones *Visual Display*, *Drainage direction*, *Number of cells that drain through each cell*, *Slope length and steepness (LS)* y *Slope steepness (S)* valores utilizados por la USEL (*Universal Soil Loss Equation* por sus siglas en inglés).

Se debe dejar activados los valores *Unique label for each watershed basin*, *Stream segments*, *Half Basins*, cada archivo debe ser guardado como imagen con extensión TIF.

Etiqueta única para cada cuenca (*Unique label for each watershed basin*)

El resultado de este proceso se representa en el archivo Basín.tif; en este archivo se plasman las cuencas calculadas con tamaño mayor a 60 km^2 (ver

figura 18). El dato resultado está en un archivo ráster con tamaño de celda de 15 m por 30 m.

Para realizar el corte del área se emplea la herramienta Clipper del menú principal, ubicada en el siguiente direccionamiento:

- Ráster/Extracción/Clipper...

Y seleccionar los campos entre ellos el área de estudio, lo que crea un DEM solo del área de interés en formato tif.

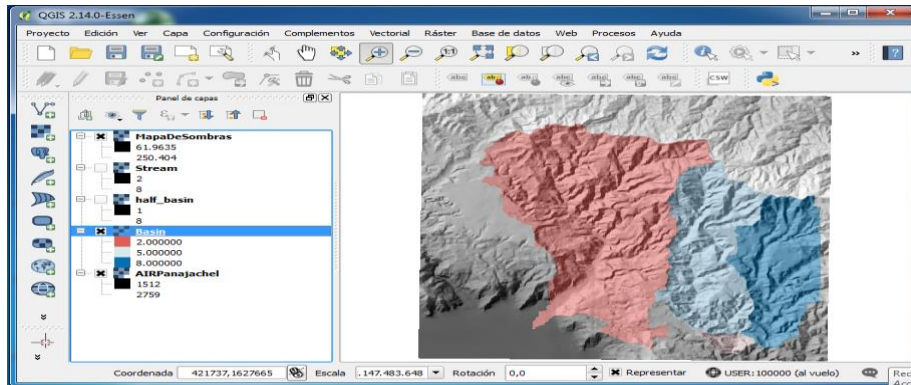
- Generación de cuenca

Luego en el cuadro de búsquedas en la caja de herramientas se selecciona la herramienta: *r.watershed* en el siguiente direccionamiento.

- Geoalgorithms/Ordenes de GRASS/Raster/*r.watershed*

Se llenan los parámetros requeridos por la herramienta y el resultado es *basin.tif*.

Figura 18. **Resultados del proceso en el archivo Basin.tif**



Nota: se agregó una capa de Mapa de Sombras con transparencia y la capa Basin se clasificó con un estilo en falso color.

Fuente: elaboración propia, empleando Software QGIS.

4.3.3.3. **Cálculo de parámetros**

A continuación se describe la generación del área y perímetro de la cuenca. Para esto es necesario generar una capa vectorial con los resultados en la capa ráster Basin.tif. Esta capa contiene los polígonos de las cuencas generadas.

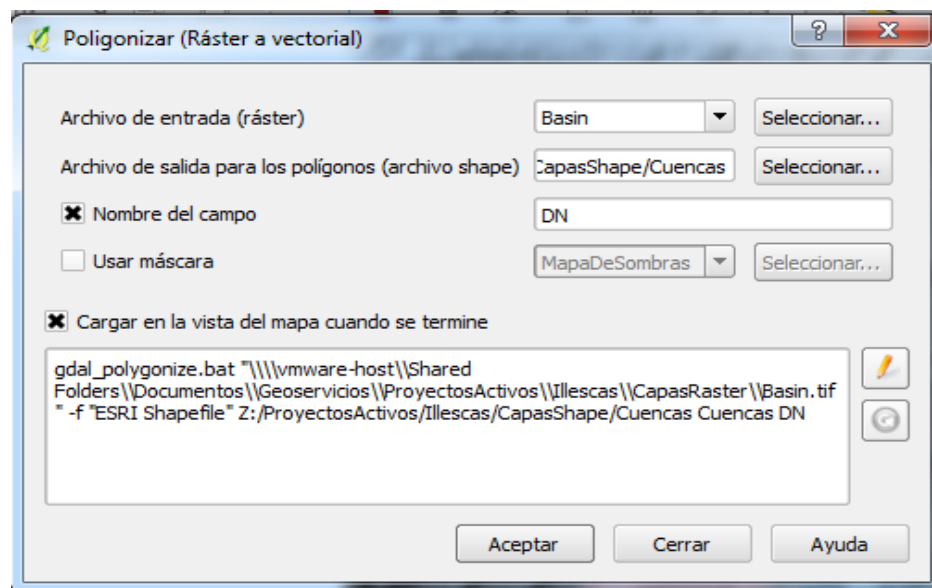
Generación de capa vectorial: para este proceso se utilizó la herramienta Poligonizar en el siguiente menú:

- Ráster/Conversión/Poligonizar (de ráster a vector)

En el formulario se solicitan los siguientes datos listados a continuación (ver figura 19).

- Archivo de entrada (ráster): Basin.tif
- Archivo de salida para los polígonos (archivos shape): /Cuencas.shp
- Seleccionar Nombre del Campo: DN.
- Seleccionar Capa en la vista del mapa cuando se termine.

Figura 19. **Herramienta Poligonizar**

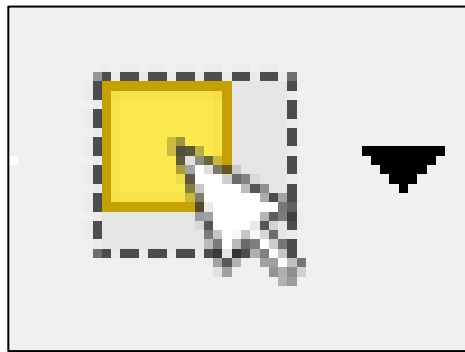


Fuente: elaboración propia, empleando Software QGIS.

Para generar la capa de la cuenca del río Panajachel se selecciona el polígono de la cuenca de interés, mediante la herramienta **Selección de objetos espaciales por polígono o por click único**, el botón se puede apreciar en la Figura 20. Se selecciona la cuenca del interés, luego en el Panel de capa se selecciona la capa Cuencas.shp y posteriormente sobre la capa se

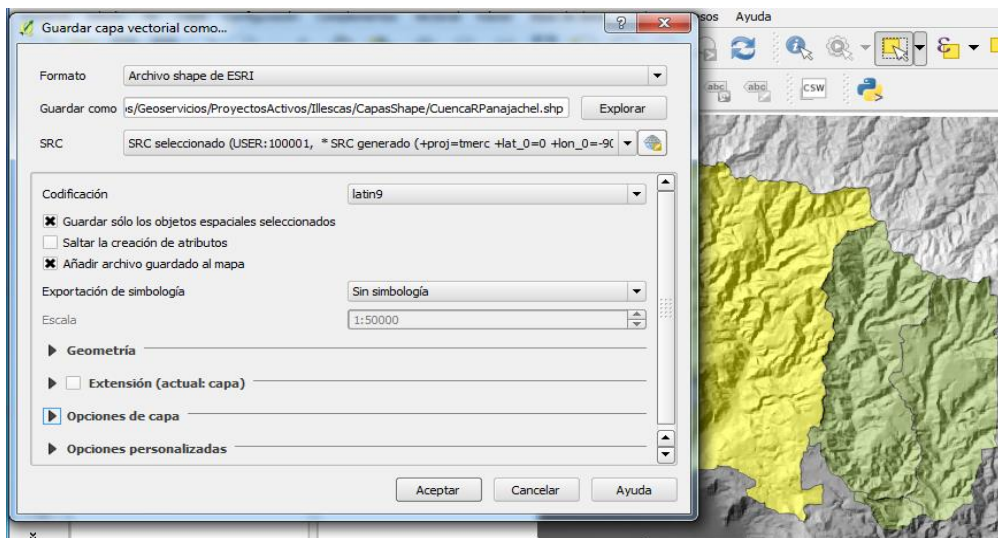
da click derecho, se ingresa al menú y se selecciona la opción **Guardar Como...** (figura 21).

