

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y
ARTES DE CHIAPAS**

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
CENTRO DE INVESTIGACIONES COSTERAS

TESIS

RED HIDROGRAFICA Y MORFOMETRÍA DE LAS
CUENCAS DE LOS RIOS “LAGARTERO” Y
“ZANATENCO” DE ARRIAGA Y TONALA, COSTA DE
CHIAPAS, MÉXICO.

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
LICENCIADA EN BIOLOGIA MARINA Y MANEJO
INTEGRAL DE CUENCAS

PRESENTA

ANA LUISA CHAVEZ CRUZ



TONALÁ, CHIAPAS

MARZO 2025

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y
ARTES DE CHIAPAS**

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
CENTRO DE INVESTIGACIONES COSTERAS

TESIS

RED HIDROGRAFICA Y MORFOMETRÍA DE LAS
CUENCAS DE LOS RIOS “LAGARTERO” Y
“ZANATENCO” DE ARRIAGA Y TONALA, COSTA DE
CHIAPAS, MÉXICO.

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
LICENCIADA EN BIOLOGIA MARINA Y MANEJO
INTEGRAL DE CUENCAS

PRESENTA

ANA LUISA CHAVEZ CRUZ

DIRECTOR

M en C. JOSÉ REYES DÍAZ GALLEGOS

ASESOR

Dr. ARKADY USCANGA MARTINEZ





Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Dirección de Servicios Escolares
Departamento de Certificación Escolar
Autorización de impresión



Lugar: Tonalá, Chiapas
Fecha: 27 de marzo de 2025

C. Ana Luis Chávez Cruz

Pasante del Programa Educativo de:

Licenciatura en Biología marina y Manejo integral de cuencas

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

**Red hidrográfica y morfometría de las cuencas de los ríos Lagartero y Zanatenco de
Arriaga y Tonalá, costa de Chiapas, México**

En la modalidad de

Tesis

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Mtro. Ignacio Díaz Galdámez

Mtro. Alexis Fanuel Velasco Ortíz

Mtro. José Reyes Díaz Gallegos

Firmas:

Ccp. Expediente.

INDICE

	INDICE DE CUADROS.....	5
	INDICE DE FIGURAS.....	5
	RESUMEN.....	7
I	INTRODUCCION.....	9
II	MARCO TEORICO.....	12
	2.1 Cuenca hidrográfica.....	12
	2.2 Morfometría de cuencas.....	13
	2.3 Red de Drenaje.....	14
	2.4 Tipos de cuencas hidrográficas.....	14
	2.5 Sistemas de Información Geográfica.....	16
	2.6 Aplicaciones de Percepción Remota.....	17
	2.7 Captación de Agua.....	18
	2.8 Gasto.....	19
	2.9 Caudal ecológico.....	19
III	ANTECEDENTES.....	21
IV	HIPOTESIS.....	28
V	OBJETIVOS.....	28
	5.1 Objetivo General.....	28
	5.2 Objetivos Específicos.....	28
VI	AREA DE ESTUDIO.....	29
	6.1 Ubicación Geográfica cuenca Hidrológica del rio Lagartero...	29
	6.2 Ubicación Geográfica cuenca Hidrológica del rio Zanatenco...	31
	6.3 Fisiografía.....	31
	6.4 Edafología.....	33
	6.5 Geología.....	33
	6.6 Climas.....	33
	6.7 Hidrografía.....	34
	6.8 Flora.....	35
	6.9 Áreas Naturales Protegidas.....	35
VII	METODOLOGIA.....	36
	7.1 Delimitación de las cuencas.....	36
	7.2 Elaboración de la red hidrográfica de las cuencas.....	37
	7.3 Cálculo de Parámetros morfométricos.....	39
VIII	RESULTADOS.....	48
	8.1 Cuenca del rio Lagartero.....	48
	8.2 Cuenca del rio Zanatenco.....	50
	8.3 Red Hidrográfica del rio Lagartero.....	52
	8.4 Red hidrográfica del rio Zanatenco.....	54

	8.5	Orden de Corrientes de la cuenca del Rio Lagartero.....	56
	8.6	Orden de Corrientes de la cuenca del Rio Zanatenco.....	58
	8.7	Indicadores morfométricos de la cuenca del rio Lagartero.....	60
	8.8	Perfil Hipsométrico de la Cuenca rio Lagartero.....	61
	8.9	Pendiente promedio del rio Lagartero.....	62
	8.10	Indicadores Morfométricos de la cuenca del rio Zanatenco....	63
	8.11	Perfil Hipsométrico de la Cuenca rio Zanatenco.....	64
	8.12	Pendiente promedio rio Zanatenco.....	65
IX		DISCUSION.....	66
X		CONCLUSIONES.....	76
XI		REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	77

ÍNDICE DE CUADROS

Nombre	Título	Pag.
Cuadro 1	Formas de la cuenca relacionado con el índice de compacidad...	40
Cuadro 2	Clasificación propuesta para el tamaño de las cuencas.....	42
Cuadro 3	Interpretación de la densidad de drenaje de las cuencas.....	44
Cuadro 4	Clasificación propuesta para el tipo de relieve del terreno.....	45
Cuadro 5	Índices morfométricos calculados para la cuenca hidrológica del rio Lagartero.....	60
Cuadro 6	Índices morfométricos calculados para la cuenca hidrológica del rio Zanatenco.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Nombre	Título	Pag.
Figura 1	Distribución de los elementos que componen una cuenca hidrológica y su cauce principal.....	12
Figura 2	La bocabarra o desembocadura de un rio como características principal de una cuenca exorreica.....	15
Figura 3	Características de una Cuenca endorreica.....	15
Figura 4	Escurrimientos superficiales que se infiltran al subsuelo como característica de una cuenca arreica.....	16
Figura 5	Ubicación Geográfica de la Cuenca hidrológica del rio Lagartero en el municipio de Arriaga, Chiapas.....	30
Figura 6	Ubicación Geográfica de la Cuenca hidrológica del rio Zanatenco en el municipio de Tonalá, Chiapas.....	33
Figura 7	Proceso de elaboración del polígono o parteaguas de las cuencas, usando el Modelo Digital del Terreno disponible en Google Earth Pro.....	36
Figura 8	Visualización y corrección de la poligonal de las cuencas, usando el Modelo Digital del Terreno disponible en Google Earth Pro.....	37
Figura 9	Proceso de digitalización e integración de la red hidrográfica aplicando el método de interpretación visual, usando imágenes de satélite y el Modelo Digital del Terreno disponibles en Google Earth Pro.....	38
Figura 10	Modelo de curvas hipsométricas del ciclo de erosión (Senciales y Ferre, 1992, Lux-Cardona, 2012).....	43
Figura 11	Visualización de la poligonal de la cuenca y el cauce del rio Lagartero sobre el modelo digital disponible en Google Earth Pro.....	48
Figura 12	Mapa de distribución de la poligonal y el cauce del rio Lagartero.	49

Figura 13	Despliegue y visualización de la poligonal de la Cuenca y el cauce del río Zanatenco.....	50
Figura 14	Mapa de distribución de la poligonal y el cauce del río Zanatenco.....	51
Figura 15	Distribución de la Red hidrográfica de la cuenca del río Lagartero sobre el modelo digital del terreno disponible en Google Earth Pro.....	52
Figura 16	Mapa de la distribución de la red hidrográfica del río Lagartero	53
Figura 17	Despliegue de la Red Hidrográfica de la cuenca del río Zanatenco sobre el modelo digital del terreno disponible en Google Earth Pro.....	54
Figura 18	Mapa de la distribución de la red hidrográfica del río Zanatenco	55
Figura 19	Mapa de distribución del orden de corrientes de la red hidrográfica del río Lagartero.....	57
Figura 20	Mapa del orden de corrientes de la red hidrográfica del río Zanatenco.....	59
Figura 21	Perfil Hipsométrico de la cuenca del río Lagartero, Arriaga, Chiapas.....	61
Figura 22	Perfil de elevación y pendiente del río Lagartero, Arriaga, Chiapas.....	62
Figura 23	Perfil Hipsométrico de la cuenca del río Zanatenco, Tonalá Chiapas.....	64
Figura 24	Perfil de elevación y pendiente del río Zanatenco Tonalá Chiapas.....	65
Figura 25	Imágenes de satélite que muestran el proceso de asolvamiento de la Bahía Paredón en el área de la desembocadura del río Lagartero en la última dos décadas.....	68
Figura 26	Fotografías que muestran el desazolve en varias partes del río Zanatenco, para evitar desbordamientos. Estas fotos fueron tomadas desde el puente de la localidad La laguna.....	69
Figura 27	Imágenes que muestran el proceso de desazolve en varias partes del río Lagartero, para evitar desbordamientos Estas fotos fueron tomadas desde el puente de la localidad Barrio el Carmen cerca del Puente del ferrocarril en Arriaga.....	70
Figura 28	Secuencia de fotografías muestran al río Lagartero sin presencia de agua superficial 2 km del puente de la autopista y hacia la cuenca alta 8 km con agua.....	72
Figura 29	Secuencia fotográfica muestran al río Zanatenco, sin presencia de agua superficial 9 km del puente de la autopista hasta el puente de hamaca en cuenca alta.....	73
Figura 30	Fotos que muestran pequeños pozos excavados sobre el cauce del río Zanatenco en la cuenca alta, por pobladores para tener agua limpia en época de estiaje.....	74
Figura 31	Figura 30. Fotografías que muestran la cuenca del río Zanatenco con alto grado de perturbación de sus selvas, deforestación sobre el cauce, aunado a tributarios rodeados de pastizales.....	75

RESUMEN

Las cuencas hidrográficas están delimitadas por una divisoria de aguas y constituyen un área o región que se caracteriza por drenar aguas superficiales, hacia una misma zona de salida como un río, una laguna o directamente al mar y se dividen en cuencas Arreicas, Endorreicas y Exorreicas. Esta investigación consistió en realizar un análisis detallado de la morfometría y la red hidrográfica de las cuencas hidrográficas de los ríos Lagartero y Zanatenco de los municipios de Arriaga y Tonalá Chiapas. Se diseñó e integró un sistema de Información Geográfica (SIG) de ambas cuencas hidrográficas; el mapeo de la red hidrográfica se realizó a través de la digitalización por interpretación visual de las imágenes de satélite de alta resolución y el modelo de elevación disponibles en Google Earth Pro, posteriormente en el Programa Arc Gis 10 se elaboró el mapa de orden corrientes; así mismo los índices y parámetros morfométricos se calcularon en Excel. Los mapas de la delimitación de las cuencas (Parteaguas), la red hidrográfica y del orden de corrientes fueron validados en campo durante el mes de abril de 2024 usando un GPS Garmin modelo 60Csx.

Los resultados obtenidos indican que la cuenca del río Lagartero cuenta con una superficie de 23,356 Ha y 1,183 afluentes, mientras que la cuenca del río Zanatenco registró 23,188 Ha y 762 afluentes. Ambas cuencas presentaron una distribución de sus afluentes en 5 órdenes de corrientes, de tipo dendrítico y con forma oval-oblonga a rectangular-oblonga, con forma similar a un embudo, debido a que son más anchos en la cabecera de la cuenca y se estrechan hacia la cuenca baja, por lo que presentan riesgos de inundaciones en avenidas fuertes. De acuerdo con el trabajo de campo realizado en los afluentes y cauces, se encontró que ambos ríos son intermitentes hasta 25 km desde la línea de costa hacia la cuenca alta en la época seca. Lo cual puede considerarse crítico ya que no hay disponibilidad de agua durante los meses secos.

Palabras clave: Cuencas hidrográficas costeras, morfometría, red hidrográfica, Chiapas.

ABSTRACT

Hydrographic basins are delimited by a watershed and constitute an area or region that is characterized by draining surface waters, towards the same exit area such as a river, a lagoon or directly to the sea and are divided into Arrheic, Endorheic and Exorheic basins. This research consisted of carrying out a detailed analysis of the morphometry and hydrographic network of the watersheds of the Lagartero and Zanatenco rivers in the municipalities of Arriaga and Tonalá, Chiapas. A Geographic Information System (GIS) of both hydrographic basins was designed and integrated; the mapping of the hydrographic network was carried out through the digitalization by visual interpretation of the high-resolution satellite images and the elevation model available in Google Earth Pro, continuously in the Arc Gis 10 software the current order map was prepared; likewise the indexes and morphometric parameters were calculated in Excel. The maps of the basin delimitation (Watersheds), the hydrographic network and the order of currents were validated in the field, during the month of April 2024 using a Garmin GPS model 60Csx.

The results obtained indicate that the Lagartero River basin has an area of 23,356 Ha and 1,183 tributaries, while the Zanatenco River basin registered 23,188 Ha and 762 tributaries. Both basins presented a distribution of their tributaries in 5 orders of currents, of dendritic type and with an oval-oblong to rectangular-oblong shape, with a shape similar to a funnel, because they are wider at the head of the basin and narrow towards the lower basin, so they present risks of flooding in strong avenues. According to the field work carried out on the tributaries and riverbeds, it was found that both rivers are intermittent up to 25 km from the coastline towards the upper basin in the dry season. Which can be considered critical since there is no water availability during the dry months.

Keywords: Coastal watersheds, morphometry, hydrographic network, Chiapas.

I. INTRODUCCIÓN

Una cuenca hidrográfica contribuye a un área delimitada por la dirección de sus cursos de agua y su superficie es definida por el parteaguas, (que es una línea imaginaria, que divide a una cuenca de otras), a partir de esta, la precipitación drena por esa sección (Cotler, 2010).

El agua es un recurso natural fundamental para la sobrevivencia de los seres vivos, siendo la parte humana una de las principales en el aprovechamiento en dicho recurso. Actualmente se encuentra entre los más limitados convirtiéndose en uno de los problemas más grandes y prioritarios de la humanidad. Suministrar agua de manera cotidiana a las ciudades se está volviendo un proceso difícil, ya que no se cuenta con los recursos necesarios y con la pérdida de agua que se ha registrado cada año, cada día es insuficiente para abastecer a una población grande con agua potable de calidad (SEMARNAT, 2010).

En una cuenca hidrológica, la recarga de agua subterránea, el flujo y la descarga se encuentra controlada primordialmente por la interacción de varios factores tales como la geomorfología, geología, patrón estructural y el clima predominante de la región. Estos factores cubren en su mayoría extensas áreas geográficas (Meijerink, 2007).

La función hidrológica de la cuenca es semejante a un colector que recibe la precipitación pluvial y la convierte en escurrimiento, en otras palabras capta la lluvia y mediante sus tributarios, se encargan del esparcimiento de toda esa agua almacenada (Henaos, 1988; Mintegui-Aguirre y López-Unzú, 1990; Gaspari, 2002; Gaspari *et al.*, 2009). Dicha transformación se produce en función de las condiciones climatológicas y físicas, asociada a la naturaleza del suelo y cobertura vegetal (Gaspari, 2002). Este factor es cuantificable para poder comprender e interpretar su comportamiento morfodinámico y obtener su respuesta hidrológica (López Cadenas de Llano, 1998; Méndez y Marcucci, 2006; Matter *et al.*, 2009).

Cada cuenca hidrográfica por ende tiene una morfométrica particular, la cual es proporcional con la posibilidad de cosecha hídrica (Gaspari *et al.*, 2013), ante la presencia de eventos climáticos, y a la respuesta a estos mismos, tales son la escorrentía superficial, expresada en términos de caudales o la incidencia en el transporte de sedimentos y nutrientes a lo largo de los ecosistemas que la integran.

Por otra parte, a través de una caracterización morfométrica existe la posibilidad de comparar diferentes cuencas hidrográficas a partir de la descripción precisa de la geometría de las formas superficiales (Gaspari, *et al.*, 2012; Busnelli y Horta, 2014).

El análisis morfométrico es el estudio de un conjunto de variables lineales, de superficie, de relieve y drenaje; que permite conocer las características físicas de una cuenca, lo cual permite realizar comparaciones entre varias cuencas y ayuda a la interpretación de la funcionalidad hidrológica y en la definición de las estrategias para su manejo (Gaspari, 2012). Por esta razón se han buscado relaciones de similitud geométrica entre las características medias de una cuenca y de su red de canales con otras cuencas. La forma de la cuenca condiciona la velocidad del escurrimiento superficial. Para cuencas de igual superficie y formas diferentes se espera un comportamiento hidrológico también diferente.

Existen estudios realizados en varias regiones en la búsqueda de nuevos acuíferos, con fines de seguir distribuyendo este recurso a las comunidades de toda la población, décadas atrás han realizado de igual forma estudios hidrogeológicos donde han sido realizadas en rocas fracturadas en países con escasez o limitaciones del recurso (Larsson, 1984; Lloyd, 1986; Acworth, 1987; Bestow, 1987; Black, 1987; Lloyd, 1999).

La Morfometría de Cuencas es de gran utilidad permitiendo establecer de manera semejante los flujos de diferentes tamaños (Ruiz, 2001) la finalidad radica en aplicar los resultados de los modelos elaborados en pequeña escala a prototipos de gran escala y hacer una serie de los comparativos necesarios en cada una de ellas (Chow *et al.*, 1994).

La caracterización morfométrica de una cuenca llevándola de manera general es la base de toda una investigación para generar una idea global sobre el funcionamiento del sistema ambiental (Felicísimo, 1994; Wise, 2000; Selvi y Bildirici, 2008; Sharma *et al.*, 2009), tomando en cuenta las áreas de interface agua-aire y agua-sedimento (Montoya y Moreno 2009), la configuración del relieve forma un factor de control clave para variados procesos naturales.

Este análisis nos permite determinar un contexto geomorfológico mediante una serie de parámetros que son aptos de un razonamiento matemático que permite disminuir el dominio de la subjetividad en las conclusiones que deriven los parámetros seleccionados para la aplicación de este método (Doffo y Bonorino, 2005).

Este estudio de las características morfométricas y funcionales de una cuenca hidrográfica, a través de parámetros de forma, relieve y red de drenaje, entre otros, es básico en la modelación hidrológica para determinar el movimiento y captación del agua de lluvia (Gaspari *et al.*, 2009).

En las regiones áridas y semiáridas del planeta los recursos hídricos ocupan el primer lugar entre los más amenazados, debido a la escasa precipitación que limita la recarga de los acuíferos, no son lo suficiente efectivas para la distribución de agua. A nivel mundial, el promedio anual de precipitación en estas regiones fluctúa entre 400 a 500 mm (Chorley *et al.*, 1984; Lloyd, 1999).

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Cuenca Hidrográfica

Una cuenca hidrográfica constituye un área delimitada por la dirección de sus cursos de agua y su superficie es definida por el parteaguas (Martínez, 2006), (que es una línea determinada por la pendiente de escurrimiento superficial y separa a una cuenca de otras), a partir de esta, la precipitación drena por esa sección (Cotler, 2010).

Se puede considerar que una cuenca hidrográfica es toda aquella superficie que contempla no sólo sus flujos superficiales sino también los subterráneos y la complejidad de su estudio es amplia (Figura 1). Existen dos tipos de cuencas, entre ellas se encuentra: Cuenca endorreica su punto de salida está ubicada dentro de los límites de la cuenca y por lo general es un lago, la Cuenca exorreica tienen un punto de salida localizado en los límites de la cuenca y llegan a desembocar en otra corriente o en el mar (Aparicio, 1989).