Figura 20. **Botón de selección de objetos espaciales por polígono o por click único**



Fuente: elaboración propia, empleando Software QGIS.

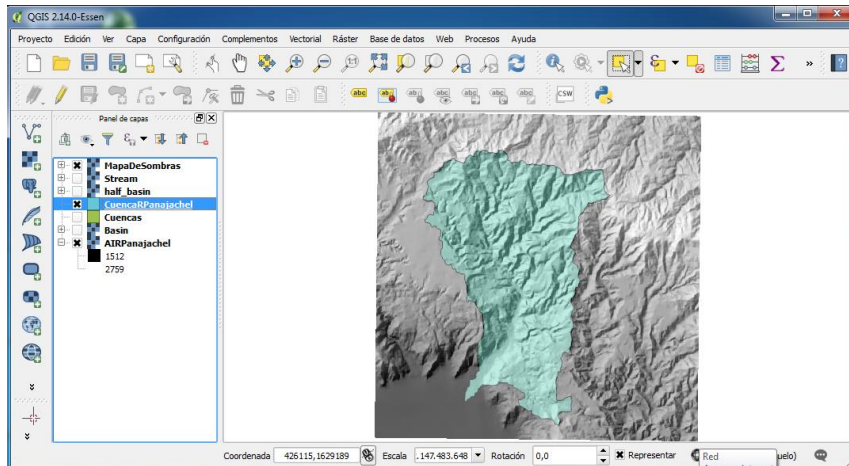
Figura 21. **Guardar capa vectorial como...**



Fuente: elaboración propia, empleando Software QGIS.

Del cuadro de diálogo de la figura 21, se destaca la selección de la opción Guardar sólo objetos espaciales seleccionados. El resultado se representa en la figura 22; esta capa servirá para realizar los cálculos de área y perímetro.

Figura 22. **Resultado Capa Cuenca Río Panajachel**



Fuente: elaboración propia, empleando Software QGIS.

Cálculo de área y perímetro: es necesario abrir la Tabla de Atributos de la capa CuencaRíoPanajachel.shp, esto se puede hacer seleccionando la capa en el Panel de Capas, click derecho, seleccionando la opción abrir tabla de atributos.

También es posible abrir la tabla de atributos mediante el botón Abrir Tabla de Atributos (ver figura 23). El resultado de esta acción se presenta en la figura 24, donde se aprecia que la tabla contiene un único registro que es el de la cuenca seleccionada. Adicionalmente, únicamente contiene un campo numérico, el que consiste en el código automático asignado en el proceso de generar el ráster que generó las cuencas (Basin.tif).

Figura 23. **Botón Abrir Tabla de Atributos**



Fuente: elaboración propia, empleando Software QGIS.

Para el cálculo del área se da click al botón Calculadora de campos (ver figura 25), esta herramienta permite realizar operaciones en los campos y entre los campos. Las operaciones se realizan mediante un formulario que contiene las siguientes opciones y se visualizan en la figura 26:

Crear o Actualizar campos, esta opción se define si la operación se hace sobre un campo existente o sobre uno nuevo.

- Crear campo virtual, se crea un campo no permanente.
- Nombre del campo de salida.
- Tipo de campo de salida, esta opción permite generar campos de Número Entero, Número Real, Texto o Fecha.
- *Output field length*, (longitud de campo de salida) esta opción consiste en el tamaño de la celda y en el caso de números enteros el desplazamiento del punto decimal o cantidad de puntos

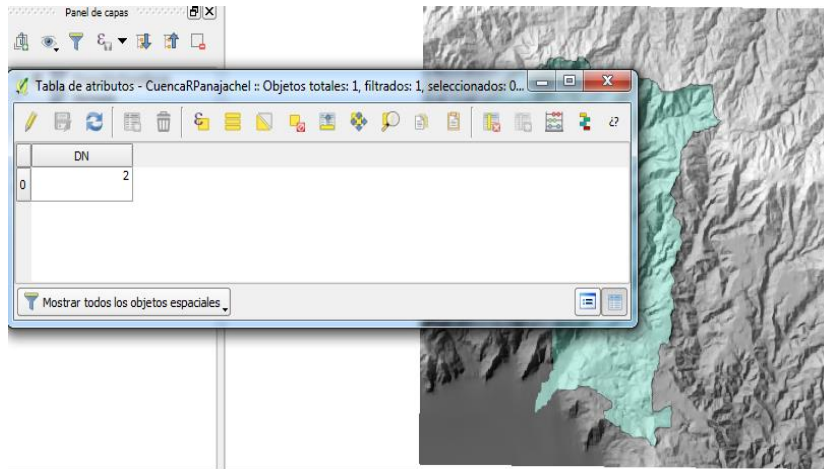
decimales. Es importante hacer notar que este valor está incluido dentro del tamaño que tenga la celda.

- Expresión aquí se incluye la operación a generar.
- Buscar, aquí permite hacer una búsqueda de operaciones, operadores y campos.
- Aceptar
- Cancelar
- Ayuda

Para la generación del área de la cuenca se utilizaron las siguientes opciones (Figura 26):

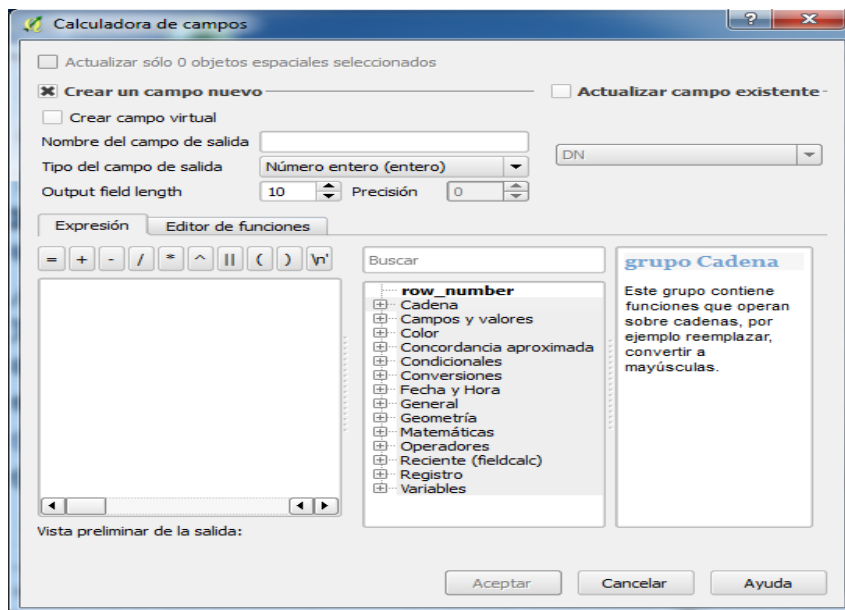
- Crear un campo nuevo: X
- Nombre del campo de salida: Area_m2
- Tipo de campo de salida: Número entero (entero)
- Output field length: 10
- Expresión: \$area
- Buscar: Geometría/\$area
- Aceptar

Figura 24. **Despliegue de la Tabla de Atributos de la capa CuencaRPanajachel.shp**



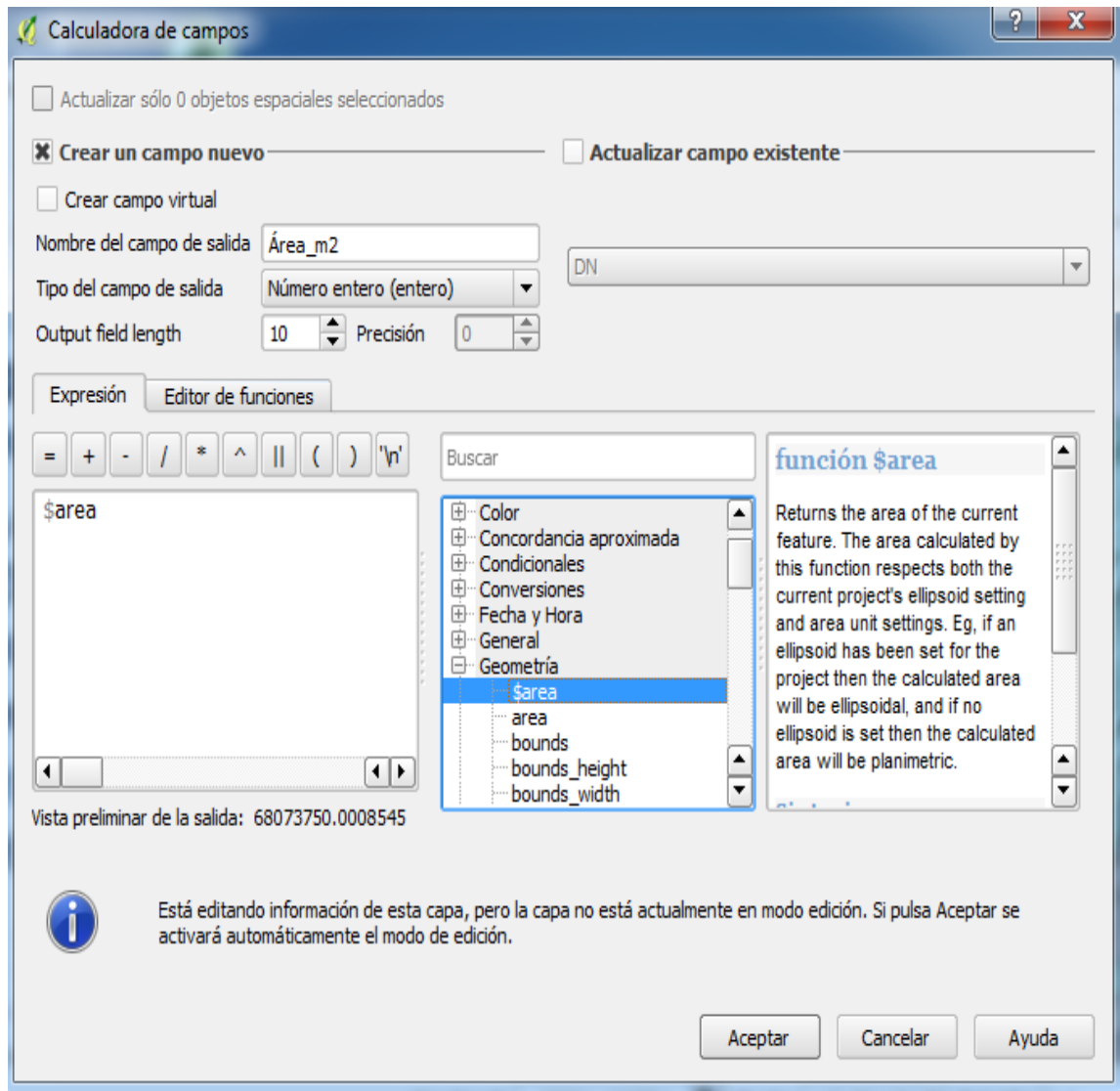
Fuente: elaboración propia, empleando Software QGIS.

Figura 25. **Formulario de calculadora de campos**



Fuente: elaboración propia, empleando Software QGIS.

Figura 26. **Formulario para cálculo de área de la cuenca**



Fuente: elaboración propia, empleando Software QGIS.

En este caso el área calculada es de 68 073 750 metros. Es importante destacar que las unidades de salida son las mismas unidades del sistema de referencia. En el caso en estudio el Sistema de Coordenadas de Referencia es el GTM (Guatemala Transversal de Mercator), este sistema es métrico.

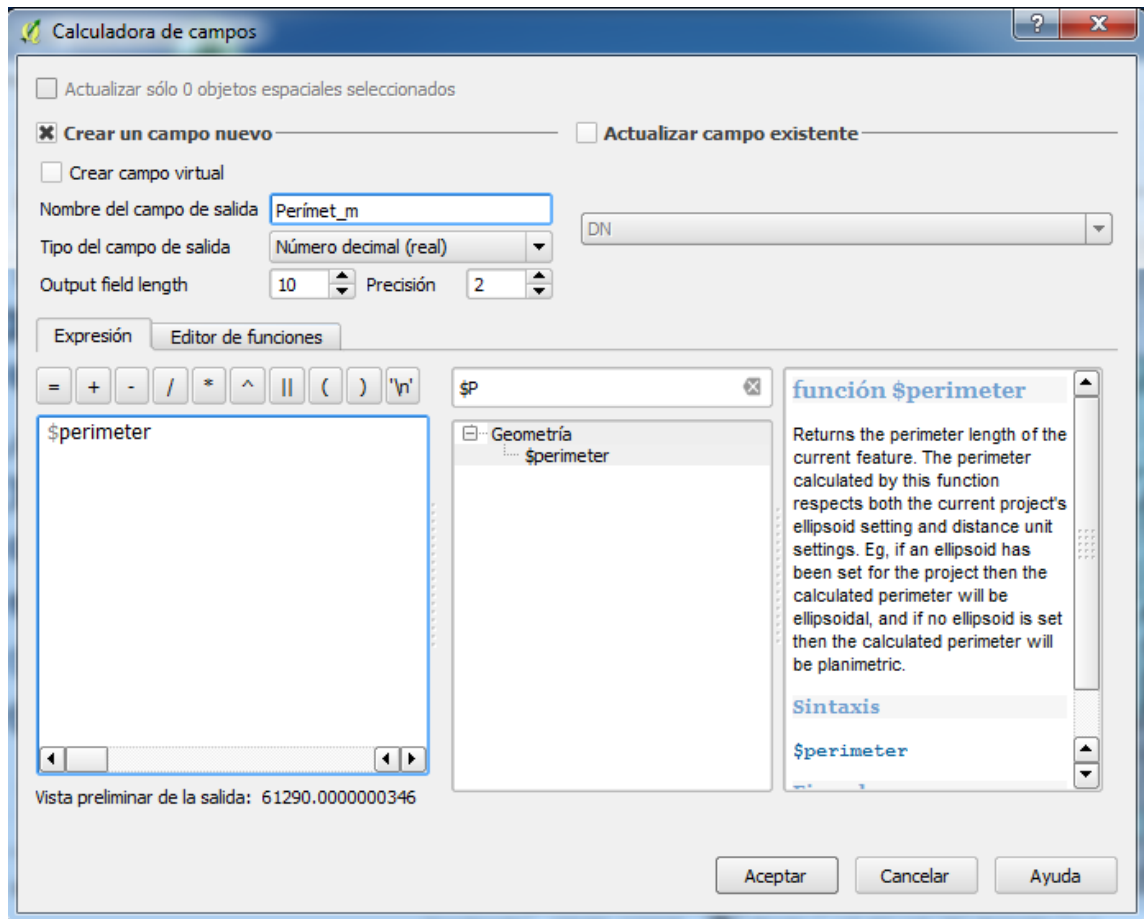
Si se desea calcular el área en kilómetros cuadrados, en la sección de expresión se debe elegir la opción \$area y dividirla entre un millón ($\$area/1\ 000\ 000$), la expresión no debe contener comas para dividir miles o un millón. Se recomienda que este campo sea de tipo decimal, con una precisión de entre 3 y 5.