Figura 1. Distribución de los elementos que componen una cuenca hidrográfica y su cauce principal.

La cuenca es considerada como una unidad espacial y temporal, caracterizada por ser un sistema complejo, dinámico y abierto; a excepción de que, esta unidad no encierra la idea de homogeneidad, por lo tanto tiene el reto de delimitar unidades ambientales homogéneas, como lo son los corredores biológicos (Primack *et al.*, 2001).

La cuenca hidrográfica es donde se integran tanto los componentes naturales como los antrópicos, primordialmente la unidad lógica de planificación, gestión y gobernanza. Dicho espacio geográfico fácilmente se mantiene a una evaluación incluyendo el comportamiento de todos los sistemas envueltos en la planificación (Fournier, 2003; Meli, 2003; Meffe y Carroll, 1997).

Se logran caracterizar con base a su morfología, ya están sean por la naturaleza del suelo, la cobertura vegetal y el uso del suelo (Henaos, 1988; Mintegui Aguirre y López-Unzú, 1990; Gaspari, 2002; Gaspari *et al.*, 2009).

2.2 Morfometría de Cuencas

Mediante el proceso de caracterización de las propiedades morfométricas, es la brecha principal para la búsqueda de la relación entre estos y las condiciones climáticas, geológicas e hidrológicas que se puedan determinar la evolución de una cuenca (Navarrete, 2004).

El tamaño, la forma y la pendiente, son propiedades morfométricas, que nos ayudan a saber el comportamiento del caudal y el de las crecidas, de las aguas de una cuenca. Son resultado de mayor importancia en la respuesta del caudal recibido y que pueden operar tanto para atenuar como para intensificar las crecidas, siendo estas las que actúan incrementando el volumen del flujo y la velocidad del movimiento que son determinantes para así poder mitigar desastres en caso de afectaciones por las fuertes lluvias (Robinson, 2000). La mayor parte de estas propiedades actúan de manera incrementada en el volumen del flujo y la velocidad de su movimiento (Jones, 1997).

2.3 Red de Drenaje

Los diferentes tipos de red de drenaje u observando de otra perspectiva el conjunto de corrientes superficiales de una área determinada, son todos ellos un productos de diversos factores (Strahler, 1966; Tarbuck y Lutgens, 1997 y Seco, 2000). Los cuales se destacan:

- Historia geológica y dinámica geomorfológica del territorio.
- Diferencias en la composición y dureza de las rocas subyacentes.
- Control estructural.
- Movimientos tectónicos recientes.
- Morfoalineamientos.
- Intensidad y largo de la pendiente y
- Factores hidroclimáticos.

Por lo consiguiente, debido a la combinación de estos factores y fundamentalmente a la dominancia de alguno de ellos, es que la red de drenaje presenta diferencias importantes en su forma, tamaño, temporalidad y magnitud de escurrimiento.

2.4 Tipos de cuencas hidrográficas

Con base al cuerpo que fluye el agua al que arriban las aguas de las cuencas, estas pueden ser clasificadas de distintas formas. Por lo tanto, se diferencian de la siguiente forma los tipos de cuencas hidrográficas que existen.

Cuencas exorreicas

Son todas aquellas cuencas que drenan sus aguas hacia el mar u océanos (Figura 2).



Figura 2. La bocanarra o desembocadura de un rio como características principal de una cuenca exorreica.

Cuencas endorreicas

Se entiende por cuencas endorreicas, a aquellas que tienden a desembocar en lagos o lagunas y por lo tanto no presentan comunicación con mares u océanos (Aceves *et al.*, 2014) (Figura 3).



Figura 3. Características de una Cuenca endorreica

Cuencas arreicas

Dichas cuencas son aquellas donde cuya agua se evapora o se infiltra en el terreno antes de encontrarse con un cuerpo de agua (Figura 4).



Figura 4. Esguimientos superficiales que se infiltran al subsuelo como característica de una cuenca arreica.

2.5 Sistemas de Información Geográfica

Existen diversos autores que marcan el origen de los Sistema de Información Geográfica (SIG) con la aparición de las técnicas cartográficas (Ruiz, 1995), pudiéndose afirmar el inicio de los SIG se produjo con el cambio del formato analógico (cartografía convencional) al digital. Por tanto, la evolución de los SIG está relacionada con el adecuado desarrollo de la informática (Bocco, 2000), (en especial, los aspectos del software y del hardware).

Los SIG, actualmente está ampliamente difundido tanto en la geografía como en distintas ciencias, específicamente en aquellas que se encuentran vinculadas a la planificación territorial y la resolución de problemas socioeconómicos y ambientales, integrando capacidades técnicas y analíticas y su carácter multipropósito (Moraga, 2011). Existen varias definiciones como especialistas que utilizan el SIG. Tales definiciones se han efectuado desde distintos puntos de vistas, funcional y estructural (Rhind, 1981; Guevara, 1983; Marble, 1984; Berry, 1987) o de otra manera basadas

en sus aplicaciones y objetivos (Goodchild, 1985; Muller, 1985; Boaerts, 1989; Peuquet, 1990).

Una de las ventajas de los SIG es poder relacionar las distintas capas entre sí, lo que atribuye a estos sistemas una gran capacidad de análisis, de esta manera poder responder a peticiones complejas y, con base a esto, producir mapas derivados que pueden representar situaciones reales o escenarios hipotéticos o simulados de gran utilidad (Cebrian, 1988).

Los SIG tienen un uso muy en particular con el análisis de superficies a través de modelos digitales de elevación, que de alguna manera representan una alternativa que toma relevancia en estudios de parámetros morfométricos, siendo estos muy útil para el análisis de características en un ambiente geomorfológico (Viramontes *et al.*, 2007). Esta aplicación de tecnología geoespacial, permite evaluar el funcionamiento del sistema hidrológico, pudiendo así estimar y almacenar de las características descriptivas de un área determinada, ayudando al manejo y planeación de los recursos naturales (Soler, 2017).

2.6 Aplicaciones de Percepción Remota

La percepción remota se ha venido convirtiendo en una herramienta de suma importancia para el análisis, facilitando y ampliando la representación, la interpretación y el análisis de los datos espaciales (Coulson *et al.*, 1991; Texeira *et al.*, 1992). Su uso está asociado con la tecnología SIG, que han permitido extender las posibilidades de tratar paisajes y regiones en manera integral, aportando en estas investigaciones una mejor planificación y manejo en su diagnóstico y transformación (Jonson, 1969; Quattrochi y Pelletier, 1991).

Todas aquellas imágenes procesadas de percepción remota a un SIG, permiten integrar y analizar la heterogeneidad espacial en formato digital, podría ser fácilmente medido o valorado. La imagen digital se encuentra constituida por píxeles, que se obtienen al convertir el intervalo continuo de valores análogos de radiación registrada

por un sensor en un intervalo expresado por un número finito de enteros números digitales (Lillesand y Kiefer, 1994).

La percepción remota ha contribuido en investigaciones en el ámbito hidrogeológico desde los diferentes aspectos tales como el análisis de cuencas hidrológicas (Rango, 1977; Ragan y Jackson, 1980; Sharma y Singh, 1992; Shih, 1996), contaminación (Schmelling, 1998; Salmon *et al.*, 2001; Min, 2004), exploración (Salama *et al.*, 1994; Shaban *et al.*, 2006), y modelado (Schultz, 1988; Engman y Gurney, 1991; Schultz, 1993; Townsend y Walsh, 1998). Se han venido aplicando con mayor éxito en varias regiones del mundo, lo que viene siendo la exploración e identificación de áreas de recarga y descarga, mediante el análisis estructural de alineaciones visibles en las imágenes de satélite y fotografías aéreas (Salama *et al.*, 1994).

En una cuenca hidrográfica la recarga de agua subterránea, el flujo y la descarga se encuentra controlada primordialmente por la interacción de varios factores como son la geomorfología, geología, patrón estructural y clima de la región.

Dichos factores en la mayoría de los casos cubren extensas áreas geográficas, y estos pueden ser evaluados dinámicamente mediante el uso de fotografías aéreas e imágenes de satélite (Meijerink, 2007). La delineación de áreas de captura y recarga, es lo que nos facilita el empleo de la percepción remota estableciendo una relación entre estos factores, siendo uno de ellos los mecanismos de transporte y el almacenamiento del agua subterránea.

2.7. Captación de Agua

Este termino de Captación de Agua Pluvial es utilizado de manera tradicional para la recolección de agua lluvia (Gleason, 2005). En regiones húmedas y áridas, con referencia a contextos de pobreza y de riqueza, para el abastecimiento de agua en los hogares, producción agrícola, mantenimiento de espacios verdes y ecosistemas estratégicos para la vida urbana (Márquez, 1996).

Mediante la planificación y gestión del agua captada de la lluvia se pueden de igual forma reducir riesgos, prevenir daños a la salud y mitigar desastres (Agatón *et. al.*, 2016). Las situaciones presentes de las cuales la estructura geológica de los suelos contiene arsénico o alguna otra sustancia peligrosa que llega a contaminar el agua de los pozos y aljibes. El uso de la lluvia, viendo como un beneficio depende más allá del uso para consumo humano y animal (Rivas, S. *et. al.*, 2005). Alimenta la conservación de tanto los bosques y los humedales, así mismo, disminuye la presión sobre acuíferos y proyectos de construcción de nuevas presas para el abastecimiento urbano (Gleason, 2005).

2.8 Gasto

Gasto y aforo están muy relacionadas ya que son estructuras de las cuales cuyo único uso es la medición de caudales. Se perfilan haciendo uso de los principios hidráulicos del flujo crítico.

Esta estructura tiende a producir las condiciones de flujo crítico mediante el estrechamiento de las paredes del canal o la elevación o hundimiento de la plantilla o podría ser ambos, en una sección transversal o en un tramo del canal o garganta del aforador. De esta forma, y de manera acorde con la teoría de flujo crítico, hay una relación única que existe entre el nivel del agua medido aguas arriba y el gasto que fluye. Cualquier barrera u obstáculo, que pueda estar colocado sobre un canal en el que ocurre un flujo, sirve como medidor de gasto cuando se puede establecer una relación funcional entre la carga y el gasto (SARH, 1988).

2.9 Caudal Ecológico

La hidrología se encuentra vinculado de manera vigorosamente en el funcionamiento ecológico de un río, por lo tanto alguna alteración en cualquiera de los principales componentes del régimen de caudales (Díez, 2005), (duración, frecuencia, magnitud, predictibilidad y periodicidad) puede, afectar la integridad ecológica de un río, ya sea de manera directa o indirectamente (Poff *et al.*, 1997).

El caudal ecológico se encuentra definido como la cantidad y calidad de agua necesaria para poder mantener o restaurar la biodiversidad y un funcionamiento casi óptimo del ecosistema acuático (Tharme, 2003).

Además el caudal ecológico concilia la demanda económica, social y ambiental del agua, reconociendo así que los bienes y servicios de las cuencas hidrológicas se acatan a los procesos físicos, biológicos y sociales, y ya sea que únicamente conservando el agua que éstos lleguen a necesitar, se puede garantizar su provisión futura (WWF, 2010), (Díez y Burbano, 2007).

III. ANTECEDENTES

Las cuencas hidrográficas denominadas “Lagartero” y “Zanatenco” pertenecientes a la región Costa de Chiapas, cuenta con un Programa Regional de Desarrollo, cuya finalidad es tener un mejor manejo de las localidades ubicadas en esta región, dando suma importancia a todos los servicios que en esta se encuentren, tener un mejor desarrollo sostenible.

La importancia de este estudio en la región es resolver la falta de información morfométrica de las cuencas presentes y ayudar a orientar programas de conservación que presentan cada una de ellas, siendo las cuencas una de las fuentes de regulación hídrica de mayor importancia, poder así regular el flujo hídrico que éstas contiene. Estos estudios son de gran utilidad para el manejo de cuencas, principalmente en áreas donde no existe la adecuada información de base.

Guerra y Gonzales (2002) en su trabajo detallan las características morfométricas de la cuenca de la quebrada La Bermeja, para determinar el comportamiento de la red de drenaje y la evolución topográfica e hipsométrica de esta, asociada a la morfodinámica de la cuenca. Se emplearon mapas a escala 1:25000 y 1:5000, para el cálculo de las mediciones básicas y con base a éstas se derivaron las variables utilizadas en la mayoría de los análisis morfométricos.

Para ellos en la cuenca reportan una distribución de áreas asimétricamente positiva, encontrándose en una etapa intermedia entre la fase de desequilibrio o juventud, evolucionando hacia madurez. La cuenca en su parte alta y media se caracteriza por vertientes asimétricas con entallamiento profundo en forma de “V”.

Así mismo los tipos litológicos en superficie y la intervención de la cobertura vegetal, determinan la ocurrencia en esas vertientes de procesos erosivos, los cuales aportan volúmenes de materiales que en el pasado originaron los abanicos aluviales en la parte baja y en el presente causan acumulaciones caóticas (tapones) y daños a la infraestructura existente, principalmente durante eventos lluviosos intensos.

Gonzales (2004) analiza las características morfométricas de la cuenca y la red de drenaje del río Zadorra y sus principales afluentes, de manera ordenada y siendo el primer lugar se señala la influencia que dichos factores tienen en el desarrollo con

una posible atenuación de los procesos y la peligrosidad de las crecidas del río Zadorra.

Dicho análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje, se puede apreciar el resultado donde desprende que la rapidez en la concentración de las aguas se ve beneficiada especialmente por las pendientes, aún más que por los índices de compacidad y elongación. Para el resto de las cuencas y en la totalidad de la cuenca Zadorra, la vigorosidad de las crecidas es menor, indicando crecidas de tipo de fondo de valle.

En las zonas de confluencia, los afluentes muestran vigorosidad de sus crecidas mayor que el colector principal. También indica una amplia cobertura vegetal y litología dura debido a la densidad de drenaje, además de unas altas tasas de infiltración y alimentación del flujo subsuperficial, siendo estas que favorecen el incremento del tiempo de concentración y el atenuamiento del caudal.

Doffo y González (2005) Colaboraron con una caracterización hidrológica de la cuenca alta del arroyo Las Lajas. Los parámetros morfométricos que fueron empleados son: densidad de drenaje, frecuencia de cursos de primer orden, rugosidad de la cuenca, relación de bifurcación, relación de longitudes y relación de elongación.

De manera particular se discute la influencia de la estructura y litología sobre el diseño de la red de drenaje. La cuenca alta del arroyo Las Lajas drena una superficie aproximada de 41 km². El relieve que está conformado por serranías bajas, valles de fondo plano, con relleno aluvial y coluvial. Con una precipitación media anual de 860 mm. La forma de la cuenca está parcialmente controlada por la Falla Las Lajas.

Martínez y Díaz (2011) detallan la cuenca hidrológica-forestal de San José del Cabo, analizada mediante las imágenes Landsat ETM, fotografías aéreas y con base a esto los modelos digitales de elevación fueron usados para cartografiar la geomorfología, geología y posteriormente desarrollar un análisis morfométrico en la margen occidental de la cuenca.

Obteniendo como resultados en la cuenca algunos rasgos estructurales tales como alineamientos rectos o curvilíneos y diques fueron obtenidos de este modelo digital de elevación. Parámetros morfométricos y análisis estructural de siete

subcuencas se derivaron para determinar áreas potenciales de captura hacia la Cuenca Hidrológica de San José del Cabo (CHSJC).

Las deducciones muestran que la investigación con imagen Landsat y el modelo digital de elevación proporcionan, una fuente bastante acertada de datos e información útil para la identificación de áreas de recarga y descarga a una escala regional.

Salas-Aguilar *et al.*, (2011) en su estudio de morfometría de la cuenca del río Nazas-Rodeo en Durango, utilizó los sistemas de información geográfica, permitiéndole organizar de manera generalizada el flujo morfodinámico, con base a esto y ayuda a las herramientas que en ellas se pueden manejar, se pudieron hacer los diferentes cálculos referentes a la red fluvial de los cauces de toda la cuenca, ayudando así la automatización de su procedimiento.

El análisis reporta que tiene una forma mostrada como oval-oblonga-rectangular, que favorece una rápida evacuación de esorrentía. En los datos de relieve se presentó un coeficiente de masividad bajo (0.16), lo que da que es una área montañosa, tomando en cuenta que la curva hipsométrica revelo un 49% de su superficie, indicando un relieve de plano a ondulado; siendo esta que indica que la cuenca se encuentra en estado de vejez y erosionada, por factores ya sean intemperismo o eventos geológicos ocasionados a través del tiempo.

La tecnología espacial automatizó los cálculos morfométricos, caracterizando cada detalle del relieve y la red hidrológica, permitiendo caracterizar sobre el estado físico actual en el que se encuentra la cuenca.

Briones *et al.*, (2012), desarrollan su estudio en la cuenca Arroyo La India-Laguna Palomas (ALIP), donde realizan el cálculo de la relación de circularidad, coeficiente de elongación y factor de forma.

Busnelli y Horta (2014), su estudio planteó examinar la relación entre la metamorfosis fluvial, de la cuenca Tucumán, en la medida de términos de cambios en la sinuosidad, con las medidas morfométricas de las cuencas que contribuye: el área de aporte, gradiente de pendientes, elongación, densidad de drenaje, torrencialidad.

Dichos factores y parámetros cuantitativos de dicha cuenca, fueron determinados mediante la visualización de imágenes satelitales en Sistemas de

Información Geográfica (SIG). Los cambios que se presentaron en el trazado del drenaje aluvial a través del tiempo lo realizaron mediante fotointerpretación de fotos aéreas de los años 2000 y visualización normal de imágenes Cbers del 2008.

Teniendo como resultado la observación de la disminución de la torrencialidad desde la cuenca del Gastona, Medinas-Chico, Seco y Balderrama.

Esper y Perucca (2014) Evalúan aspectos hidrológicos de la cuenca del río Seco. Además analizan las diversas características morfométricas de la cuenca y se calculan algunos parámetros básicos. Estos cálculos son la base para predecir en forma aproximada el comportamiento de la cuenca ante la presencia de fuertes precipitaciones, que se traducen en importantes volúmenes de agua con caudales pico capaces de generar significativos aluviones.

Se reporta que en la cuenca del río Seco, los caudales pico estimados con base en las fuertes precipitaciones de enero de 2013 (84 mm/h) demuestran el comportamiento de la cuenca, que ante la presencia de lluvias excepcionales, se convierte en una zona potencialmente peligrosa con posibilidades de altos niveles de destrucción.

Este estudio les permitió explicar las características del relieve de la región y diferenciar distintas unidades geomorfológicas, las que generadas por diversos procesos geomórficos pudiendo determinar el carácter complejo del paisaje regional.

Cruz *et al.*, (2015), analizaron mediante información topográfica e hidrológica digitalizada a escala 1:50,000 del INEGI, las características morfométricas de la cuenca. Se verificaron mediante la delimitación de la cuenca corrigiendo los detalles hidrológicos y topográficos y posteriormente poder determinar los parámetros morfométricos que explican los efectos dinámicos de su comportamiento hidrológico.

Con base en esto los resultados que fueron obtenidos con los programas de Sistemas de Información Geográfica (SIG): ArcGis 9.3 (ESRI, 2008) ® e Idrisi Taiga®. Muestra que el paisaje está constituido por un sistema serrano con pendientes y por lo tanto muestra desniveles que acentúan el riesgo por escorrentía, por lo que la situación que influye de manera decisiva en su respuesta hidrológica y que debe de ser valorado en la planificación del territorio y manejo integral.