El cálculo del área se realiza utilizando las siguientes opciones (ver figura 27):

- Crear un campo nuevo: X
- Nombre del campo de salida: Perimet_m
- Tipo de campo de salida: Número real (real)
- Output field length: 10
- Precisión: 2
- Expresión: \$perimeter
- Buscar: Geometría/\$perimeter
- Aceptar

El resultado en metros es de 61 290. De igual manera es posible calcular el perímetro en kilómetros utilizando la expresión: $\$perimeter/1\ 000$

Figura 27. Formulario para obtener el cálculo de perímetro de la cuenca



Fuente: elaboración propia, empleando Software QGIS.

- Cálculo de otras variables considerando los campos área y perímetro: utilizando como base los campos calculados de área y perímetro, se pueden obtener las siguientes variables:
 - Radio circular: se trata de una relación entre el área de la cuenca y el área de un círculo. Esta variable sirve para estimar que tan circular o cuadrada es una cuenca. Si el valor se acerca a 1 la

cuenca es más circular, si el caso es que se acerca a 0,75 la cuenca es más cuadrada. El valor se calcula según la expresión:

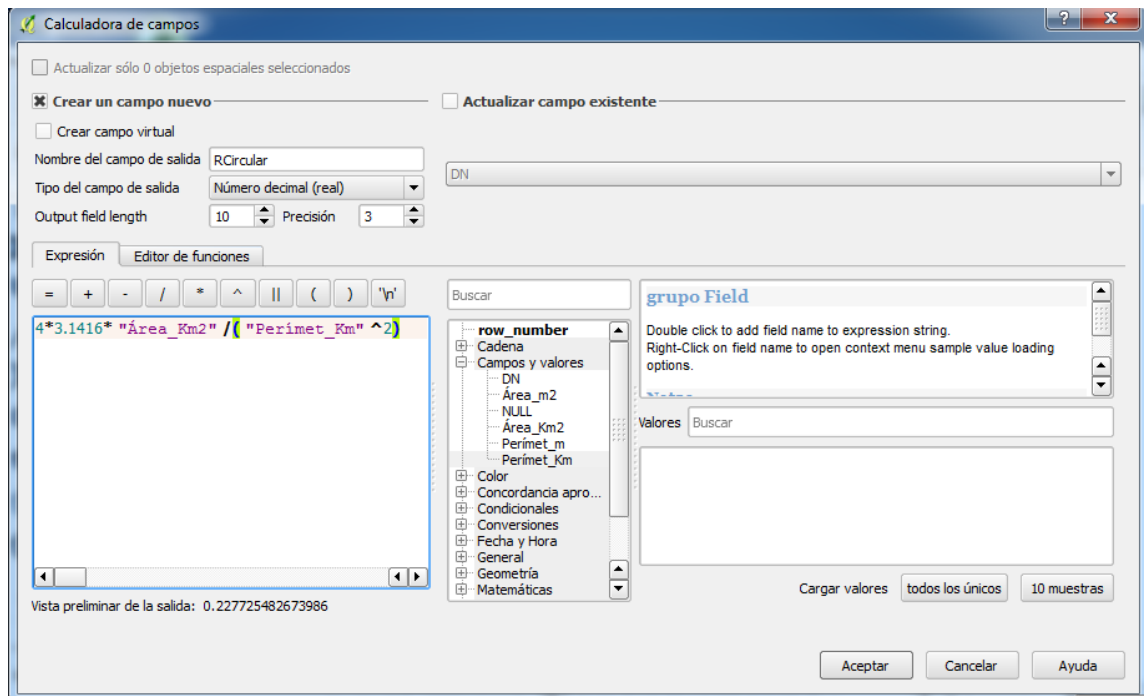
$$\text{Radio circular (Rc)} = \frac{4 \cdot \pi \cdot \text{area de la cuenca}}{\text{perimetro de la cuenca}^2}$$

En la calculadora de campos se utilizan las siguientes opciones:

- Crear un campo nuevo: X
- Nombre del campo de salida: RCircular
- Tipo de campo de salida: Número real (real)
- *Output field length*: 10
- Precisión: 3
- Expresión: $4 \cdot 3.1416 \cdot \text{Área_Km}^2 / (\text{Perimet_Km}^2)$
- Aceptar

Se destaca que no se utiliza la opción de búsqueda, porque la expresión se construye directamente en el espacio de expresión. En la figura 28 se muestra el formulario de la Calculadora de Campos utilizada para obtener el Radio circular.

Figura 28. **Formulario de Calculadora de Campos para obtener el Radio circular**



Fuente: elaboración propia, empleando Software QGIS.

El resultado que se obtuvo en este cálculo fue de 0,228; se observa que la cuenca no tiene características ni cuadrada ni circular.

Coeficiente de compacidad (Kc): es el valor que relaciona el perímetro de un círculo y el perímetro de la cuenca. El valor indica si es circular (valores cercanos a 1), u ovalada alargada, con tendencia a rectangular (valores cercanos a 3).

El valor del Coeficiente de compacidad está dado por la expresión:

$$\text{Coeficiente de Compacidad (Kc)} = \frac{\text{perímetro de la cuenca}}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \text{área de la cuenca}}}$$

En el caso del Coeficiente de compacidad (Kc), se utilizaron los siguientes valores:

- Crear un campo nuevo: X
- Nombre del campo de salida: Compacidad
- Tipo de campo de salida: Número real (real)
- Output field length: 10
- Precisión: 3
- Expresión: "Perimet_Km"/(2*3.1416*"Area_Km2"^0.5)
- Aceptar