Esper *et al.*, (2016) analizan diversas características morfométricas de la cuenca del río del Agua, en términos de su incidencia en el comportamiento y la respuesta hidrológica del sistema de esta. Dichos resultados les dio indicios que el comportamiento de la cuenca está determinado principalmente por las fuertes pendientes del sector montañoso, el orden 7 de la red de drenaje, una relación de bifurcación media de 5,14 y una alta torrencialidad, que, ante la presencia de lluvias excepcionales, se convierte en una zona potencialmente peligrosa con altas posibilidades de destrucción.

López *et al.*, (2016), en su estudio mediante la capacidad de infiltración en la cuenca del río Cuxtepeques, Chiapas como principal objetivo de resaltar la importancia de la reserva de la biosfera El Triunfo como zona de recarga hídrica. Muestran que dicha reserva, siendo está situada en la parte alta de la cuenca tiene un papel principal en la captación de agua con 2,5 veces más que fuera de ella.

La conservación del uso de suelo forestal dentro de la presente reserva, es de mayor valor, ya que es muy fundamental para proteger los servicios ecosistémicos y el funcionamiento de los ecosistemas.

Mora *et al.*, (2016), a través del uso de SIG y con base en el método de elevación (INEGI), pudieron poner en marcha la delimitación de las unidades geomorfológicas de la cuenca del Río Grande de Comitán, dando uso a los criterios morfométricos pendiente basándose en los parámetros de altitud, pendientes y tipo de relieve, las cuales se discriminaron utilizando criterios de pendiente, altitud y rugosidad por cada unidad geomorfológica presente.

Esto ayudo a la caracterización de la cuenca, permitiendo favorecer el flujo de materia, siendo esta de manera superficial, así también dar como resultado el área de desarrollo mayor kárstico conformada por sucesiones sedimentarias de origen marino y a la vez de manera transicional, la cual cuya distribución estuvo controlada por altos estructurales, y mediante la cual se delimitaron unidades geomorfológicas a escala obteniéndose de 2º orden, como un antecedente en la comprensión evolutiva y funcional de la misma y la dinámica sub superficial por ende mayor.

Díaz *et al.*, (2017), en su área de estudio sobre las cuencas hidrológicas, siendo estas localizadas en las laderas orientales de las sierras en el Noroeste Argentino

presentan como característica un marcado quiebre en la transición ladera piedemonte, teniendo precipitaciones de origen orográfico, registros de eventos de inundación y por ende escasos registros hidrométricos.

Los parámetros morfométricos permiten puntualizar la interacción que presentan entre las características geológicas y geomorfológicas, y los patrones físicos superficiales, especificando de manera cuantitativa la respuesta posible de la cuenca ante el escenario hidrológico. Como objetivo fue cuantificar a mayor manera las características morfométricas de las cuencas hidrográficas del Faldeo Oriental de las Sierras del Aconquija (FOA) y Sierras del Sudoeste (SS).

Haciendo un análisis comparativo, a nivel geoespacial con Sistemas de Información Geográfica, aplicando el modelo hidrológico HEC-Geo HMS ®, siendo basado en el modelo de elevación digital de Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). Los mapas y los diferentes datos obtenidos, son considerados para obtener una nueva aplicación directa en las propuestas de planes de manejo integral de cuencas.

Acevedo *et al.*, (2018), en el análisis del trabajo de las características morfométricas e hidrográficas de la subcuenca del río Teapa, ubicado en el estado de Chiapas, para establecer su comportamiento de la red de drenaje y características físicas, que este presenta. Para el conocimiento de tales temas, emplearon mapas al mismo tiempo un modelo digital de elevación (MED), consecutivamente procesarlos en el software ArcGis 10.1, de esta forma pudieron obtener el área, la forma y elevación de la subcuenca.

Al mismo tiempo utilizaron un mapa de geología para la determinación del tipo de rocas que se encuentran en la cuenca, dicha información fue descargada del portal de INEGI. De tal manera que con dicho trabajo realizado concluyeron que una caracterización morfométrica e hidrológica es de relevancia fundamental para el manejo sustentable de las cuencas.

Álvarez y Ramón (2020), caracterizan como principal tema, la geomorfología de la subcuenca río Mezcalapa en la región hidrológica Grijalva-Usumacinta en el sureste de México, teniendo en cuenta el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y posteriormente parámetros morfométricos con la finalidad de analizar y comprender

a más detalladamente el comportamiento morfodinámico e hidrológico de esta de dicha subcuenca.

Con su investigación buscan y ayudan a contribuir y fortalecer el conocimiento local, ayudando a esto para el favorecimiento de las tomas de decisiones en los diversos temas de ordenamiento territorial, protección civil, infraestructura y políticas públicas.

Castillo y Medrano (2023), toman en cuenta el análisis morfométrico siendo una pieza fundamental para la comprensión del funcionamiento del sistema hidrológico de una cuenca. El uso resulta práctico en zonas con limitada información climatológica y falta de conocimiento sobre el funcionamiento del sistema hidrológico. Con su trabajo pretenden la caracterización la geomorfología de las subcuencas Grijalva y Usumacinta en el sureste de México usando sistemas de información geográfica (SIG) y una serie de parámetros morfométricos asociados a características generales, al relieve, a la red de drenaje y a la forma de estas cuencas a fin de analizar y comprender el comportamiento hidromorfológico.

IV. HIPÓTESIS

Las cuencas de la región Costa de Chiapas, particularmente las cuencas de los ríos Lagartero y Zanatenco son complejas y son similares en su red de drenaje e indicadores morfométricos y presentan muchos tributarios en la época de lluvias, siendo la temporada de seca de muy poca captación de agua.

V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general:

Evaluar detalladamente la morfometría y la red hidrográfica de las cuencas de los ríos “Lagartero” y “Zanatenco” de Arriaga y Tonalá, Costa de Chiapas, México.

5.2 Objetivos específicos:

- Delimitar las cuencas de los ríos “Lagartero” y “Zanatenco” de Arriaga y Tonalá, Costa de Chiapas, México.
- Elaborar las redes hidrográficas de las cuencas de los ríos “Lagartero” y “Zanatenco” de Arriaga y Tonalá, Costa de Chiapas, México.
- Análisis cartográficos y de Indicadores morfométricos de las cuencas de los ríos “Lagartero” y “Zanatenco” de Arriaga y Tonalá, Costa de Chiapas, México.

VI. ÁREA DE ESTUDIO

6.1. Ubicación geográfica Cuenca hidrológica del río Lagartero

La cuenca hidrológica del Río Lagartero se localiza al suroeste del Estado de Chiapas, en la Región Istmo-Costa. Esta cuenca se ubica en mayor proporción dentro del municipio de Arriaga y con una pequeña porción sobre todo pegado a la Sierra Madre de Chiapas, en los municipios de Cintalapa, Jiquipilas y Villaflores, Chiapas. Debido a esto la Conagua asigna el manejo administrativo de esta cuenca a la cabecera municipal o sea a Arriaga Chiapas.

La cuenca del río Lagartero se encuentra delimitada en su porción norte por el parteaguas de la Sierra Madre de Chiapas, y la dirección de los escurrimientos superficiales y subterráneos se destinan hacia el sur, específicamente descargan en los manglares, estuarios y en la bahía de Paredón en la Costa de Chiapas. Esta cuenca limita al Sur con manglares y la Bahía de Paredón en el Océano Pacífico, al este con la cuenca del río Tiltepec y al oeste con la cuenca del río las Arenas.

La cuenca del río Lagartero se ubica en el municipio de Arriaga, específicamente entre las coordenadas geográficas $16^{\circ}21'37.59''$ LN y $93^{\circ}56'55.63''$ LO y $16^{\circ}04'13.81''$ LN y $93^{\circ}47'50.64''$ LO (Figura 5).

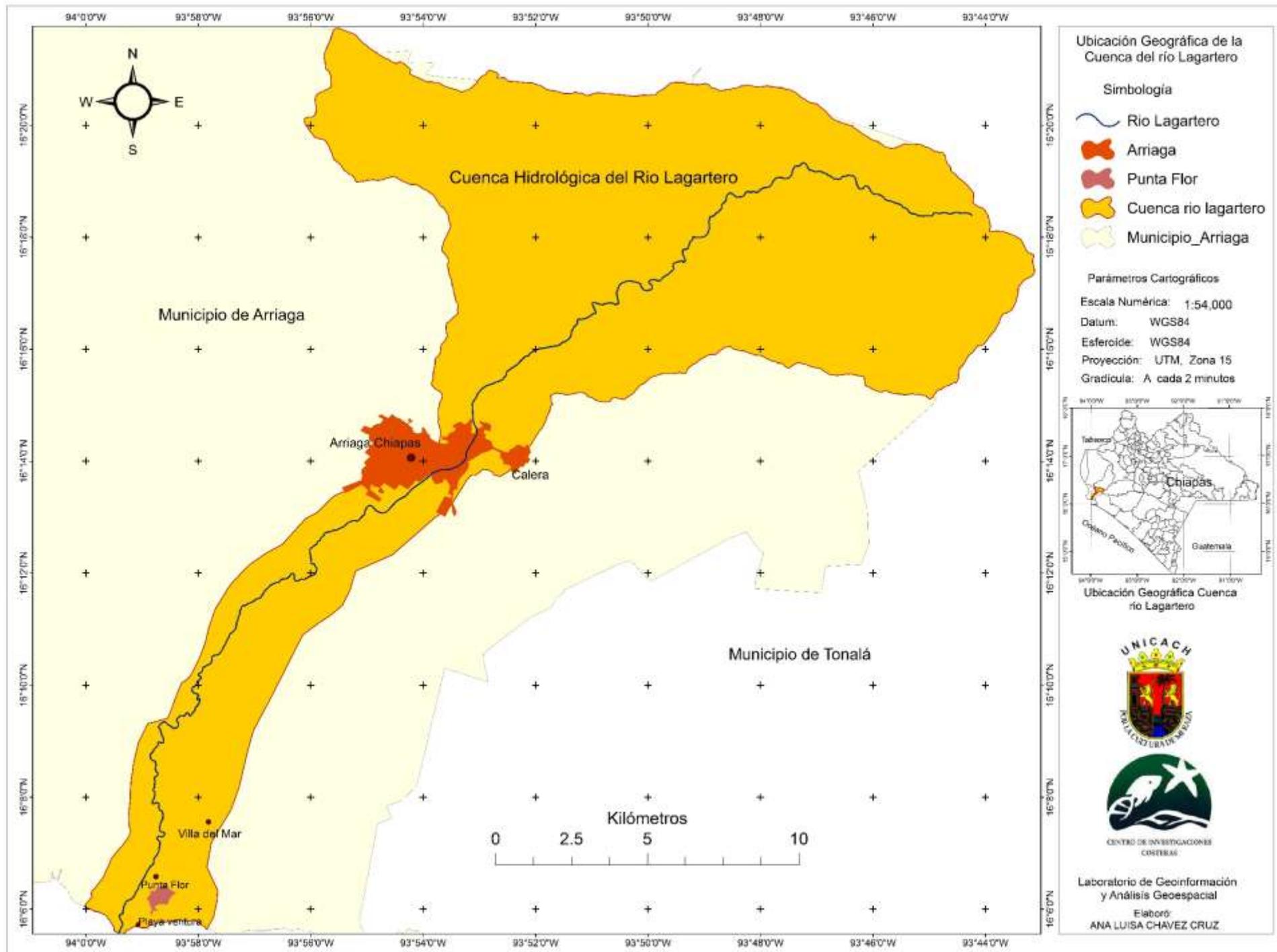


Figura 5. Ubicación Geográfica de la Cuenca hidrológica del río Lagartero en el municipio de Arriaga, Chiapas

6.2. *Ubicación Geográfica de la Cuenca hidrológica del río Zanatenco*

La cuenca hidrológica del río Zanatenco se localiza mayormente en el municipio de Tonalá Chiapas. Abarcando la mayor superficie en el municipio de Tonalá y cubriendo en menor superficie correspondiente a los municipios de Villaflores y Villacorzo (INEGI, 2001). Se encuentra delimitada por el parteaguas sobre la sierra madre de Chiapas y los escurrimientos superficiales van hacia la Costa de Chiapas, limita al Sur con manglares y la Bahía de Paredón en el Océano Pacífico, al este colinda con la cuenca del río Quetzalapa y al oeste con la cuenca del río Tiltepec (Instituto Estatal del Agua).

La cuenca del río Zanatenco se ubica en el municipio de Tonalá, específicamente entre las coordenadas geográficas 16°13'40.35" LN y 93°42'01.02" LO y 15°57'02.88" LN y 93°40'08.18" LO (Figura 6).

6.3 Fisiografía

Estas cuencas hidrológicas se ubican en el Istmo Costa, específicamente dentro de las provincias fisiográficas conocidas como Llanura Costera del Pacífico y la Sierra Madre de Chiapas (INEGI, 2010).

El relieve del terreno se encuentra formado especialmente de sierras, lomeríos y llanuras; forma parte de la provincia denominada "Centroamericana", que comprende las Subprovincias. "Llanura del Istmo" y "Las Llanuras Costeras de Chiapas y Guatemala", se encuentra ubicado en la planicie costera de Chiapas y zona litoral del Pacífico, El 48% es Planicie, 19% de lomerío, 20% Montañoso y el 4% Pantanoso.

La pendiente de los suelos puede variar desde zonas sujetas a inundaciones marinas hasta elevaciones que van más allá de los 1,000 m.s.n.m. (programa nacional de desarrollo INEGI, 2010).

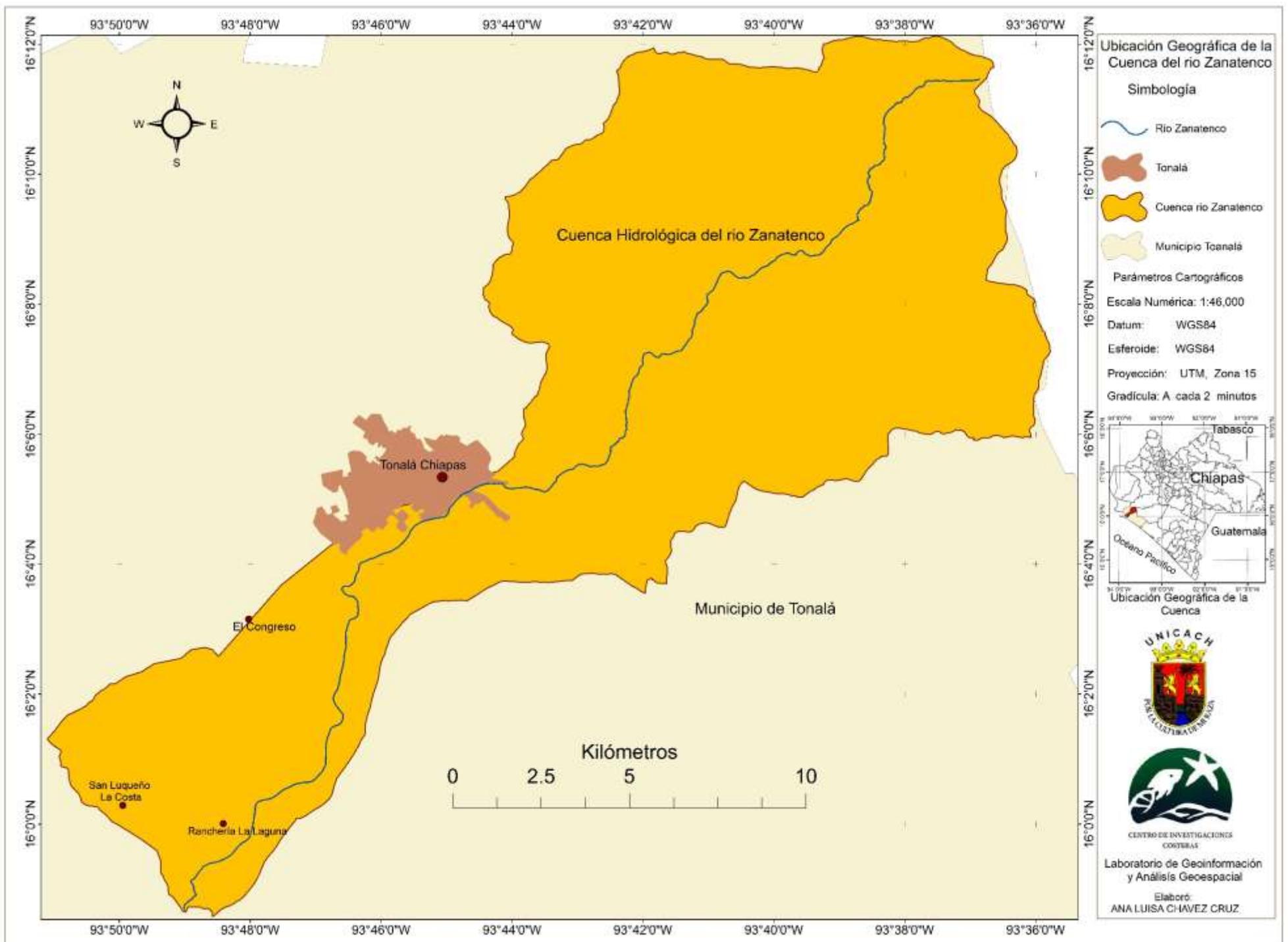


Figura 6. Ubicación Geográfica de la Cuenca hidrológica del río Zanatenco en el municipio de Tonalá, Chiapas

6.4 Edafología

Para la cuenca río La Punta, tiene suelos pobres, derivados de su complejidad morfológica aunada a los fuertes procesos de erosión, a la torrencialidad de las lluvias y a los fuertes vientos. Con base a la cartografía de INEGI (1984), basándose en la clasificación de la FAO - UNESCO, en la cuenca solo existen dos tipos de suelo: Regosol y Cambisol, siendo el primero que ocupa la mayor parte del cuerpo de la sierra, por lo tanto el segundo la planicie y parte de los valles fluviales.

La cuenca Río Zanatenco, los suelos presentes de acorde a la clasificación de la FAO - UNESCO (1976), son principalmente: Regosol, Cambisol y Litosol de textura media (IHNE, 2002). En el área de estudio se tienen leucogranitos con una mineralogía menos desarrollada.

6.5 Geología

Con base a las cartas de INEGI (1995-I, m), muestran a la Sierra Madre de Chiapas como una estructura granítica del Paleozoico, con algunas intrusiones de granodiorita del Terciario y del precámbrico en la vertiente sur.

En el área de estas cuencas, las intrusiones granodiorita comprenden las serranías bajas, que interrumpen la planicie costera, y la zona de pie de monte, en donde aparecen como una franja paralela al parteaguas.

Ambos tipos de roca presentan evidencias de metamorfismo, que se manifiestan como cuarzos y rocas cristalinas, siendo fácilmente observable a simple vista, sin embargo, los cuerpos de granodiorita presentan una mayor degradación, producto de la erosión diferencial (Plan de Manejo Integral Cuenca del Río Lagartero, 2006).

6.6. Climas

El clima predominante en la cuenca Río Lagartero es el Cálido Húmedo que se extiende de los 0 a los 1000 msnm con temperatura media anual de entre 24 y 28°C. De los 1000 y 1, 500 msnm, se presenta el clima Semicálido Húmedo con temperatura

media entre 20° y 22 °C, llegando a los 18°C en los 2000 msnm. Y de 2000 a 3000 msnm el clima se vuelve Templado Húmedo (partes más altas de la Sierra) con rangos de temperaturas 15° a 18° C (CONAGUA *et al.*, 2012).

En los meses de mayo a octubre, la precipitación media fluctúa entre los 1200 mm y los 2300 mm, y en el periodo de noviembre - abril, la precipitación media va de los 50 mm a 150 mm (Instituto Estatal del agua).

Las precipitaciones más bajas en la zona costa con 1500 mm anuales en un promedio de 100 días con lluvia en el ciclo; en la parte alta se registran 3000 mm en el periodo y de 120 a 180 días de lluvias en el año (IHNE, 2001). El río Zanatenco registra un caudal medio anual de 2.6 m³/segundo (Garniel y Carrillo, 2006) con un volumen de 80.6 mm³; su flujo base en promedio en época de estiaje es de 0.4 m³/s, y un volumen promedio de 1111.6 mm³ en época de lluvias (IHNE, 2001).

6.7 Hidrografía

Los ríos presentes nunca son de largo recorrido, en la mayoría de las veces estas arterias no tienen más de 30 Km. de longitud. Todos ellos, nacen en las faldas meridionales, pero por ser escasas las lluvias, el caudal de sus aguas no siempre son abundantes. De allí que muchos de ellos tengan prolongados estiajes en el periodo de secas.

La hidrología que alimentan al río Lagartero está formado por Las Arenas procedente de la Gineta y El Rosario procedente de la mica; Los arroyos La Punta procedente del Cerro Colorado y Poza Galana, los cuales desembocan en La Albufera denominada Mar Muerto (Plan de Manejo Integral Cuenca del Río Lagartero, 2006).

En la Sierra se obtiene la mayor captación de agua de lluvia generando los ríos donde la confluencia de los escurrimientos fluviales dan origen al río Zanatenco que mantienen su flujo hasta desembocar en los sistemas lagunares creando un ecosistema donde se mantiene y reproducen una gran diversidad de peces y crustáceos de gran importancia económica y para el equilibrio ecológico.

San Marcos, La Meca, La Danta, El Zapote, San Isidro, río Flor, Las Delicias, El Arrepentido y el Mojagual son los principales tributarios del río Zanatenco (Instituto Estatal del Agua).

6.8 Flora

La región presenta una cobertura vegetal compuesta principalmente por vegetación secundaria (selva perennifolia, Subcaducifolia, caducifolia y espinosa; vegetación hidrófila; y bosque mesófilo de montaña y coníferas), vegetación inducida y bosque mesófilo de montaña (Región IX Istmo-Costa, 2010).

6.9 Áreas naturales protegidas

Un Área Natural Protegida (ANP) es una porción del territorio terrestre o acuático cuyo fin es conservar la biodiversidad representativa de los distintos ecosistemas para asegurar el equilibrio y la continuidad de los procesos evolutivos y ecológicos en sitios donde cuyas características no han sido esencialmente modificadas (González *et. al.*, 2014).

Están sujetas a regímenes especiales de protección, conservación, restauración y desarrollo, según categorías establecidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (Valdez *et. al.*, 2011), así como la Ley Ambiental para el Estado de Chiapas.

Destaca la Reserva de la Biósfera La Sepultura (Chávez *et. al.*, 2011), en esta zona se encuentran representados varios tipos de vegetación, siendo el principal la selva baja caducifolia (Programa Regional de desarrollo, 2011).

El 40% de la cuenca del Zanatenco forma parte de la Reserva de la Biosfera La Sepultura (REBISE). El Zanatenco nace en las partes altas de la Sierra Madre, dentro de la REBISE, y baja por la cuenca hasta desembocar en los esteros de la costa del Pacífico. La ciudad de Tonalá, cabecera municipal, está dentro de la cuenca (UAM, 2002).

VII. METODOLOGÍA

7.1. Delimitación de las cuencas

Se hizo la delimitación detallada del polígono o parteaguas de cada una de las cuencas en estudio, utilizando el Modelo Digital de Elevación disponible en Google Earth Pro. Este procedimiento se realizó a través del método de Interpretación Visual y la digitalización manual del parteaguas, empleando la herramienta Polígono de Google Earth Pro. Después de la digitalización del polígono, se hizo una validación del parteaguas en campo, usando un GPS Garming 60 csx y posteriormente se realizaron correcciones a los polígonos en gabinete (Figura 7 y 8).



Figura 7. Proceso de elaboración del polígono o parteaguas de las cuencas, usando el Modelo Digital del Terreno disponible en Google Earth Pro.

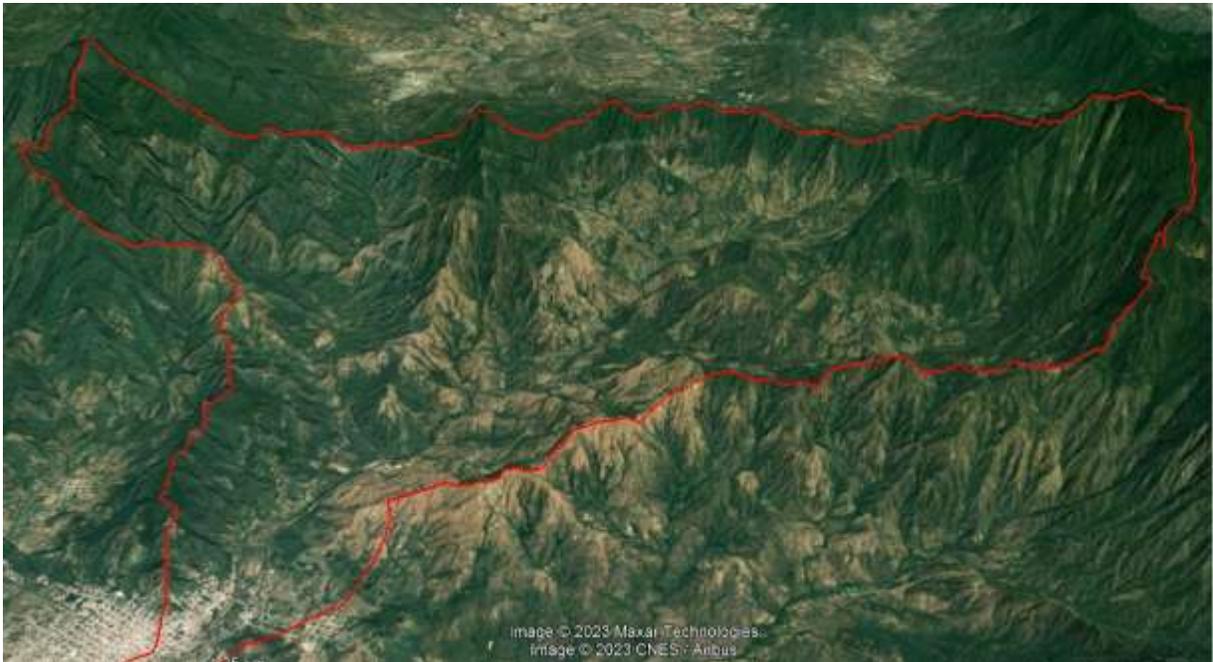


Figura 8. Visualización y corrección de la poligonal de las cuencas, usando el Modelo Digital del Terreno disponible en Google Earth Pro.

7.2. Elaboración de la red hidrográfica de las cuencas

La elaboración del mapa de distribución detallado de las redes hidrográficas superficiales de las cuencas en estudio, se realizaron a través del método de Interpretación Visual de Imágenes de satélite detalladas y utilizando el Modelo Digital de Elevación disponible en el programa Google Earth Pro. Este proceso consistió en la digitalización manual del cauce principal y de cada uno de los escurrimientos a lo largo del parteaguas de cada cuenca, utilizando la herramienta Ruta de Google Earth Pro. Después de la digitalización de todos los escurrimientos se integró una base geográfica digital con todos los escurrimientos superficiales.

Posteriormente se hizo una validación en campo usando un GPS Garming 60 csx y subsiguientemente se realizaron correcciones a los escurrimientos en gabinete (Figura 9).

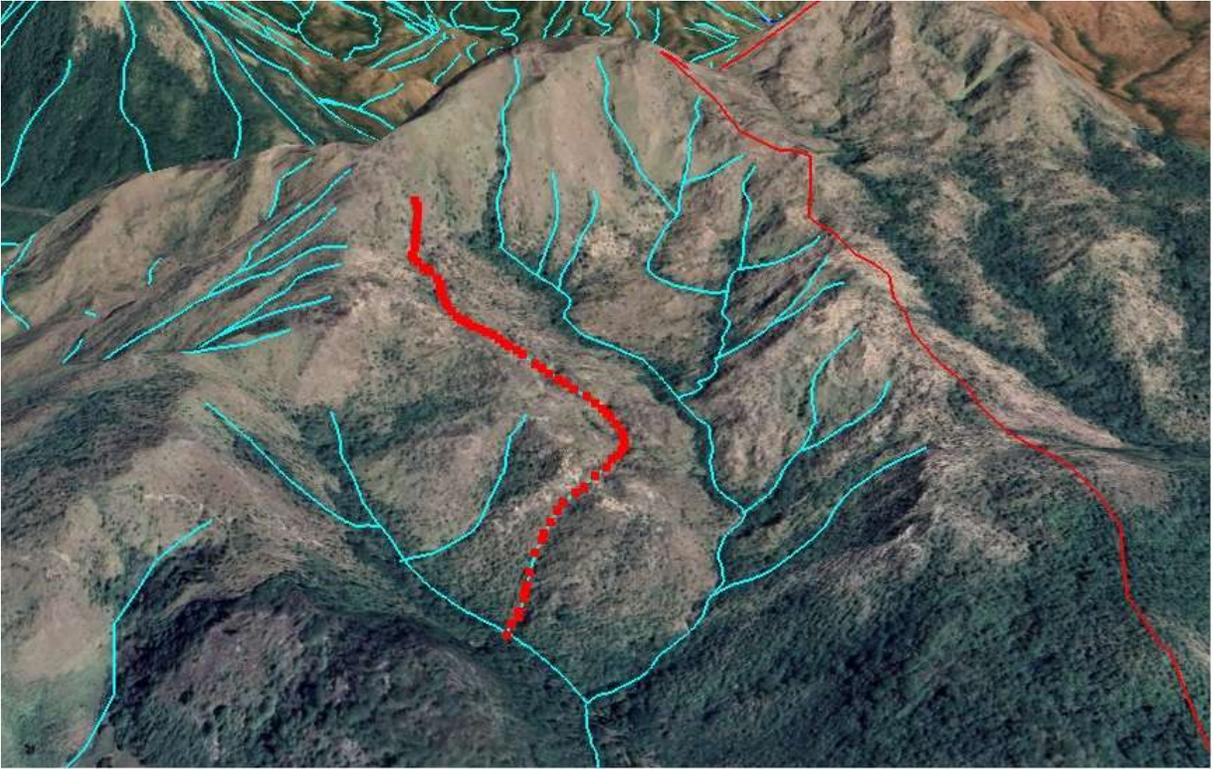


Figura 9. Proceso de digitalización e integración de la red hidrográfica aplicando el método de interpretación visual, usando imágenes de satélite y el Modelo Digital del Terreno disponibles en Google Earth Pro.

7.3. Cálculo de Parámetros morfométricos

Los cálculos de las características morfométricas ayudan a entender y predecir las dinámicas hidrológicas y los comportamientos hidrológicos de torrencialidad de las cuencas y subcuencas; este análisis se realiza mediante los cálculos de diversos índices morfométricos, que muestran la forma de la cuenca, pendientes, red de drenaje y relieve, entre otros (Jones, 1997), todo a partir del cálculo de estadísticos numéricos que ayudan a entender la escorrentía superficial, expresada en términos de caudales, la incidencia en el transporte de sedimentos y nutrientes a lo largo de los ecosistemas que la integran, etc. (Gaspari, 2012). Los índices morfométricos se listan a continuación.

Área de la cuenca, definida como la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía, dirigido de manera directa o indirectamente hacia un mismo cauce natural. Concierno a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio; este parámetro es expresado con normalidad en Km². Este valor es de gran relevancia ya que un error en su medición afecta directamente en los resultados de los indicadores morfométricos.

Perímetro, longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas. Éste parámetro se mide en unidades de longitud y es expresada en metros o kilómetros.

Parámetros de Forma:

Coefficiente de Compacidad (Cc) o Índice de Gravelius: Es aquella relación que existe entre el perímetro de la cuenca y el de una circunferencia; sus resultados estarán basados en la clasificación de Campos (1992) (Cuadro 1). Cuánto más cercano esté el índice a la unidad, la cuenca será más circular y por lo tanto más compacta, y a medida que va en aumento, la cuenca adquiere una forma más oval. La fórmula de Gravelius, está representada como:

$$Cc = \frac{(0.282)(PC)}{\sqrt{A}}$$

Cc: Coeficiente de compacidad.

A: Área de la cuenca (km²).

Pc: Perímetro de la cuenca (km).

Cuadro 1. Formas de la cuenca relacionado con el índice de compacidad.

Clase de Forma	Índice de Compacidad (Cc)	Forma de la Cuenca
Clase I	1.0 a 1.25	Casi redonda a oval-redonda
Clase II	1.26 a 1.50	Oval-redonda a oval oblonga
Clase III	1.51 a más de 2	Oval-oblonga a rectangular-oblonga

Razón de Elongación (Re): La relación existente entre el diámetro de un círculo con igual área que la de la cuenca y la longitud máxima de la misma. Esta fórmula es la propuesta por Shumm (1956) y se representa de la siguiente forma:

$$Re = \frac{(1.128)(\sqrt{A})}{Lc}$$

Donde:

Re= Relación de elongación.

Lc= Longitud del cauce principal de la cuenca.

A= Área.

Esta fórmula, es la más utilizada para calcular este índice, ya que tiene una alta correlación con toda la hidrología de la cuenca. Los valores cerca a la unidad implicará formas redondeadas y cuanto este sea menor a la unidad, será más alargada (González, 2004).

Factor de Forma (F): Propuesto por Horton (1945) siendo este la relación del área de la cuenca y la longitud de la misma. En este sentido, los valores inferiores a la unidad indican cuencas alargadas y aquellos que sean cercanos a uno, son redondeados, expresado la fórmula:

$$F = A/L^2$$

Donde:

A= Área de la cuenca.

L²= Longitud de la cuenca.

Tamaño de la cuenca. Campos (1992) propone una clasificación siendo basada en la superficie de la misma (Cuadro 2).

Cuadro 2. Clasificación propuesta para el tamaño de las cuencas.

Tamaño de la Cuenca (km2)	Descripción
<i>Menos de 25</i>	Muy Pequeña
<i>25 a 250</i>	Pequeña
<i>250 a 500</i>	Intermedia Pequeña
<i>500 a 2,500</i>	Intermedia Grande
<i>2,500 a 5,000</i>	Grande
<i>Más de 5,000</i>	Muy Grande

Parámetros de Relieve:

La pendiente, mientras más ascendente sea, esta corresponderá a una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes del cauce principal (Navarrete, 2004).

Curva Hipsométrica: Permite caracterizar el relieve, obteniéndose a partir de las cotas de altitud registradas en los MDE 1:50,000 y posteriormente se complementa con la estimación de la superficie acumulada por cada cota.

Pendiente media de la cuenca: Caracteriza el relieve de está y permite hacer comparaciones entre cuencas para así poder observar fenómenos erosivos que se manifiestan en la superficie, siendo este uno de los parámetros principales, dicha fórmula es expresada de la siguiente manera:

$$J = 100 * \frac{(\sum Li)(E)}{A}$$

Donde:

J= Pendiente media de la cuenca (%).

$\sum Li$ = Suma de las longitudes de las curvas de nivel (km).

E= Equidistancia entre curvas de desnivel (km).

A= Superficie de la cuenca (km²).

Elevación media: Se toma en cuenta a partir de la curva hipsométrica, donde se determinará la elevación media equivalente al 50% del área de la cuenca, donde en el eje "X" del gráfico se aplicará dicho porcentaje.

Análisis hipsométrico: Tiene como propósito comparar la cuenca con otros sistemas hidrográficos dicho criterio fue propuesto por Campos (1999) quien considera la relación entre las alturas parciales y la altura total, así también como las áreas parciales entre curvas de nivel y el área total. En base al análisis hipsométrico, se puede determinar el ciclo erosivo y la etapa evolutiva en que se encuentra la cuenca (Figura 10).

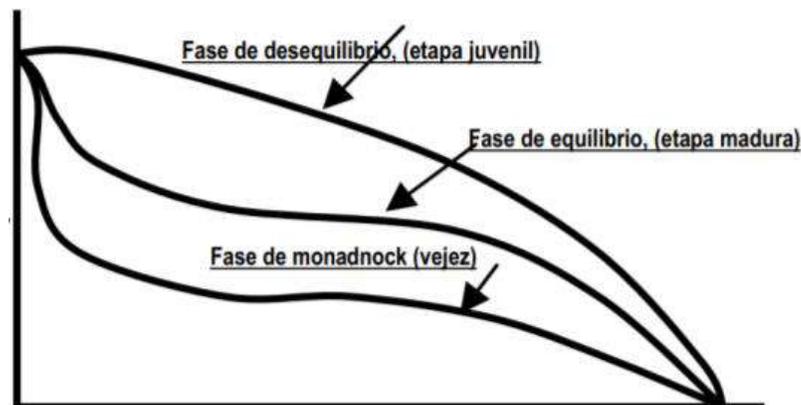


Figura 10. Modelo de curvas hipsométricas del ciclo de erosión (Senciales y Ferre, 1992, Lux-Cardona, 2012).

Red de Drenaje

Llamas (1993) es el arreglo de los canales que conducen las corrientes de agua dentro de la cuenca, integrada por un río principal y una serie de tributarios cuyas ramificaciones se extienden hacia las partes más altas de la misma.

Densidad de drenaje: Está definida para una cuenca como la longitud media de curso por unidad de superficie, calculándose mediante la siguiente expresión:

$$D = \frac{\sum L}{A}$$

Donde:

D= Densidad de drenaje (km^{-1}).

$\sum L$ = Suma de la longitud de los tributarios que se integran en la cuenca (km).

Debido a que el número de tributarios es alto en ambas cuencas, se seleccionaron al azar el 20 % de los tributarios y se sumaron sus longitudes.

A= Superficie de la cuenca (km^2).

Cuadro 3. Interpretación de la densidad de drenaje de las cuencas

Densidad de drenaje (km/km^2)	Categoría
< 1	Bajo
1 a 2	Moderado
2 a 3	Alto
> 3	Muy Alto

Pendiente media del cauce principal: Se obtiene la pendiente media del río y su potencial para erosionar. Se expresa con “i” y se calcula con la fórmula:

$$i = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{L_c} * 100 \text{inv}tg$$

Donde:

i= Pendiente media del cauce principal (%).

Hmax= Altura máxima del afluente principal.

Hmin= Altura mínima del afluente principal.

Lc= Longitud del cauce.