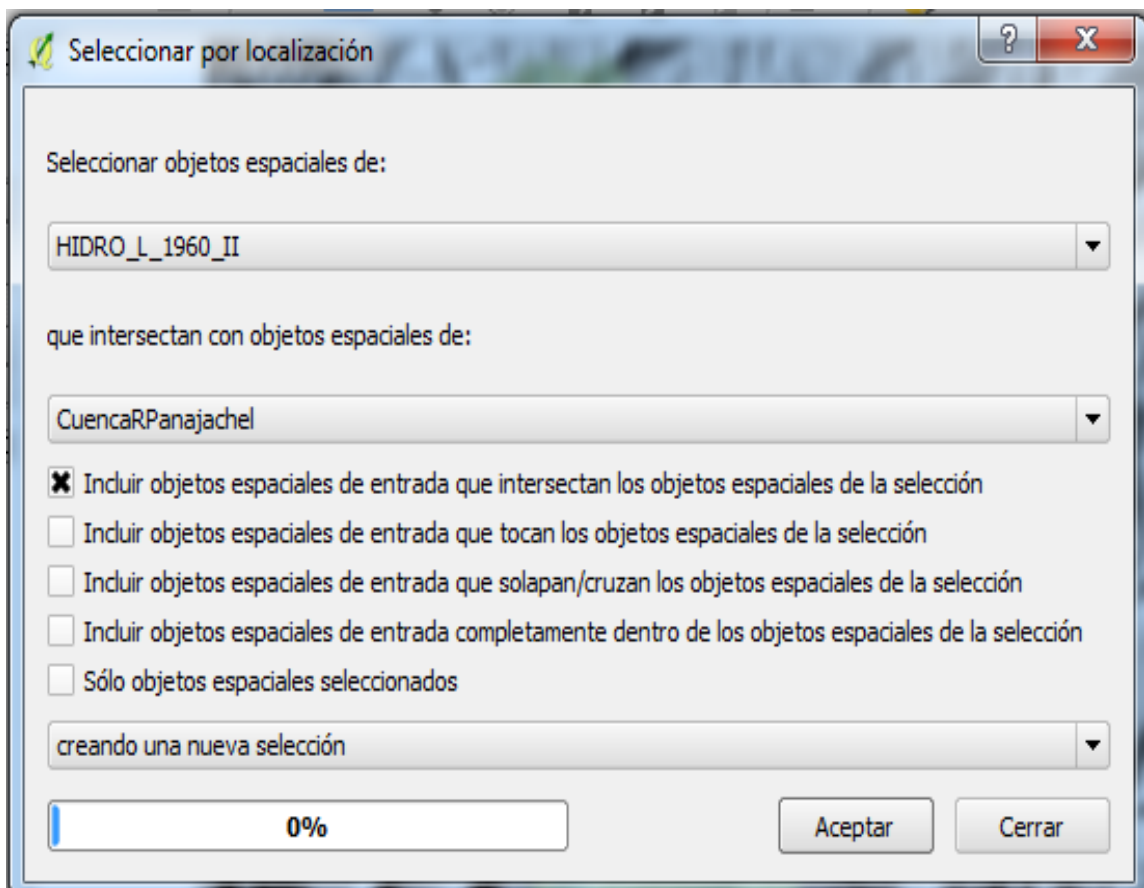
El resultado que se obtuvo fue de 2,96; la cuenca según este parámetro es ovalada cercana a rectangular alargada.

- Identificación de cauces dentro de la cuenca: para este proceso se utiliza la capa de Ríos de la Cartografía Nacional a escala 1:50,000 generada por el IGN en el año 2006. En este sentido se procede a seleccionar todos los afluentes de la cuenca y colocarlos guardándolos en una capa con el nombre de RioPanajachel.shp.

Para la selección se utiliza la herramienta Vectorial/Herramientas de investigación/Selección por localización, en la Figura 29 se muestra el cuadro de diálogo.

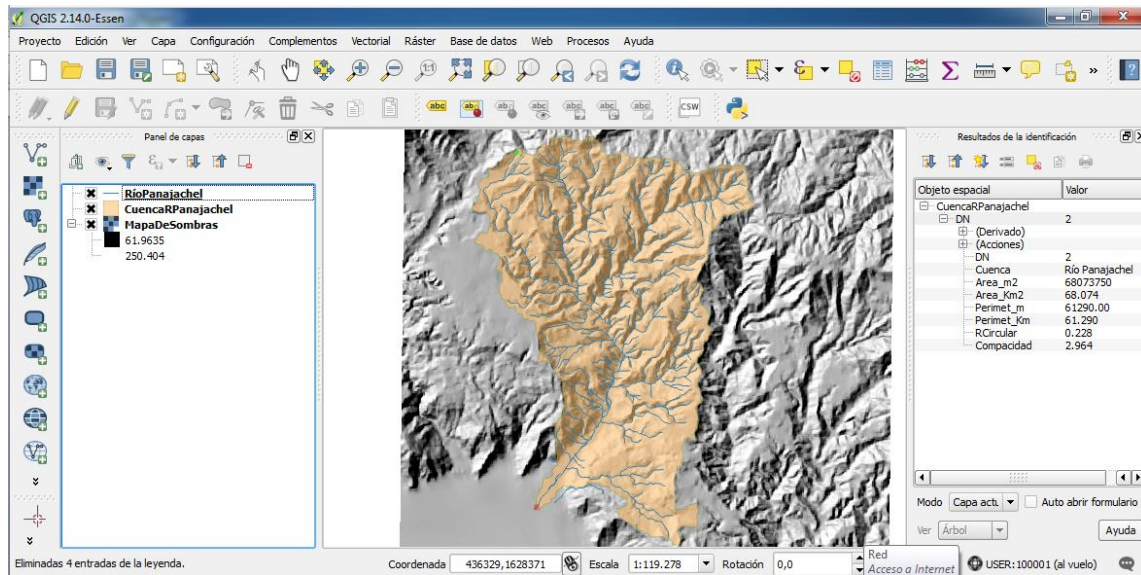
En dicho cuadro de diálogo se solicita la capa de selección de objetos: HIDRO_L_1960_II; que intersectan con objetos espaciales de la capa: CuencaRPinula; finalmente el botón Aceptar.

Figura 29. **Herramienta de selección de objetos espaciales por ubicación**



Fuente: elaboración propia, empleando Software QGIS.

Figura 30. Ubicación del río Panajachel



Fuente: elaboración propia, empleando Software QGIS.

4.3.3.4. Resultados

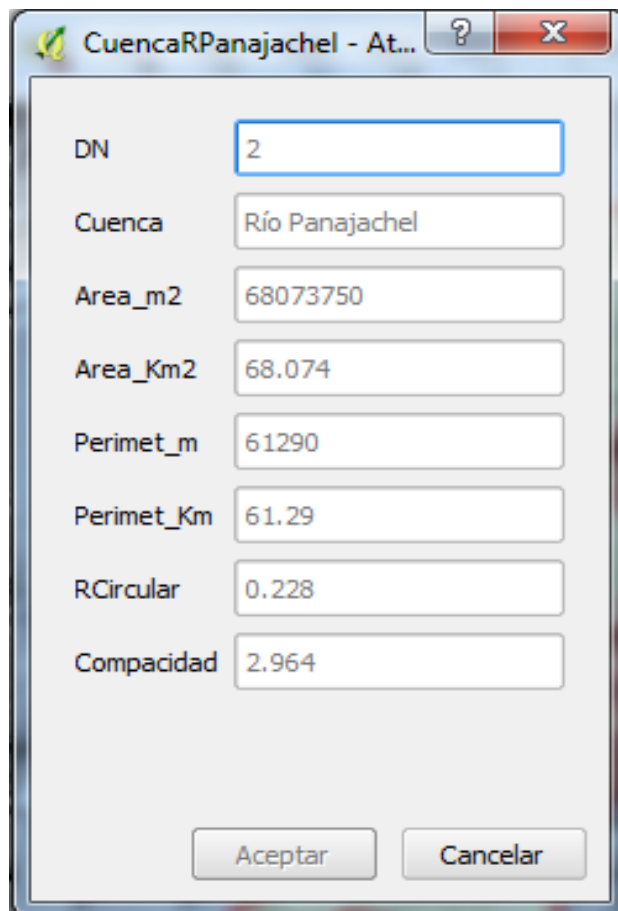
A continuación se presenta una tabla de resultados como se plasma en el Software QGIS 2.14.0 (ver figura 31) con los resultados obtenidos de la cuenca, además son plasmados en el Mapa de la Cuenca (ver figura 32).