Dependiendo de la pendiente media del cauce principal, la cuenca se clasifica según el (Cuadro 3) propuesto por Saavedra (2001):

Cuadro 4. Clasificación propuesta para el tipo de relieve del terreno

Pendiente en porcentaje	Tipos de terrenos
2	Llano
5	Suave
10	Accidente medio
15	Accidentado
25	Fuertemente accidentado
50	Escarpado
Mayor de 50	Muy escarpado

Criterio dos de pendiente del cauce principal: Consiste en eliminar 15% de la longitud del cauce, desde el punto más alto ó punto superior y 10% de la longitud del cauce desde la salida (punto inferior) debido a la inconsistencia existente en la velocidad inicial de escurrimiento con la final:

$$Criterio2 = LCP - 25\% \text{ de su longitud}$$

Donde:

LCP= Longitud del cauce principal.

Tiempo de concentración: Es aquel tiempo que tarda en llegar una gota de agua de lluvia desde el extremo hidráulicamente más alejado de la cuenca a la sección de salida, calculándose mediante la siguiente fórmula:

$$tc = \frac{(4 \sqrt{S} + 1.5 L)}{(0.8 \sqrt{H})}$$

Donde:

Tc= Tiempo de concentración (h).

S= Área de la cuenca (km²).

L= Longitud del cauce principal (km).

H= Elevación media de la cuenca (km).

Orden de la corriente: Refleja el grado de ramificación dentro de la cuenca. (Horton, 1945) se clasifican en tres el orden de las corrientes, asignado el orden "1" a las más pequeñas, aquellas que no están ramificadas; el "2", a las que tienen ramificaciones o tributarios de primer orden; el "3", aquellas con dos o más tributarios de orden dos o menor. Por lo tanto el orden de la corriente principal será un indicador de la magnitud de la ramificación y de la extensión de la red de drenaje dentro de la cuenca.

Centro de gravedad del cauce principal: Es la distancia media o punto medio del cauce principal.

VIII. RESULTADOS

8.1. Cuenca del río Lagartero

El mapa del polígono de la Cuenca del río Lagartero tiene una superficie de 23,356 Hectáreas, con un perímetro total de 113 km, el largo es de 39,4 km, el ancho es de 22 km en la parte alta y de 1.5 km en la parte baja. De acuerdo al perfil de altitud de esta cuenca se registró que la parte de altitud máxima es de 1766 m con una inclinación máxima de 53% (Figura 11 y 12).

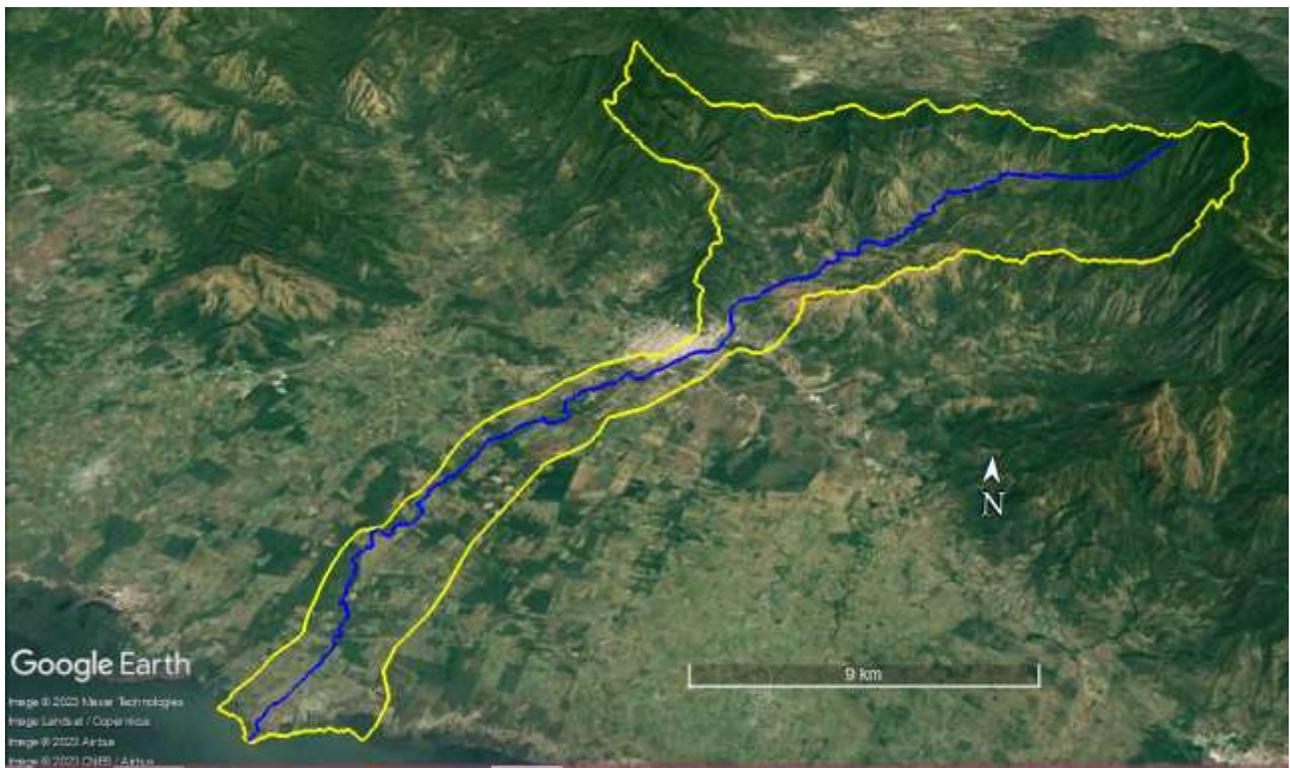


Figura 11. Visualización de la poligonal de la cuenca y el cauce del río Lagartero sobre el modelo digital disponible en Google Earth Pro.

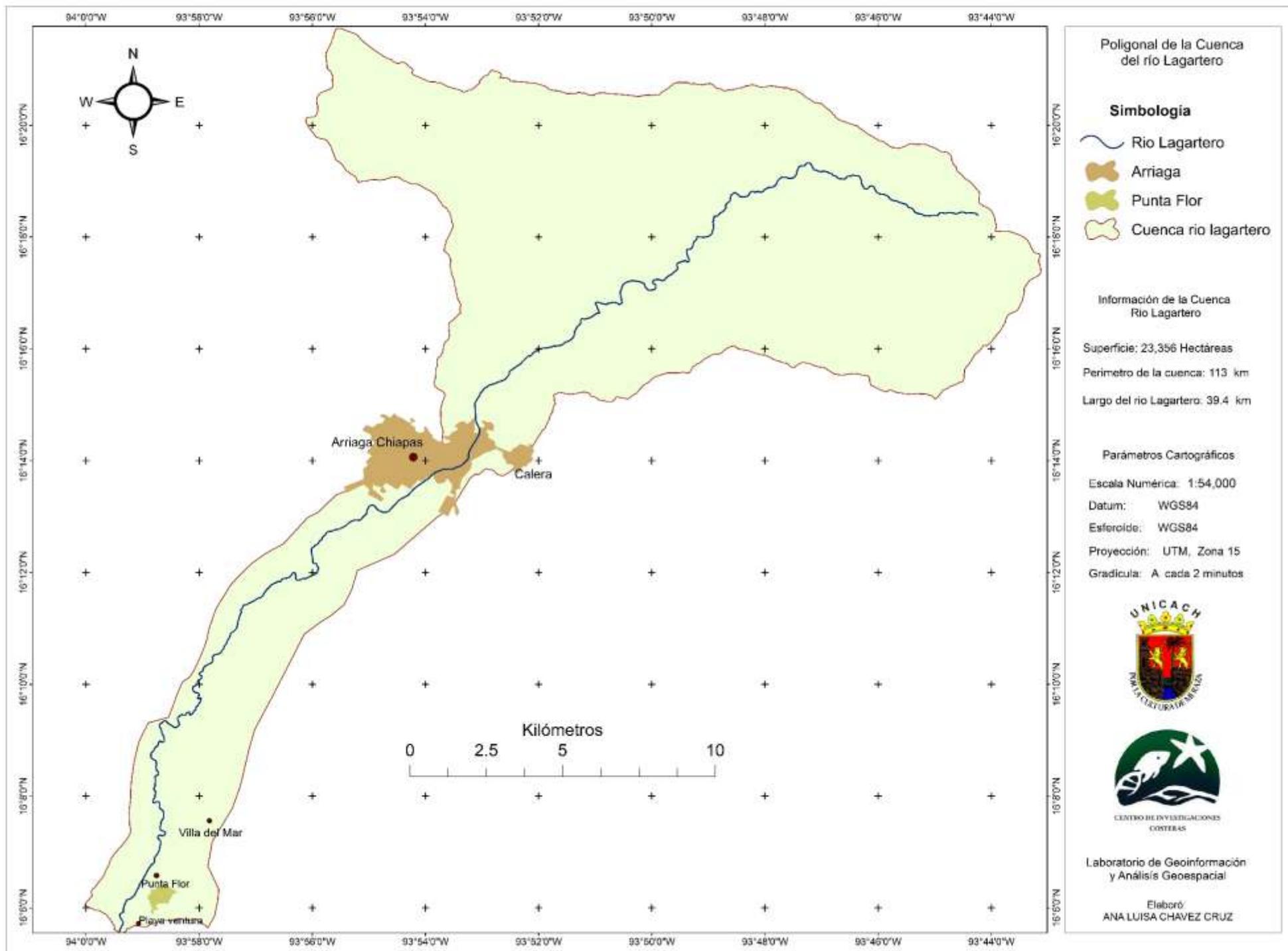


Figura 12. Mapa de distribución de la poligonal y el cauce del río Lagartero

8.2. Cuenca del río Zanatenco

El mapa del polígono de la cuenca del río Zanatenco tiene una superficie de 23,188 Hectáreas y un perímetro total de 95.6 km, el largo es de 32.6 km, el ancho es 13.2 km en la parte alta y de 2.8 km en la parte baja. De acuerdo al perfil de altitud de esta cuenca se registró que la parte de altitud máxima es de 2417 m. con una inclinación máxima de 82 % (Figura 13 y 14).

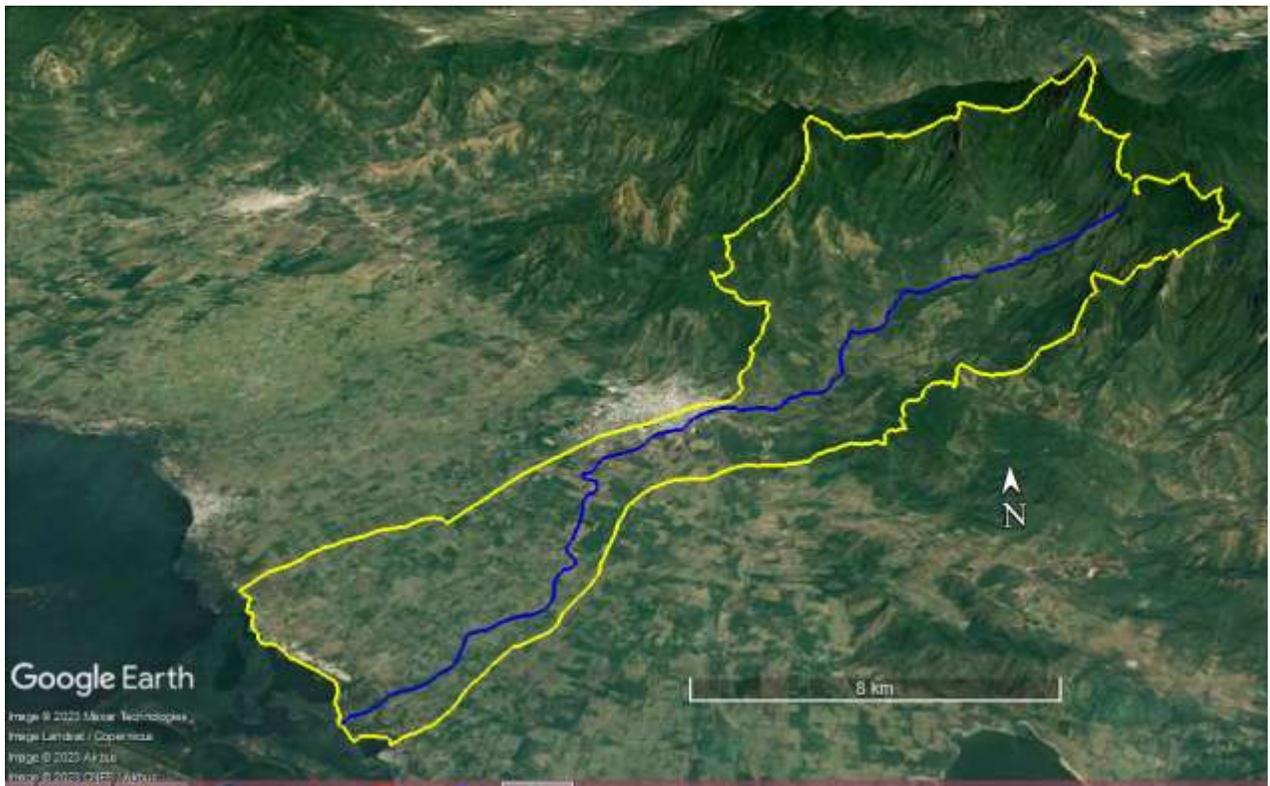


Figura 13. Despliegue y visualización de la poligonal de la cuenca y cauce del río Zanatenco

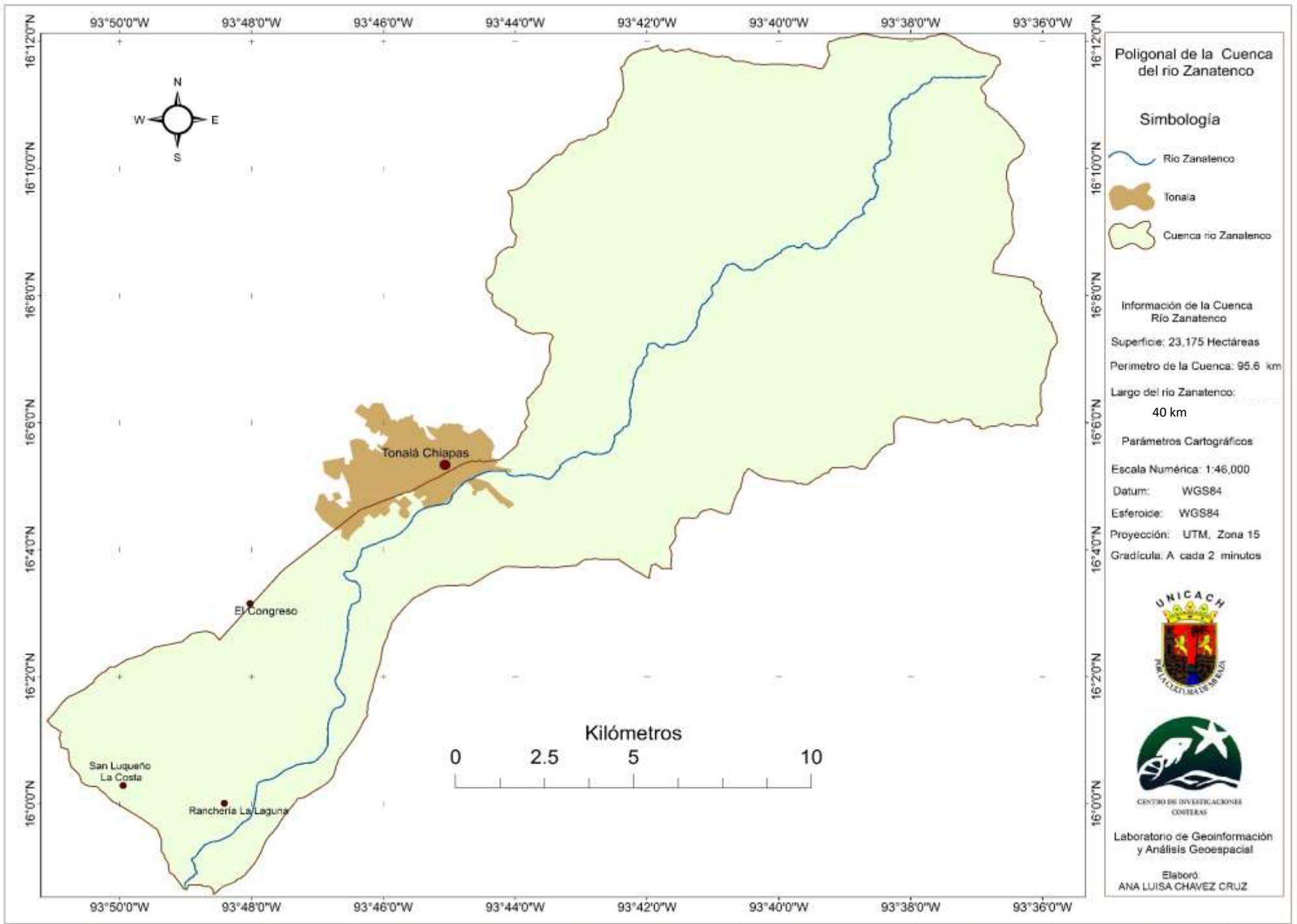


Figura 14. Mapa de distribución de la poligonal y el cauce del río Zanatenco

8.3. Red hidrográfica del río Lagartero

De acuerdo a la red hidrográfica de la cuenca el Lagartero del cauce principal tiene una longitud de 50.8 km y nace a una altura de 1277 m, tiene una inclinación promedio del cauce de 3.4% y una máxima de 41.7 %. Así mismo la red hidrográfica cuenta en total con 1,183 tributarios (Figura 15 y 16).

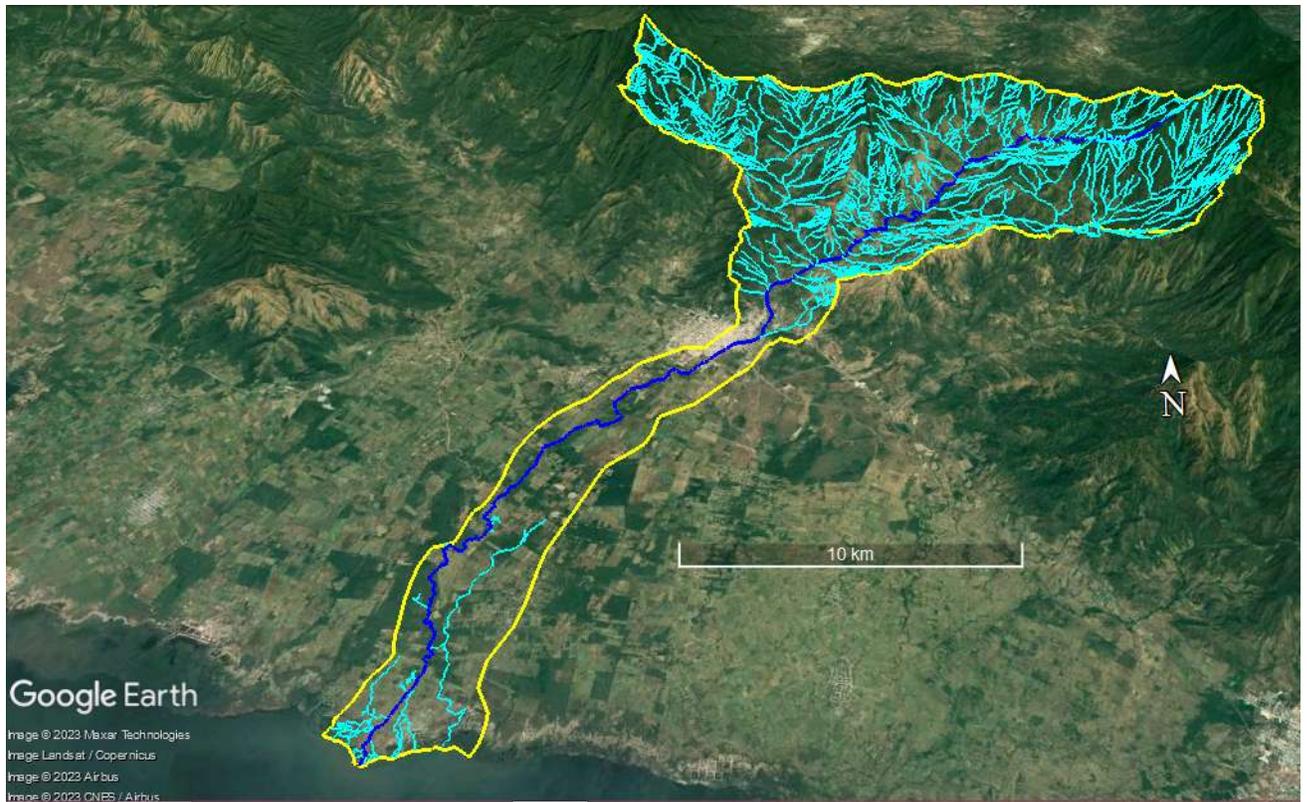


Figura 15. Distribución de la Red Hidrográfica de la cuenca del río Lagartero sobre el modelo digital del terreno disponible en Google Earth Pro.

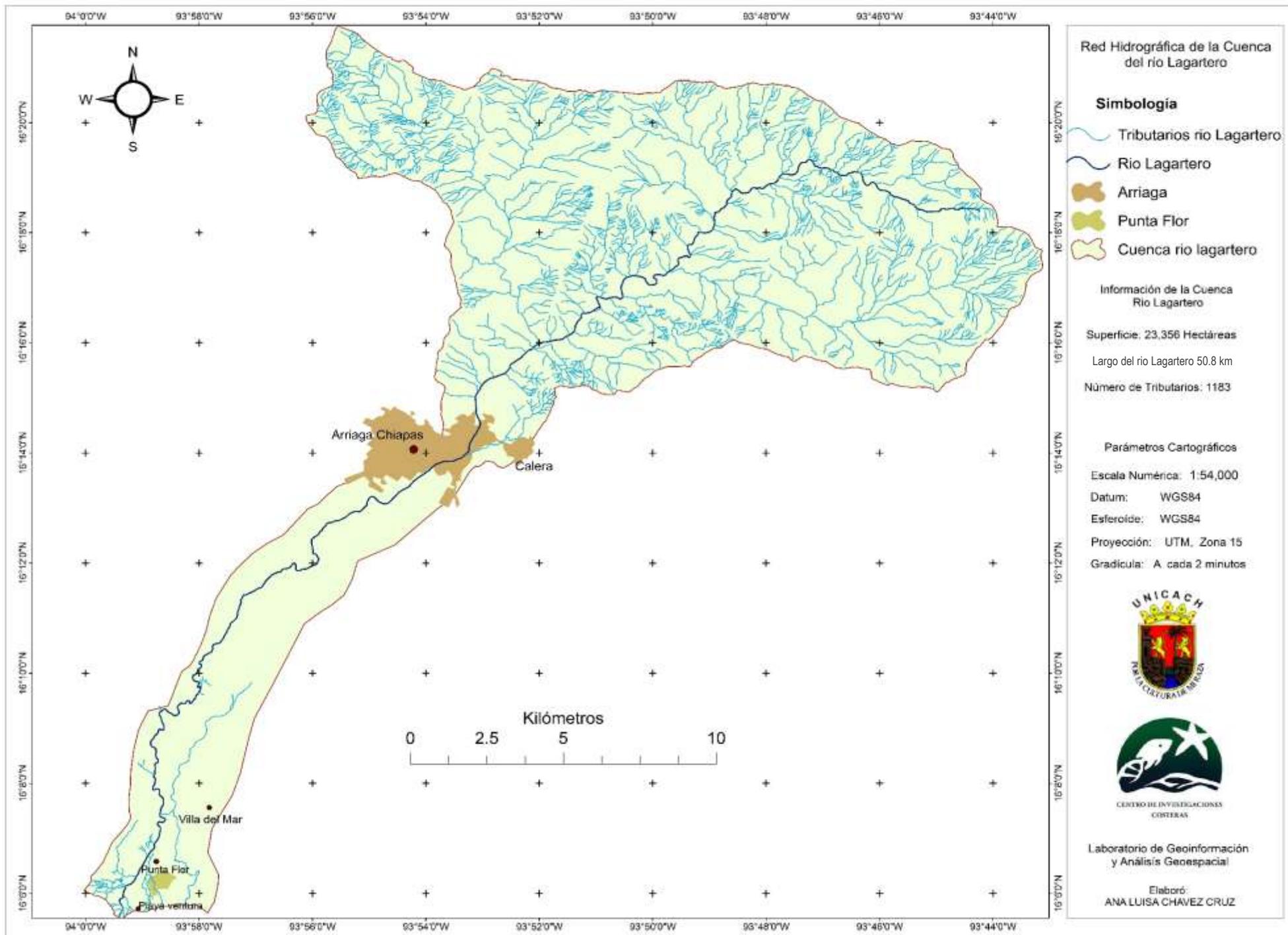


Figura 16. Mapa de la distribución de la red hidrográfica del río Lagartero

8.4. Red hidrográfica del río Zanatenco

De acuerdo a la red hidrográfica de la cuenca del río Zanatenco el cauce principal tiene una longitud de 39.9 km y nace a una altitud mayor de 1800 m, tiene una inclinación promedio del cauce de 5.8 % y una máxima de 70.3 %. Así mismo la red hidrográfica tiene en total con 782 tributarios (Figura 17 y 18).

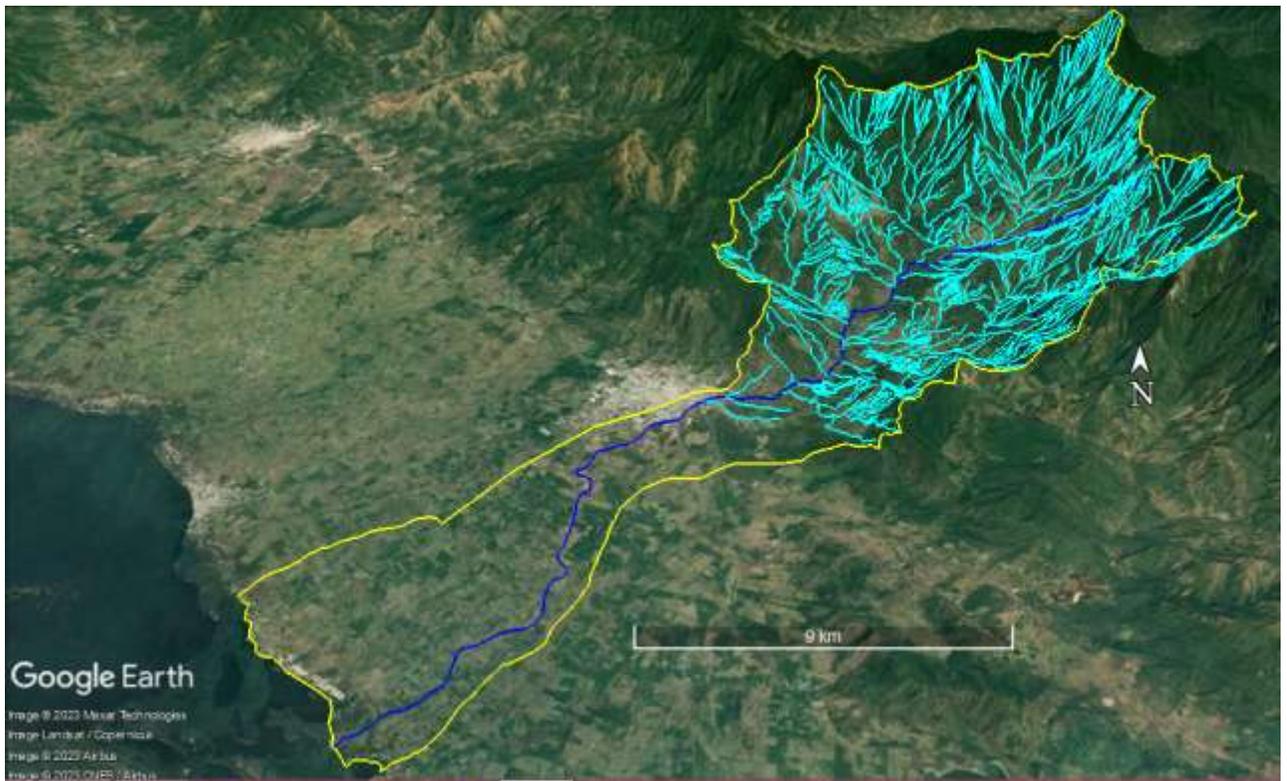


Figura 17. Despliegue de la Red Hidrográfica de la cuenca del río Zanatenco sobre el Modelo Digital del Terreno disponible en Google Earth Pro.

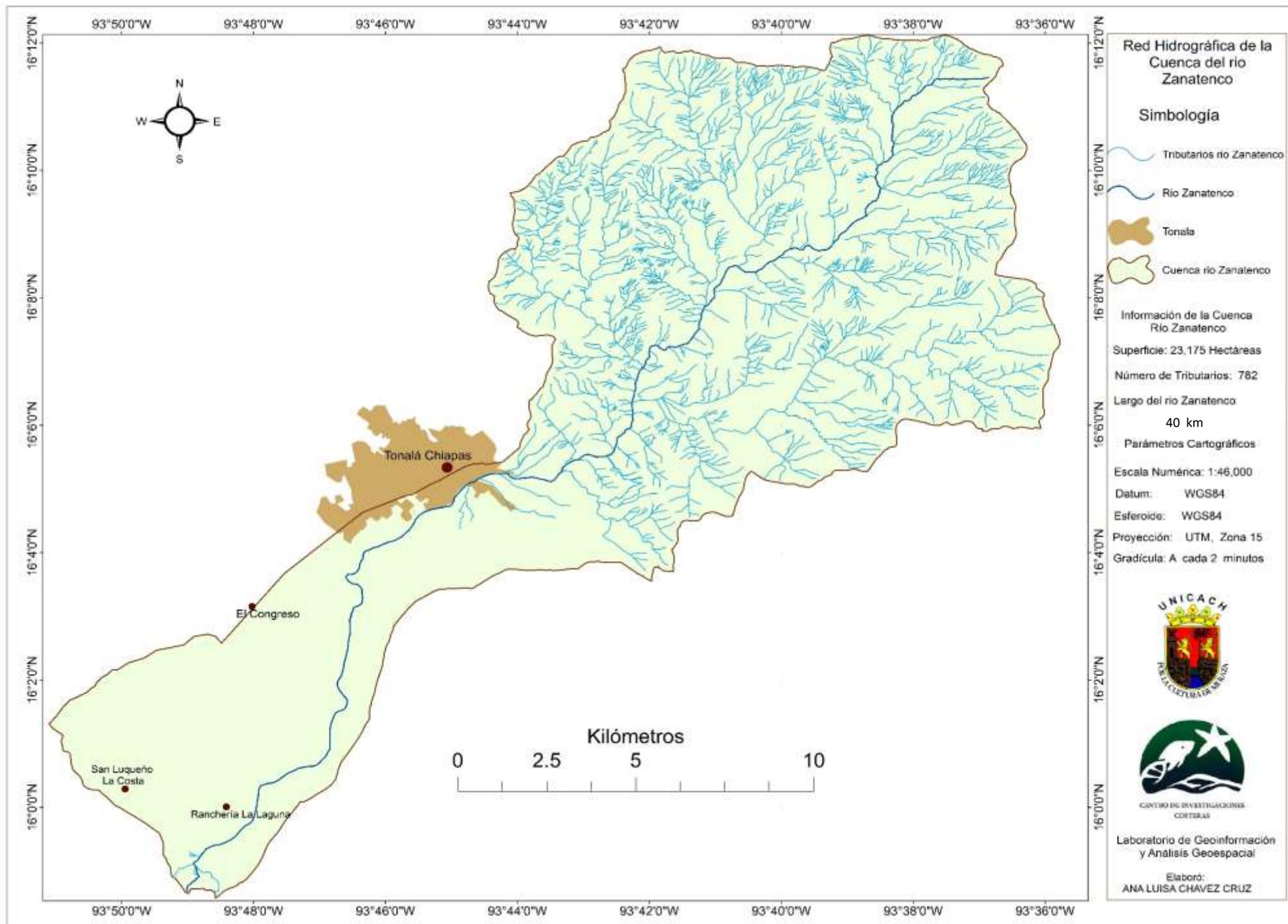


Figura 18. Mapa de la distribución de la red Hidrográfica del río Zanatenco

8.5. Orden de Corrientes de la cuenca del Rio Lagartero

De acuerdo con los datos de las corrientes cartografiadas en la red hidrográfica del rio Lagartero, se registraron un total de cinco ordenes de corrientes, mientras que el cauce principal corresponde a una orden de corriente seis. Del total de órdenes de corrientes registrados, el mayor porcentaje de tributarios corresponden en su mayoría a primer orden, seguidos de tributarios de segundo orden y tercer orden; este conjunto de tributarios de esta cuenca, corresponden en su mayoría a corrientes intermitentes o temporales nacidas en la cabecera o parte alta de la cuenca.

No obstante se registró que un menor porcentaje de los tributarios se registraron en el orden de corriente cuatro y cinco, de los cuales solo cuatro de estos tributarios son de corriente permanente con caudal fuerte en época de lluvias y en época de secas o estiaje solo registraron agua con muy poca corriente y estancada principalmente, mientras que el resto de los tributarios, principalmente de la parte alta de la cuenca corresponden a corrientes temporales o intermitentes de nacimiento (Figura 19).

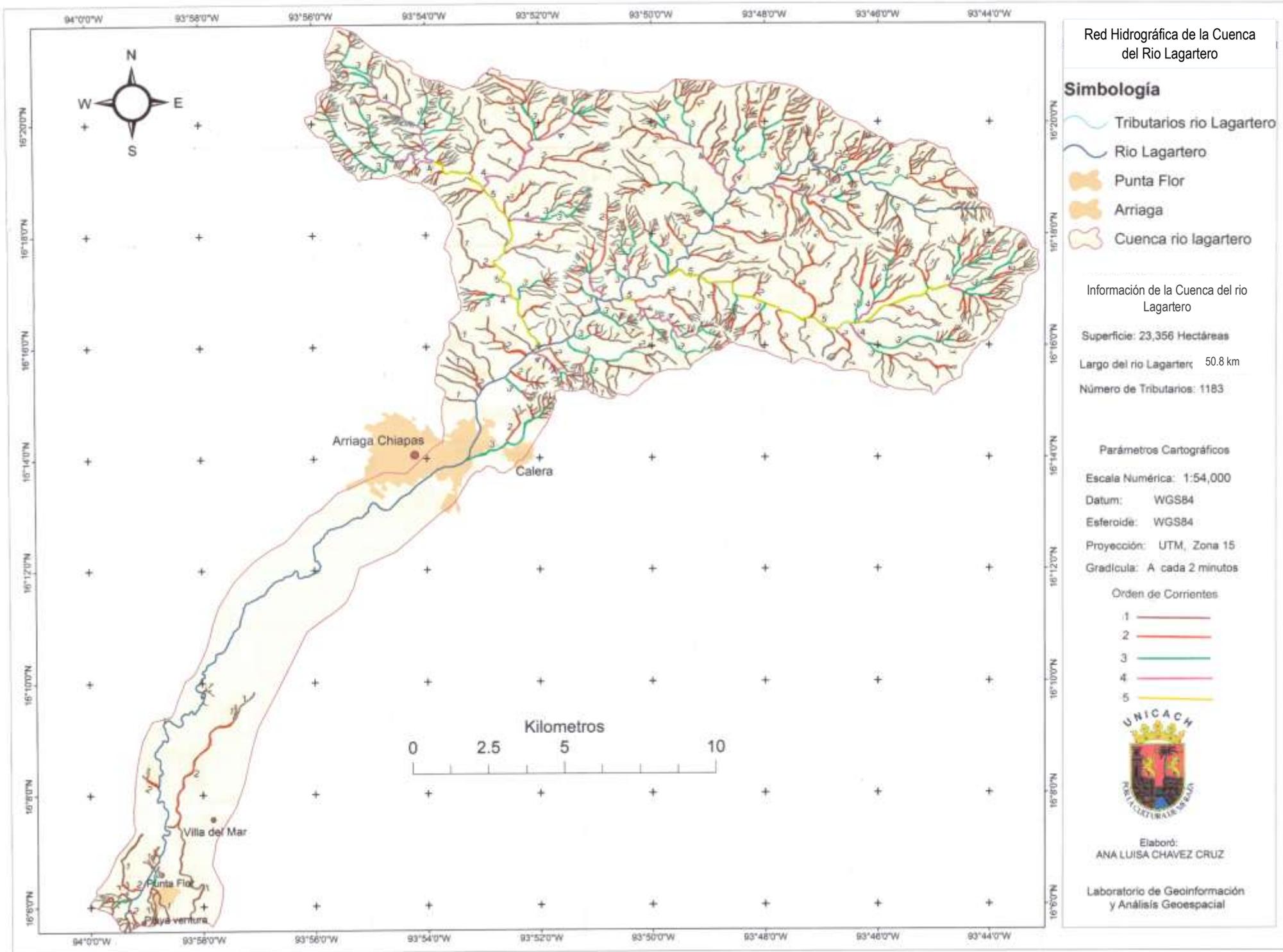


Figura 19. Mapa de distribución del orden de corrientes de la red hidrográfica del rio Lagartero

8.6. Orden de Corrientes de la cuenca del Rio Zanatenco

La información registrada de las corrientes cartografiadas en la red hidrográfica del río Zanatenco, se obtuvieron en total cinco órdenes de corrientes, no obstante el cauce principal corresponde a un orden de corriente seis, con característica dendrítica. El mayor porcentaje de tributarios corresponden en su mayoría a corrientes de primer orden, seguidos de tributarios de segundo orden y tercer orden; La mayoría de estos tributarios de esta cuenca, corresponden en su mayoría a corrientes intermitentes o temporales que nacen en la parte alta de la cuenca.

Mientras que un menor porcentaje de los tributarios se registraron en el orden cuatro y cinco, de los cuales solo cuatro de estos tributarios son de corriente permanente y el resto son temporales o intermitentes (Figura 20).