- Parámetros utilizados
 - “La cuenca del río San Francisco: su punto más alto tiene una altitud de 2 686 m, mientras que en la desembocadura es de 1 544 m.”²⁵

²⁵ HERNÁNDEZ, Miguel Ángel; NÚÑEZ ÁLVAREZ, Laura. *Estudio hidrológico-hidráulico de avenida en el río San Francisco (Panajachel)*. 2012. p. 135.

- El cauce tiene una pendiente media aproximada del 6,5 %, mientras que la pendiente media de la cuenca es del orden del 40 %, alcanzando valores del 80 % localmente.”²⁶

Figura 31. Imagen de tabla de resultados presentados por QGIS 2.14.0

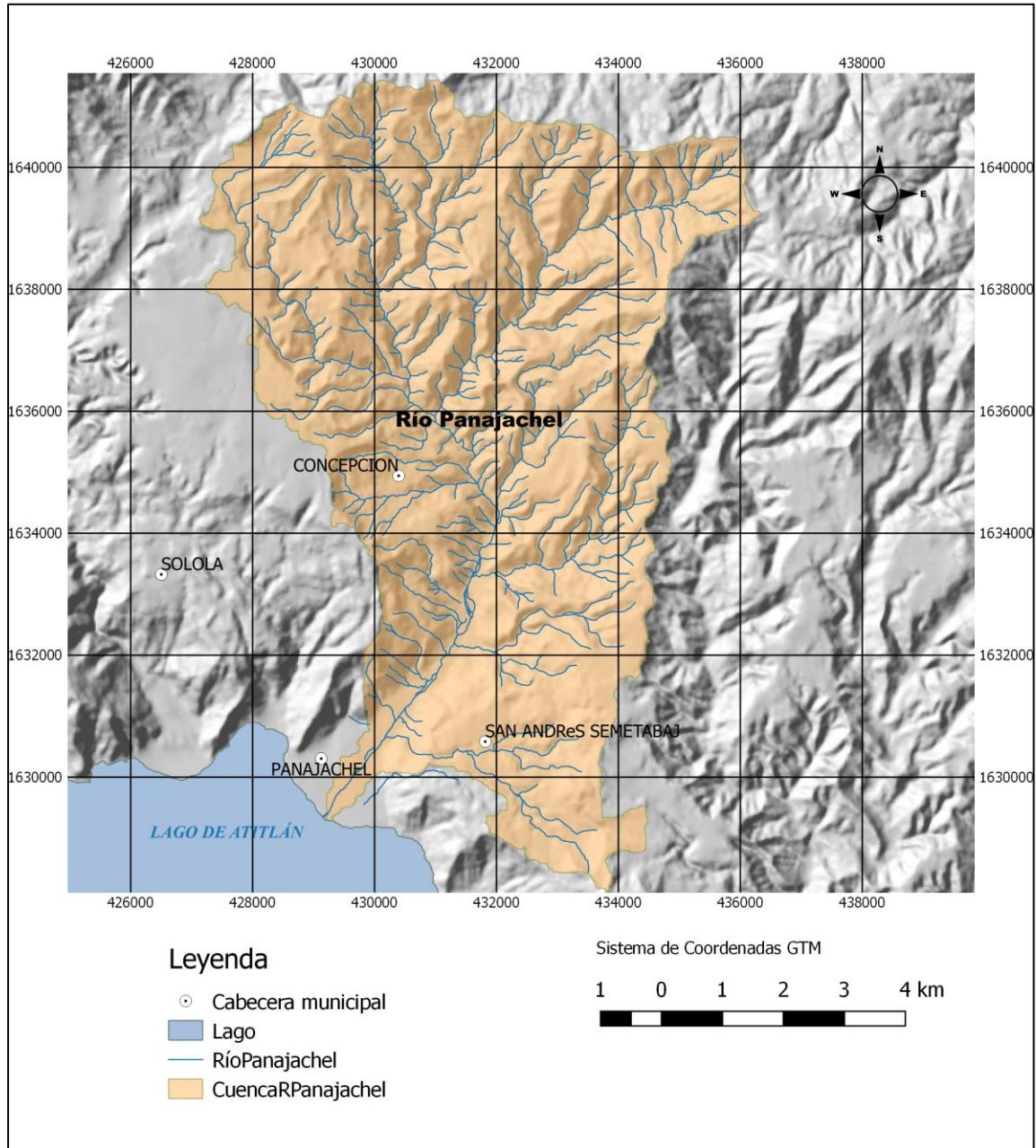


Variable	Valor
DN	2
Cuenca	Río Panajachel
Area_m2	68073750
Area_Km2	68.074
Perimet_m	61290
Perimet_Km	61.29
RCircular	0.228
Compacidad	2.964

Fuente: elaboración propia, empleando Software QGIS.

²⁶ HERNÁNDEZ, Miguel Ángel; NÚÑEZ ÁLVAREZ, Laura. *Estudio hidrológico-hidráulico de avenida en el río San Francisco (Panajachel)*. 2012. p. 135.

Figura 32. **Mapa resultado cuenca río Panajachel**



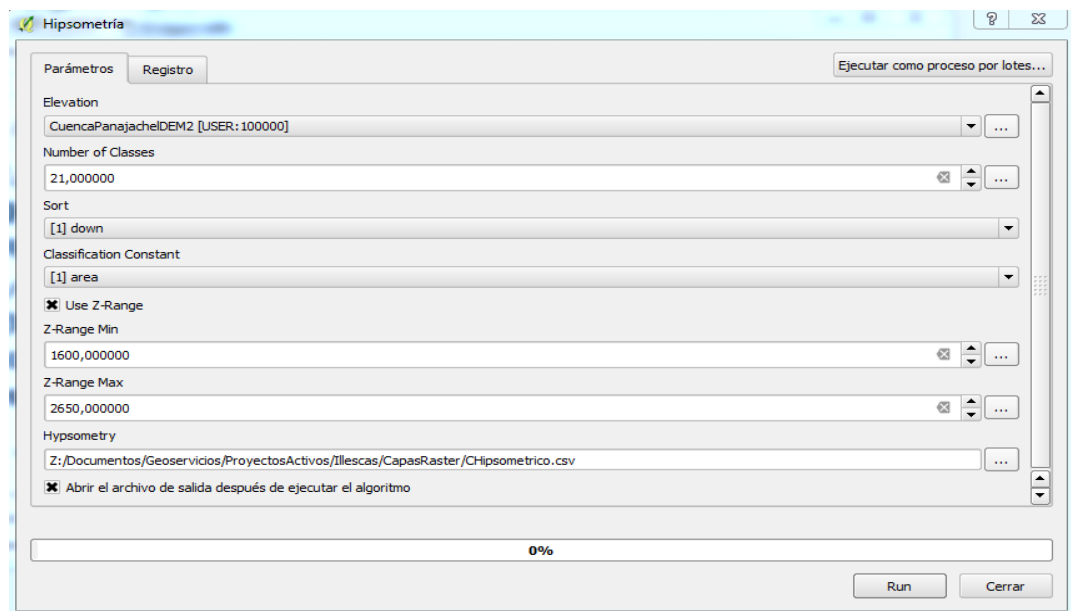
Fuente: elaboración propia, empleando Software QGIS.

4.3.3.5. Curva hipsométrica

Este cálculo se inicia con el DEM de la cuenca, sobre el cual se utiliza la herramienta Curvas Hipsométricas, ubicada en el direccionamiento de Procesos: Algoritmos de QGIS/Herramientas raster/Curvas hipsométricas. Los parámetros a utilizar son los siguientes:

- Elevación: DEM de la cuenca (CuencaPanajachelDEM2.tif)
- Number of Classes: 100 (Default)
- Sort: Up
- Clasificación Constant: área
- Deseleccionar la opción Z use range.

Figura 33. Herramienta curva hipsométrica río Panajachel



Fuente: elaboración propia, empleando Software QGIS.

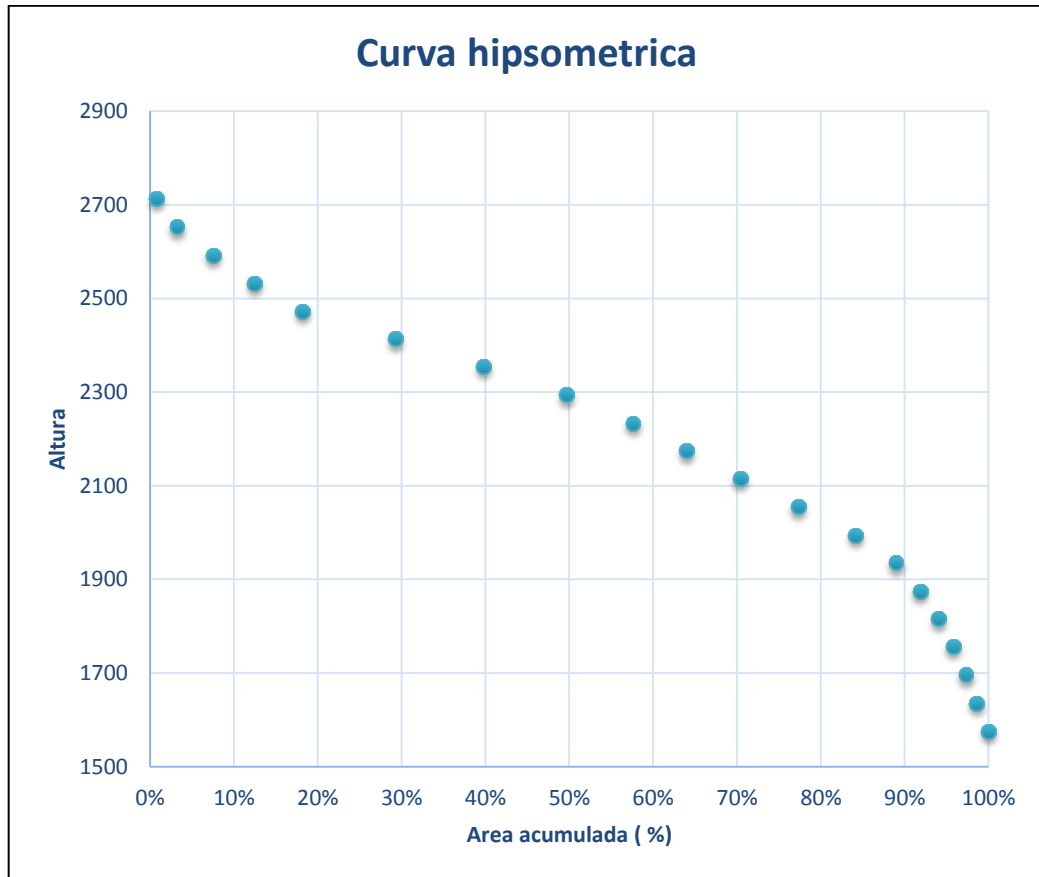
De acuerdo a esto se obtienen los siguientes resultados:

Tabla III. **Resultados cálculo de curva hipsométrica**

No	Min	Max	Altura Promedio	Área en curvas	Acumulado	Área acumulada %	Área entre curvas %	Área
20	2 683	2 742	2713	5,23	5,23	0,77 %	0,77 %	522 940,00
19	2 623	2 682	2653	16,52	21,75	3,20 %	2,43 %	1 652 380,00
18	2 563	2 622	2593	29,45	51,20	7,53 %	4,33 %	2 944 930,00
17	2 503	2 562	2533	33,54	84,74	12,46 %	4,93 %	3 353 530,00
16	2 444	2 502	2473	39,16	123,89	18,21 %	5,76 %	3 915 650,00
15	2 384	2 443	2414	75,27	199,16	29,27 %	11,06 %	7 526 650,00
14	2 324	2 383	2354	71,54	270,71	39,79 %	10,52 %	7 154 440,00
13	2 264	2 323	2294	67,49	338,19	49,71 %	9,92 %	6 748 640,00
12	2 204	2 263	2234	53,82	392,01	57,62 %	7,91 %	5 382 120,00
11	2 145	2 203	2174	43,23	435,24	63,98 %	6,35 %	4 323 050,00
10	2 085	2 144	2115	43,60	478,84	70,38 %	6,41 %	4 359 830,00
9	2 025	2 084	2055	47,21	526,05	77,32 %	6,94 %	4 721 250,00
8	1 965	2 024	1995	46,50	572,56	84,16 %	6,84 %	4 650 490,00
7	1 905	1 964	1935	32,74	605,29	88,97 %	4,81 %	3 273 570,00
6	1 846	1 904	1875	19,73	625,02	91,87 %	2,90 %	1 972 620,00
5	1 786	1 845	1816	14,89	639,91	94,06 %	2,19 %	1 489 260,00
4	1 726	1 785	1756	11,86	651,78	95,80 %	1,74 %	1 186 210,00
3	1 666	1 725	1696	10,35	662,13	97,32 %	1,52 %	1 035 080,00
2	1 606	1 665	1636	8,83	670,95	98,62 %	1,30 %	882 761,00
1	1 546	1 605	1576	9,38	680,33	100,00 %	1,38 %	937 933,00

Fuente: elaboración propia.

Figura 34. Curva hipsométrica río Panajachel



Fuente: elaboración propia, empleando Software QGIS.

4.4. Análisis de resultados

A continuación se presenta el análisis de los resultados obtenidos en la evaluación de las características morfométricas de la cuenca del río Panajachel, utilizando el software QGIS.

4.4.1. Generalidades

De acuerdo a lo establecido con el uso del software QGIS en su versión 2.14.0 (QGIS ESSEN), la principal ventaja que presenta es que se encuentra bajo una licencia pública, lo que significa que no tiene un costo para el usuario. Esto lo convierte en una excelente alternativa para manejar datos geográficos, comparado con el alto costo de software de tipo comercial.

Además el software utilizado, presenta características y resultados comparables y en algunos casos superan al software comercial, principalmente en el análisis de datos; actualmente tiene alrededor de 300 herramientas y más de 300 complementos. Otra ventaja importante es que es posible utilizarlo en muchos idiomas; en el caso de Guatemala puede ser utilizado en español, favoreciendo su aplicación.

Además es un software altamente intuitivo, la interfaz gráfica del usuario (GUI), es amigable y permite desarrollar los procesos con facilidad. Dado que el QGIS es muy liviano, se puede instalar en computadoras casi de cualquier característica y con prestaciones básicas. Esto es favorable ya que no se necesita invertir en máquinas de altas prestaciones y costo.

4.4.2. Tabulación y análisis información

Se realizó en base a los resultados del trabajo desarrollado, la tabulación permitió contar con los resultados de una forma ordenada y precisa, lo que facilitó la elaboración de las gráficas y tablas necesarias, de acuerdo a lo establecido.