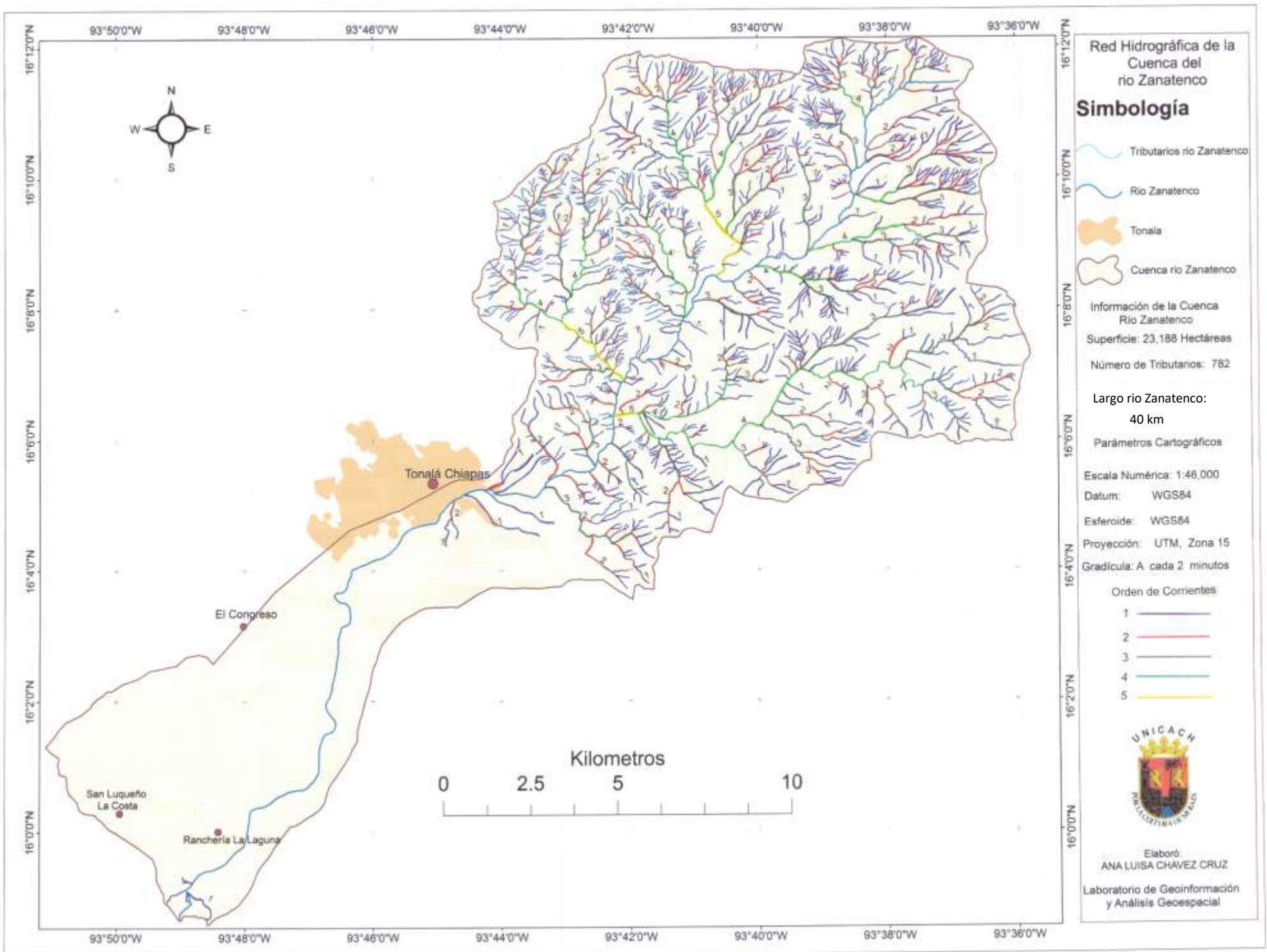


Figura 20. Mapa del orden de corrientes de la red hidrográfica del río Zanatenco

8.7. Indicadores Morfométricos de la cuenca del rio Lagartero

Los índices morfométricos calculados para la cuenca hidrológica del rio Lagartero se muestran en el (Cuadro 5). Se considera una cuenca pequeña (234 km^2) por su tamaño y el índice de compacidad de la cuenca se determinó como Oval-oblonga a rectangular-oblonga, mientras que el índice de elongación y el factor de forma, ambos indican que es una cuenca alargada, con un nivel de concentración de drenaje moderado de aproximadamente 1.15 km por cada km^2 .

Cuadro 5. Índices morfométricos calculados para la cuenca hidrológica del rio Lagartero.

Número	Indicador Morfométrico	Valor
1	Área	234 Km ²
2	Perímetro	11.3 km
3	Longitud de la cuenca	34.56 km
4	Altura máxima de la cuenca	1770 m
5	Altura mínima de la cuenca	3 m
6	Longitud del rio Lagartero	50.8 Km
7	Coeficiente de Compacidad (Cc)	2.0831
8	Razón de Elongación (Re)	0.3396
9	Factor de Forma (F)	0.1959
10	Tamaño de la cuenca	Pequeña (25-250)
11	Densidad de drenaje	$1.143 \text{ km} / \text{km}^2$
12	Pendiente media de la cuenca	4 %
13	Criterio dos de pendiente del cauce principal	38.1 km
14	Tiempo de concentración	79.22 hrs
15	Centro de gravedad del cauce principal	25.4 km

8.8. Perfil Hipsométrico de la Cuenca rio Lagartero

En la parte alta de la cuenca se registran alturas de 1000 msnm y pendientes arriba de 45 %, se observa un relieve escarpado con pendientes pronunciadas en la cabecera de la cuenca, mientras que en la parte media de la cuenca se obtuvieron pendientes que van de los 5 % hasta 20%, considerándose pendientes moderadas, las cuales están distribuidas en zonas de lomeríos y laderas principalmente y en la parte baja menores a 5 %, correspondiendo en su mayor parte a zonas planas conformando una llanura o planicie costera de la cuenca (Figura 21).



Figura 21. Perfil Hipsométrico de la cuenca del río Lagartero, Arriaga, Chiapas.

8.9. Pendiente promedio del rio Lagartero

La pendiente promedio del rio Lagartero es de 3.4 % y su nacimiento se encuentra a 1277 m, registrando una inclinación máxima de 43.5 % y la mínima 0.7 % (Figura 22). De acuerdo con la clasificación de la pendiente promedio obtenida, el rio Lagartero se considera como un rio caudaloso o de velocidad rápida en la parte de la cabecera de la cuenca hasta los 10.5 km cuenca abajo, posteriormente conforme avanza hacia la parte media de la cuenca, sus pendientes se vuelven moderadas con corrientes rápidas, mientras que en la parte baja o la planicie costera de la cuenca, la pendiente se vuelve totalmente suave a lo largo de 27 km desde la desembocadura hacia cuenca arriba.



Figura 22. Perfil de elevación y pendiente del rio Lagartero, Arriaga, Chiapas

8.10. Indicadores Morfométricos de la cuenca del rio Zanatenco

Los parámetros morfométricos calculados para la cuenca hidrológica del rio Zanatenco se muestran en el (Cuadro 6). De acuerdo con estos resultados morfométricos, se definió como una cuenca pequeña (232 km²) por su tamaño y los índices de elongación y el factor de forma, ambos indican que es una cuenca alargada, mientras que el índice de compacidad de la cuenca, muestra que es Oval-oblonga a rectangular-oblonga y con una densidad de drenaje de nivel bajo de aproximadamente un km de tributarios por cada km²

Cuadro 6. Índices morfométricos calculados para la cuenca hidrológica del rio Zanatenco

Número	Indicador Morfométrico	Valor
1	Área	232 Km ²
2	Perímetro	95.6 Km
3	Longitud de la Cuenca	32.1 Km
4	Altura máxima de la cuenca	2380 m
5	Altura mínima de la cuenca	2 m
6	Longitud del rio Zanatenco	40 Km
7	Coeficiente de Compacidad (Cc)	1.77
8	Razón de Elongación (Re)	0.0528
9	Factor de Forma (F)	0.2251
10	Tamaño de la cuenca	25 a 250 km Pequeña
11	Densidad de drenaje	0.9625 km / km ²
12	Pendiente Media de la Cuenca	8.4 %
13	Criterio dos de pendiente del cauce principal	27.675
14	Tiempo de concentración	66.3456 hrs
15	Centro de gravedad del cauce principal	20 km

8.11. Perfil Hipsométrico de la Cuenca rio Zanatenco

El perfil hipsométrico muestra que en la parte alta de la cuenca se registran una altura máxima de 2449 m y una pendiente máxima de 81%, mientras que en la parte media de la cuenca se obtuvieron alturas que van de los 180m a los 550 m y pendientes que van de los 1.9 a los 22 % y en la parte baja menores a 1 % (Figura 23).

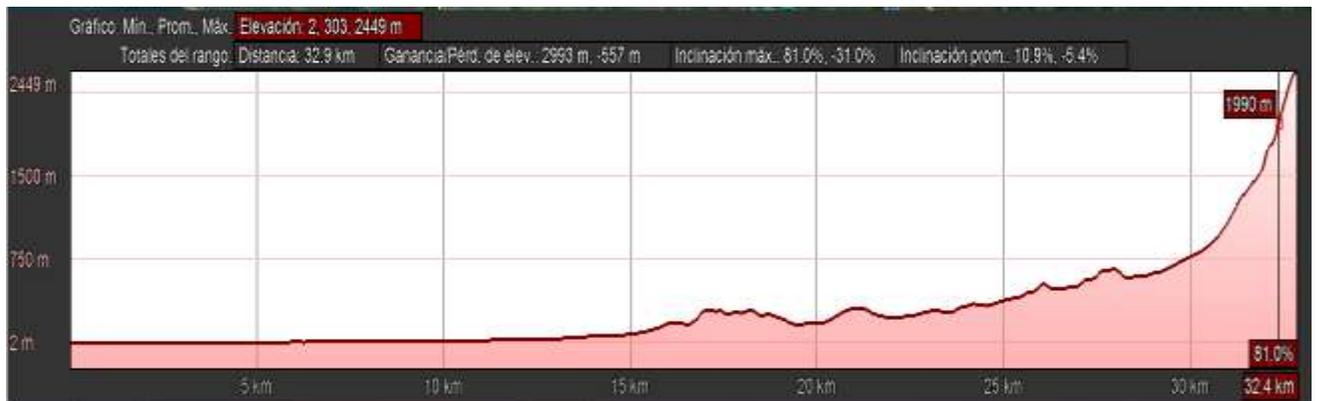


Figura 23. Perfil Hipsométrico de la cuenca del río Zanatenco, Tonalá Chiapas.

8.12. Pendiente promedio rio Zanatenco

La pendiente promedio del rio Zanatenco es de 5.8 % y el rio nace a una altitud de 1977 m, registrando una inclinación máxima de 70.3 % y una inclinación mínima de 2 % (Figura 24). De acuerdo a la clasificación de la pendiente promedio obtenida, se considera como un rio con pendiente suave en la mayor parte del recorrido de su cauce, solo en la parte de la cabecera del rio de los 500 m a los 1273 m de altura, la pendiente es muy pronunciada, mientras que en la parte media de la cuenca el cauce hasta la parte baja tiene pendientes que van de 1 a 4 %.



Figura 24. Perfil de elevación y pendiente del rio Zanatenco, Tonalá Chiapas.

IX. DISCUSION

Los ríos Lagartero y Zanatenco se encuentran en cuencas que desembocan en las zonas de humedales, manglares y lagunas costeras de la costa de Chiapas, se determinaron como cuencas pequeñas porque resultaron con menos de 250 km² de superficie en comparación con la superficie que ocupan otras cuencas de México y Chiapas (Cotller *et al.*, 2010).

La delimitación de ambas cuencas consideró en su lado oeste ajustarse con los límites de la cuenca del río Tiltepec, mientras que al norte se realizó de acuerdo con el parteaguas de la Sierra Madre de Chiapas. Sin embargo, para la cuenca del río Lagartero no se consideró el río Las Arenas, sobre todo por las cuestiones administrativas predefinidas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) para esta cuenca, el resto de ambas cuencas fueron delimitadas detalladamente y verificadas en campo.

La forma de ambas cuencas resultaron alargadas y oblongas, sin embargo al análisis de la distribución espacial de estas cuencas, registró que tienen formas de embudo, es decir poseen un área de captación de agua de lluvia del 65% hacia la cabecera o parte alta, mientras que hacia la parte baja, las dos cuencas se reducen considerablemente en su anchura, lo cual es contrario a lo reportado por López *et al.*, (2018), para la cuenca Cuxtepeques en la costa de Chiapas, en el que registraron que no sufre reducción y se considera una cuenca equilibrada y sin riesgo alto de inundaciones a lo largo del cauce hasta su desembocadura.

Esta características de embudo, aunado a las fuertes pendientes de la cabecera o parte alta, hace que las dos cuencas se consideren con riesgo de desbordamiento e inundaciones o crecidas, sobre todo cuando se registren fuertes fenómenos hidrometeorológicos, como los sistemas de baja presión y trombas, los cuales afectarían principalmente las zonas urbanas y los ecosistemas de la parte baja o planicie de estas cuencas, debido a que las pendientes disminuyen gradualmente hasta menos del 1%, conforme se acercan a su desembocadura.

Las condiciones morfométricas físicas similares de estas cuencas, también favorecen la concentración de altos niveles de sedimentos que son arrastrados hacia la parte baja de la cuenca, lo que provoca un continuo incremento de acumulación de sedimentos, acelerando los procesos de asolvamiento o rellnamiento continuo de humedales, esteros y lagunas costeras, entre otros, llegando a sedimentos hasta 17 hectáreas de laguna en las últimas dos décadas (Figura 25) con impactos socioeconómicos y ambientales importantes en los años siguientes, estos procesos fueron documentados en campo en los dos ríos, ver (Figura 26 y 27).

Además incrementaran los altos costos del dragado de los cauces de los ríos Zanatenco y Lagartero en las partes bajas de las cuencas y en los esteros y lagunas costeras cercanas a sus desembocaduras.

Año: 2004



Año: 2023



Figura 25. Imágenes de satélite que muestran el proceso de asolvamiento de la Bahía Paredón en el área de la desembocadura del río Lagartero en la última dos décadas.



Figura 26. Fotografías que muestran el proceso de desazolve en varias partes del río Zanatenco, para evitar desbordamientos. Estas fotos fueron tomadas desde el puente de la localidad La Laguna.



Figura 27. Imágenes que muestran el proceso de desazolve en varias partes del río Lagartero, para evitar desbordamientos. Estas fotos fueron tomadas desde el puente de la localidad Barrio el Carmen cerca del Puente del ferrocarril en Arriaga.

Por otro lado las redes hidrográficas de ambas cuencas registraron numerosos tributarios con mayor distribución en la cabecera de ambas cuencas, en el que de acuerdo a los recorridos de campo, el 93 % son temporales, por lo que en gran medida ambas cuencas depende de las lluvias, ya que en temporada de secas están sin agua.

De acuerdo con los recorridos y validación de campo, ambos ríos el Lagartero y el Zanatenco, se registraron sin agua, en los meses de abril, mayo y mediados de junio, solo algunos tributarios de orden 3 presentaron ligeros escurrimientos y agua estancada (Figuras 28 y 29).

En el caso del río Zanatenco se registró que alrededor de 24 km desde el puente de hamaca en cuenca alta, hasta la desembocadura no se encontró agua, mientras que el río Lagartero estaba sin agua una longitud de 29.5 km desde su desembocadura en dirección hacia la cuenca alta. En este sentido los ríos Zanatenco y Lagartero se secan en época de estiaje una longitud mayor que el índice de Centro de gravedad del cauce principal de cada río, o sea 20 y 25.4 km respectivamente.

En general en la porción baja y media de ambas cuencas, los ríos se secan de forma superficial en la época de estiaje y el resto solo tiene agua con poca corriente y en algunas pozas, no obstante, algunos pobladores hacen pequeñas pozos o escavan sobre el cauce, para acceder al agua subsuperficial del río, sobre todo esto fue observado sobre el río Zanatenco (Figura 30).

De acuerdo con esta situación estas cuencas podrían tener alto porcentaje de problemas severos de la dinámica funcional y presión hídrica sobre todo en época de sequías y en temporada de lluvias sería moderado, lo cual coincide con lo reportado para varias cuencas de México por Cotler et al., (2020). De alguna manera la recuperación de las funciones de estas cuencas debe incluir una reconversión de las actividades productivas y focalizar las acciones de restauración en zonas prioritarias, como cabeceras de las cuencas, las zonas de recarga de agua y las zonas riparias.

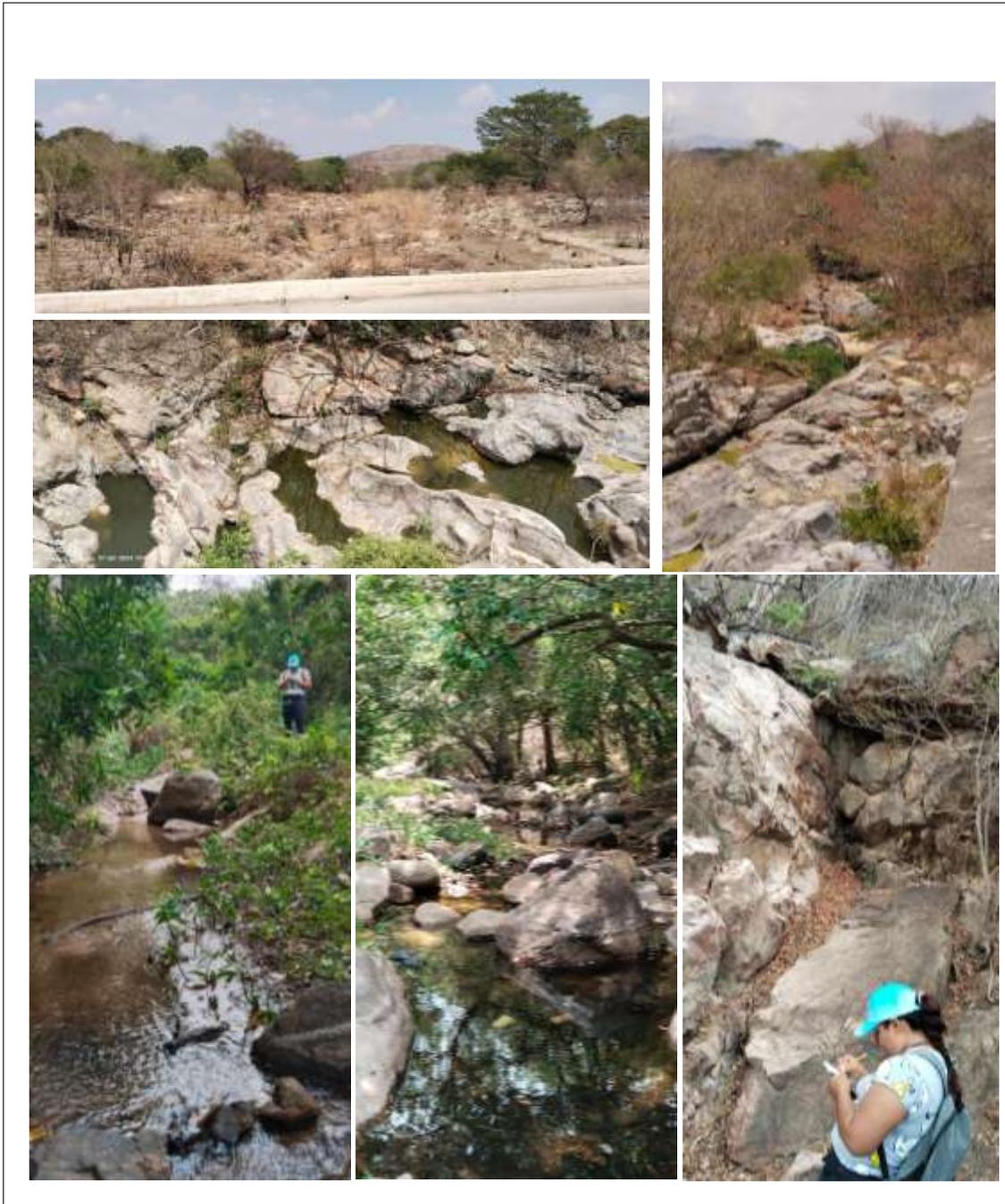


Figura 28. Secuencia de fotografías muestran al río Lagartero sin presencia de agua superficial 2 km del puente de la autopista y hacia la cuenca alta 8 km con agua.



Figura 29. Secuencia fotográfica muestran al rio Zanatenco, sin presencia de agua superficial 9 km del puente de la autopista hasta el puente de hamaca en cuenca alta.



Figura 30. Fotos que muestran pequeños pozos excavados sobre el cauce del río Zanatenco en la cuenca alta, por pobladores para tener agua limpia en época de estiaje.

Las cuencas del río Zanatenco y Lagartero registraron redes hidrográficas tipo dendríticas y tienen una alta complejidad, ya que la cabecera de estas cuencas al presentar terrenos accidentados y con pendientes elevadas, los escurrimientos adquieren mucha velocidad y registran baja infiltración, por lo que son capaces de arrastrar grandes volúmenes de agua hacia la cuenca media y baja en la épocas de lluvias, lo cual aunado a los procesos deforestación de estas cuencas observada en campo, se acelera el arrastre de sedimentos hacia la cuenca media y baja (Figura 31).



Figura 31. Fotografías que muestran la cuenca del río Zanatenco con alto grado de perturbación de sus selvas, deforestación sobre el cauce, aunado a tributarios rodeados de pastizales.

X. CONCLUSIONES

Las Cuencas de los ríos Lagartero y Zanatenco de los municipios de Arriaga y Tonalá Chiapas, pertenecen a cuencas costeras dendríticas con orden de corriente seis, y se caracterizaron como pequeñas, oblongas y alargadas, pero con forma de embudo, lo que hace que en las temporadas de fuertes fenómenos hidrometeorológicos, presenten riesgos de inundación o crecientes con arrastre de sedimentos a lo largo de la parte media y baja de ambas cuencas.

Sin discusión alguna se acepta la hipótesis planteada en esta investigación, debido a que las cuencas de los ríos Lagartero y Zanatenco son complejas y similares en su red de drenaje, además de que comparten la mayoría de las características morfométricas y espaciotemporales y ambas tienen riesgos de crecientes e inundaciones en la época de lluvias.

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede considerar que los ríos Lagartero y Zanatenco permanecen secos en la época de estiaje, hasta un 60 % de la longitud de estos cauces, indicando que en los años siguientes o futuros, tengan alto riesgo de convertirse en cuencas totalmente temporales, es decir que solo en época de lluvias tendrían disponibilidad de agua, lo que causaría un fuerte impacto a la biodiversidad y las actividades productivas y urbanas que depende de estos ríos en época de secas.

En campo se observó un alto proceso de sedimentación, y trabajos de desazolve de los cauces del río Zanatenco y Lagartero, lo que supone que este tipo de acciones serán más frecuentes por los riesgos de inundación y la problemática de deforestación detectada en cuenca alta de ambos ríos. Sin embargo, por ningún motivo se debe realizar la rectificación de estos ríos en la parte baja de las cuencas, debido a que eso incrementaría de forma acelerada el arrastre de sedimentos hacia los ecosistemas y lagunas costeras.

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aceves Quesada, Fernando; Legorreta Paulín, Gabriel; Álvarez Ruíz, Yarummy. Cartografía geomorfológica para el inventario de procesos gravitacionales en la cuenca endorreica del arroyo La Ciénega, flanco oriental del volcán Nevado de Toluca. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, vol. 66, núm. 2, 2014, pp. 329-342. Sociedad Geológica Mexicana, A.C. Distrito Federal, México.
- Agatón, Adolfo León; Córdoba Ruiz, Juan Carlos; Carreño Sayago, Uriel Fernando. Revisión del estado de arte en captación y aprovechamiento de aguas lluvias en zonas urbanas y aeropuertos Tecnura, vol. 20, núm. 50, octubre-diciembre, 2016, pp. 141-153. Universidad Distrital Francisco José de Caldas Bogotá, Colombia.
- Alvarado-Granados, A., Díaz-Cuenca, E., y Guerrero-Peñuelas, A. 2013. Diagnóstico para el saneamiento del agua en las cuencas de la laguna de San Miguel Almaya en el Valle de Toluca, México: Universidad Autónoma Del Estado De México: Año 15, Págs. 93-121.
- Aparicio, J. 1989. Fundamentos de Hidrología de superficie. ed. Limusa. 292 p.
- Arellano-Monterrosas, J., y Ruiz, L. 2018. Evaluación y tendencias de los servicios ecosistémicos hidrológicos de la cuenca del río Zacatenco, Chiapas. Investigaciones Geográficas.
- Aumassane, C., Gaspari, F., Bege, M., Sartor, P., Oricchio, P., y Di Bella, C. 2018. Morfometría de la cuenca alta del río Colorado, Argentina. Boletín geográfico, pág. 13-29.
- Benavides Mora, Victoria; Tarle Pissarra, Teresa Cristina; Galbiatti, José Antonio. Caracterización y Clasificación de la Red Hidrográfica de la Cuenca del Río Bobo, departamento de Nariño – Colombia. Ingeniería e Investigación, vol. 29, núm 3, 2009, pp. 97 101.

- Bocco, Gerardo. El desarrollo de sistemas de información geográfica en la frontera norte de México Investigaciones Geográficas (Mx), núm. 42, agosto, 2000, pp. 40-47. Instituto de Geografía Distrito Federal, México.
- Castillo-Cruz, Z. Y Medrano-Pérez, O. 2023. Análisis Geomorfológico De Las Subcuencas Usumacinta Y Grijalva En El Sureste De México.
- Castro, I., López, W., Estrada, J., Altamirano, H. y Vázquez, E. 2013. Instrumentación hidrológica en cuencas pequeñas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Centro de Chiapas, Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, México. Folleto Técnico No. 20 Pág. 57.
- Chávez Hernández, Carlos; Moguel Acuña, Jorge A.; González Galván, Marcela; Guiris Andrade, Darío M. Abundancia Relativa de Tres Ungulados en la Reserva de la Biosfera "La Sepultura" Chiapas, México. *Therya*, vol. 2, núm. 2, agosto, 2011, pp. 111-124. Asociación Mexicana de Mastozoología Baja California Sur, México.
- Cotler H, Garrido A, Bunge V, Cuevas, M L. 2010. Las cuencas hidrográficas de México: priorización y toma de decisiones https://vortice.conagua.gob.mx/storage/files.conagua/upload/05022021_1612548612.pdf.
- Cruz, B., Gaspari, f., Rodríguez, A., Carrillo, f. y Téllez, J. 2015. Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Pág. 26-34
- Delgadillo-Santander, A. y Moreno-Barrios, A. 2004. Hidrología. <https://www.coursehero.com/file/29452261/MORFOMETR%C3%8DA-DE-CUENCASpdf/>. Consultado el 14 de Enero de 2019. 38

- Díaz Gómez, R., J. Gaspari, F. Y M. Georgieff, S. 2017. Aspectos Morfométricos De Cuencas Subtropicales Del Noroeste De Argentina. Acta Geológica Lilloana Pág. 3–19.
- Díez Hernández, Juan M. Bases Metodológicas para el Establecimiento de Caudales Ecológicos en el Ordenamiento de Cuencas Hidrográficas Ingeniería y Competitividad, vol. 7, núm. 2, 2005, pp. 11-18. Universidad del Valle Cali, Colombia.
- Díez Hernández, Juan Manuel; Burbano Burbano, Liliana. Tecnología Ecológica para la Planificación de Cuencas Hidrográficas: Regímenes Caudales Ambientales Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 5, Núm. 2, Julio-Diciembre, 2007, Pp. 20-31. Universidad Del Cauca.
- Doffo, N. y González, G. 2005. Caracterización morfométrica de la cuenca alta del arroyo Las Lajas, Córdoba: Un análisis estadístico. Revista de la Asociación Geológica Argentina.
- Ecología Verde. 2021. Cuencas hidrográficas: qué son, tipos e importancia. Consultado el 20 de marzo de 2019.
- Esper, M., Espejo, K., Lara, G., Perucca, L. y Rothis, M. 2016. Morfometría de cuencas como base en la evaluación de la susceptibilidad/peligrosidad por aluviones, caso de estudio: cuenca del río del agua, San Juan, Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, Pág. 513 – 519
- Esper, M., y Perucca, L. 2014. Caracterización morfométrica de la Cuenca del río Seco a propósito de las fuertes precipitaciones de enero de 2013, Departamento Sarmiento, San Juan, Argentina. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Pág. 235-245.
- Feoli, S. 2009. Corredores biológicos: una estrategia de conservación en el manejo de cuencas hidrográficas. Kurú: Revista Forestal. Pág. 6 - 17.

- García Marchante, Joaquín Saúl Cuenca: Un Destino Turístico Consolidado Cuadernos de Turismo, núm. 27, 2011, pp. 403-418. Universidad de Murcia, España.
- Gaspari, J., Rodríguez, A., Senisterra, G., Denegri, G., Delgado, M., y Besteiro. S. 2012. Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aire, Argentina. Universidades Grupo Montevideo.
- Gastón, A. y Pouilly, M. 2012. Caudal ecológico: definiciones, metodologías y adaptación a la región andina. Acta zoológica lilloana. Pág. 15-30.
- Geraldi, Alejandra M.; Piccolo, M. Cintia; Perillo, Gerardo M. E. Delimitación y Estudio de Cuencas Hidrográficas con Modelos Hidrológicos Investigaciones Geográficas (Esp), núm. 52, 2010, pp. 215-225 Universidad de Alicante, España.
- González, A. 2004. Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. Págs. 311-329.
- González Ocampo, Héctor A.; Cortés Calva, Patricia; Iñiguez Dávalos, Luis Ignacio; Ortega Rubio, Alfredo. Las Áreas Naturales Protegidas de México. Investigación y Ciencia, vol. 22, núm. 60, marzo, 2014, pp. 7-15. Universidad Autónoma de Aguascalientes, México.
- Grael, C. y Carrillo, C. 2006. Calidad del agua del río Zanatenco en el estado de Chiapas. Ingeniería, vol. 10, núm. 3, pp. 35-42 Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, México 39
- Guerra, F. y González, J. 2002. Caracterización Morfométrica De La Cuenca De La Quebrada La Bermeja, San Cristóbal, Estado Táchira, Venezuela. Geoenseñanza. Pág. 88-108.
- Gutiérrez G., Díaz J.J. 2011. Morfometría en la Cuenca Hidrológica de San José del Cabo, Baja California Sur, México. Revista geológica de América Central, N°. 44, 2011, págs. 83-100. ISSN 0256-7024.

<https://www.ecologiaverde.com/cuencas-hidrograficas-que-son-tipos-e-importancia-3334.html>. Consultado 01 de mayo 2023.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 1988. Manual de diseño de estructuras de aforo.

http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/825/IMTA_013.pdf.

Consultado el 17 de Octubre de 2019. 37

Instituto Estatal del Agua. 2014. Comité de Cuenca del Río Lagartero. www.institutodelagua.chiapas.gob.mx/rio-lagartero-cch#. Consultado el 23 de Agosto de 2019.

Jardí, M. 1985. Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. Revista de Geografía, vol. XIX. Pág. 41- 68.

José Busnelli. y Luis R. Horta. 2014. Morfometría de cuencas montañas y metamorfosis fluvial, Tucumán. Revista de la Asociación Geológica Argentina. Pág. 11 – 20.

López, E., Posada, C. y Moreno, J. 2006. Los Sistemas De Información Geográfica. I Congreso de Ciencia Regional de Andalucía: Andalucía en el umbral del siglo XXI. Universidad de Sevilla. Pág. 789-804

López Báez, W., Reynoso Santos, R., Castro Mendoza, I., Salinas Cruz, E. Y Magdaleno Sánchez, R. 2016. Capacidad De Infiltración De La Cuenca Del Río Cuxtepeques, Chiapas, México. Ingeniería Hidráulica Y Ambiental. Pág.103-112.

Lux-Cardona, B. 2012. Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas: Cursante de Maestría en Energía y Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Machado Ferrer, Leonel; Alvarez Balanqué, Maria Teresa; Galván Rodríguez, Líber; Durán Silveira, Teresa; Martínez López, Dasnay; Machado Álvarez, Leonel; Isaac Concepción, Elba Niurcy. Caracterización integral de la cuenca

hidrográfica del Río Baconao. Revista Cubana de Meteorología, vol. 29, núm. 2, 2023. Instituto de Meteorología.

Marco Geoestadístico. 2010. Región IX Istmo-Costa http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/productos/files/MAPASTEMREG/REGION_IX_ISTMO-COSTA_Post.pdf. Consultado el 20 de Marzo de 2019.

Martínez Duarte, Juan A. Enfoque Sistémico en la Investigación de Cuencas Hidrográficas. Revista Científica "Visión de Futuro", vol. 5, núm. 1, 2006 Universidad Nacional de Misiones, Argentina.

Martínez, G., y Díaz, J. 2011. Morfometría en la cuenca hidrológica de San José del Cabo, Baja California, México. Rev. Geol. Amér. Central, Pág. 83-100. 40

Martínez-Gutiérrez, G., Díaz-Gutiérrez, J. y Cosío-González, O., 2010, Análisis morfométrico en la cuenca hidrológica San José del Cabo, B.C.S. México: una aproximación en la identificación de potenciales áreas de capturas: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Pág. 581-592.

Moizo, P. 2004. La percepción remota y la tecnología SIG: una aplicación en ecología de paisaje. Geofocus. Pág. 1-24

Molina, Adriana María; López, Luis Fernando; Villegas, Gloria Isabel. Los Sistemas de Información Geográfica (Sig) En la Planificación Municipal. Revista EIA, Núm. 4, Noviembre, 2005, Pp. 21-31. Escuela De Ingeniería De Antioquia Envigado, Colombia.

Mora, L., Bonifaz, R., López-Martínez, R. 2016. Unidades geomorfológicas de la cuenca del Río Grande de Comitán, Lagos de Montebello, Chiapas-México: BOL. SOC. GEOL. MEX. Pág. 377-394.

Moraga Peralta, Julio César. 2011. Modelo Cartográfico Para Un Ordenamiento En Cuencas Hidrográficas. Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. Revista Geográfica de América Central. Número 49.

- Pacheco, M. 2008. Avances en la Gestión Integral del Agua Lluvia (GIALL): contribuciones al consumo sostenible del agua, el caso de "Lluviatl" en México. Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo, Pág. 39-57.
- Plan de Manejo Integral de Cuencas. 2006. Río Lagartero, Arriaga, Chiapas. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2009/02/Plan-de-Manejo-Integral-Cuenca-del-R%C3%ADo-Lagartero-Arriaga-Chiapas.pdf>. Consultado el 23 de Agosto de 2019.
- Programa regional de desarrollo. 2011. Región IX Istmo-Costa <http://www.haciendachiapas.gob.mx/planeacion/Informacion/Desarrollo-Regional/prog-regionales/ISTMO-COSTA.pdf>. Consultado el 20 de marzo de 2019.
- Ramírez Granados, Pablo; Alfaro Jiménez, Kevin. Morfometría de la Subcuenca del río Toyogres, Cartago, Costa Rica Revista. Geográfica de América Central, vol. 1, núm. 60, 2018. Universidad Nacional, Costa Rica
- Rivas, Silenia; Oballos, Jajaira; Ochoa, Guido; Santiago, Jonny. Ensayo Metodológico de Evaluación de Tierras para la Captación de Agua en dos Microcuencas del Río Santo Domingo, Mérida, Venezuela. Interciencia, vol. 30, núm. 6, junio, 2005, pp. 347-355. Asociación Interciencia Caracas, Venezuela.
- Salas-Aguilar, V., Pinedo-Álvarez, C., Viramontes-Olivas, O., Báez-González, A. y Quintana-Martínez, R. 2011. Morfometría de la cuneca del río Nazas-Rodeo en Durango, México, by geographical tecnology systems. Tecnociencia Chihuahua.
- Seco, R. 2000. Geomorfología: Procesos Exogenéticos. Facultad de Geografía de la Universidad de La Habana, Ministerio de Educación Superior, Cuba. Pág. 157.
- Senciales, J.M. y Ferre, E. (1992): «Análisis morfométrico de la cuenca del río Benamargosa (provincia de Málaga)». En López Bermúdez, F.; Conesa, C. y

- Romero, M.A. (Eds.): Estudios de Geomorfología en España. Actas de la II Reunión Nacional de Geomorfología, Murcia, S.E.G., pp. 365-375.
- Soler, Yolanda; Cárdenas, Miriam Patricia; Aguirre, R.; Ramírez, W.; Flores, A. Vigilancia Epidemiológica Asistida por los Sistemas de Información Geográfica REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria, vol. 18, núm. 6, junio, 2017, pp. 1-14 Veterinaria Organización Málaga, España.
- Strahler, A. 1966. "The Earth Sciences", Harper & Row, segunda impresión, Japón. Pág. 577-592.
- Tarback, E. y Lutgens, F. 1997. "Earth Science", Prentice Hall, octava edición, New Jersey, USA. Pág. 100-104.
- Valdez Pérez, Ma. Eugenia; Mireles Lezama, Patricia; Orzoco Hernández, Ma. Estela Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica para Ordenamientos Ecológicos en Áreas Naturales Protegidas. Revista Geográfica de América Central, vol. 2, julio-diciembre, 2011, pp. 1-19. Universidad Nacional Heredia, Costa Rica.
- Viera Briones, A., López Santos, A., González Barrios, J. L., Y Trucios Caciano, R. 2012. Caracterización De La Cuenca Alip Con La Ayuda De Un Sistema De Información Geográfica. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas. Pág. 23-34.
- Viramontes Olivas, O., Escoboza García, L., Pinedo Álvarez, C., Pinedo Álvarez, A., Reyes Gómez, V., Román Calleros, J. y Pérez Márquez, A. 2008. Morfometría De La Cuenca Del Rio San Pedro, Conchos, Chihuahua. Revista Científica, Medio Ambiente Y Desarrollo Sustentable.
- WWF World Wide Fund for Nature. 2010. Caudal ecológico Salud al ambiente, agua para la gente. http://awsassets.panda.org/downloads/fs_caudal_ecologico.pdf Consultado el 17 de Octubre de 2019.
- Xanat Antonio Nemiga y Treviño Garza Eduardo Javier, 2008, Modelos Especiales Aplicados al Manejo de los Recursos Naturales: una Propuesta en la Sub-Cuenca Río Pilón, Nuevo León, México. Ra Ximhai vol. 4.