4.4.3. Gráficas y tablas

A continuación se presentan las gráficas y tablas necesarias para el análisis de los resultados.

Tabla IV. Información cuenca río Panajachel

Información	Comentario
<p>El punto más alto de la cuenca tiene una altitud de 2 686 m, mientras que en la desembocadura es de 1 544 m; con una diferencia entre ellos de 1 142 metros.</p>	<p>La pendiente de la cuenca es la relación del desnivel que existe entre los extremos de la cuenca; tiene una relación importante y compleja con la infiltración del suelo, y la contribución del agua subterránea a la escorrentía. Es uno de los factores que controla el tiempo de escurrimiento y concentración de la lluvia en los canales de drenaje, y tiene una importancia directa en relación a las crecidas. El cauce tiene una pendiente media aproximada del 6,5 %, mientras que la pendiente media de la cuenca es del orden del 40 %, alcanzando valores del 80 % localmente.</p>
<p>Clima: de acuerdo con el sistema de clasificación climática de <i>Thornthwaite</i>, el área donde se localiza la cuenca tiene un clima templado, con verano benigno y húmedo e invierno seco.</p>	<p>De acuerdo al clima en la zona, la vegetación natural característica es el bosque de coníferas, abarcando por entero el área de la cuenca. La cuenca se encuentra cubierta, en su mayor parte, por una masa forestal que abarca prácticamente la mitad de su extensión (48,3 %), donde el bosque mixto es el uso principal (43,5 %).</p>
<p>La precipitación anual en la cuenca del Lago Atitlán, varía entre más de 4 500 mm hasta menos de 1 000 mm.</p>	<p>La precipitación anual en la cuenca del río Panajachel puede ser inferida, estimativamente, de las precipitaciones registradas en la estación El Tablón, única estación del área con un registro medianamente extenso y completo.</p>
<p>Por la naturaleza volcánica de la cuenca del lago Atitlán, los suelos predominantes en la cuenca del río Panajachel son los andisoles.</p>	<p>El uso del suelo dentro de la cuenca del río Panajachel está condicionada por sus características biofísicas y por condiciones socioeconómicas. La presión demográfica en ciertas áreas define su intensidad de uso y la distribución parcelaria de la tierra.</p>

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Resultados análisis morfométrico cuenca río Panajachel**

Resultados		
Parámetro	Valor	Comentario
Área (m ²)	68 073 750	La cuenca del lago de Atitlán posee un área de 541 km ² . Las áreas urbanas alcanzan casi un 10 % del área total.
Área (km ²)	68,074	
Perímetro (km)	61,29	El perímetro de la cuenca es un parámetro importante, da una idea sobre la forma de la cuenca.
Radio circular	0,228	De acuerdo al resultado, la cuenca no tiene características ni cuadrada ni circular.
Coeficiente de compacidad (Kc)	2,96	De acuerdo al resultado, la cuenca es ovalada cercana a rectangular alargada. Entre más bajo sea Kc mayor será la concentración de agua.

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Para un mejor uso de los programas de Sistemas de Información Geográfica, se debe contar con conocimientos básicos, disponer de criterios técnicos para la introducción de datos y la selección de aplicaciones, de acuerdo al resultado que desee obtener.
2. Se elaboró una guía práctica para el uso de los SIG, en el análisis y evaluación de las características morfométricas de una cuenca, para estudiantes, profesionales, técnicos y docentes relacionados con el tema.
3. La cantidad, tipo e importancia de la información en la caracterización de cuencas hidrográficas, que se puede obtener con el uso de SIG, depende de la información existente en el área de interés.
4. El uso de los SIG, permite contar con una amplia variedad y cantidad de herramientas y opciones para determinar la morfología de las cuencas hidrográficas.
5. Para determinar los parámetros relativos a la forma de la cuenca del río Panajachel, fue necesario calcular: el área de la cuenca, el perímetro, largo y ancho de la cuenca y el índice de compacidad.
6. De acuerdo a los resultados, se determinó que la cuenca hidrográfica del río Panajachel tiene un área de 68 074 km², un perímetro de 61,29 km, y un coeficiente de compacidad $K_c = 2,96$.

7. El uso del software QGIS en su versión 2.14.0 (QGIS ESSEN), es una alternativa para estudiantes y profesionales de ingeniería para manejar datos geográficos, comparado con el alto costo del software de tipo comercial; ya que la principal ventaja que presenta es que se encuentra bajo una licencia pública, lo que significa que no tiene un costo para el usuario.

RECOMENDACIONES

1. Promover el uso de los Sistemas de Información Geográfica como parte de los contenidos en los cursos de la carrera de ingeniería civil, con el objeto de impulsar el uso de estas técnicas para realizar estudios académicos y profesionales.
2. Impulsar el trabajo multidisciplinario para la caracterización de las microcuencas y cuencas hidrográficas en Guatemala, gestionando financiamiento de entidades públicas y privadas, con el objetivo de tener un inventario.
3. Incorporar la temática de los SIG y sus aplicaciones en hidrología, en los eventos académicos estudiantiles.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALVARADO RODRÍGUEZ, Enver Samuel. *Modelación del proceso lluvia escorrentía usando sistemas de información geográfica*. Perú; Universidad del Piura, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil. 2004. p. 80.
2. ANAYA FERNANDEZ, Oscar Gonzalo. *Caracterización morfo métrica de la cuenca hidrográfica Chinchao, distrito de Chinchao, provincia Huánuco, región Huánuco*. Perú; Universidad Nacional Agraria de La Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables. Perú. Enero 2012. p. 60.
3. BUZAI, Gustavo D., ROBINSON, David J. *Sistemas de información geográfica en américa latina (1987-2010). Un análisis de su evolución académica basado en la CONFIBSIG*. [en línea]<http://www.inegi.org.mx/eventos/2011/Conf_Ibero/doc/MagistralBuzai-Robinson.pdf> [Consulta: octubre de 2015].
4. DÍAZ CARRERA, Gerson Amílcar. *Metodologías para la implementación del catastro urbano con sistemas de información geográfica*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2004. p. 133.

5. Documento Técnico del Perfil Ambiental de Guatemala. *Situación del recurso hídrico en Guatemala*. Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas –FCAA–Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente –IARNA–. [en línea]<[www.http://biblio3.url.edu.gt/](http://biblio3.url.edu.gt/)> [Consulta: octubre de 2015].
6. HERNÁNDEZ, Miguel Ángel; NÚÑEZ ÁLVAREZ, Laura. *Estudio hidrológico-hidráulico de avenida en el río San Francisco (Panajachel)*. Guatemala 2012. p. 135.
7. LONDOÑO ARANGO Carlos Hernando. *Cuencas hidrográficas: bases conceptuales – caracterización planificación-administración*. [en línea]<<http://www.ut.edu.co/academico.pdf>> [Consulta: diciembre de 2015].
8. *Morfología de las cuencas hidrográficas*. [en línea] <<https://riunet.upv.es/>> [Consulta: diciembre de 2015].
9. PUIRNA informe final de investigación 2009. *Planificación de uso de la tierra en la subcuenca del río Panajachel, cuenca del lago de Atitlán, Sololá*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación. 147 p.
10. ZEPEDA HERNÁNDEZ, Silsa Karen. *Manual para la aplicación del Sistema de Información Geográfica SPRING en proyectos de Ingeniería Civil*. Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. 2011. p. 563.