



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
CENTRO DE INVESTIGACIONES COSTERAS

T E S I S

Disponibilidad y demanda de agua
en la sub-cuenca del Río Los
Horcones, Tonalá, Chiapas, México

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**LICENCIADO EN BIOLOGIA
MARINA Y MANEJO INTEGRAL
DE CUENCAS**

PRESENTA:

**MARIA STEFANY GORDILLO
MARTINEZ**



Tonalá, Chiapas

Mayo 2019



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
CENTRO DE INVESTIGACIONES COSTERAS

T E S I S

Disponibilidad y demanda de agua
en la sub-cuenca del Río Los
Horcones, Tonalá, Chiapas, México

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**LICENCIADO EN BIOLOGIA
MARINA Y MANEJO INTEGRAL
DE CUENCAS**

PRESENTA:

**MARIA STEFANY GORDILLO
MARTINEZ**

DIRECTOR DE TESIS:

JOSE REYES DIAZ GALLEGOS.

Centro de Investigaciones Costeras (CEICO-UNICACH)



AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradezco a la Universidad Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), por darme la oportunidad de formarme profesionalmente en el Centro de Investigaciones Costeras (CEICO) como parte de las primeras generaciones de egresados. Parte importante de este proceso lo constituyeron los docentes que con su profesionalismo y conocimientos me orientaron a lo largo de este camino, un agradecimiento especial a mi Director de Tesis Mtro. José Díaz Gallegos y a los asesores Mtra. Silvia Elena Montesinos y Mtra. María Cielo Ortiz, que con sus observaciones y comentarios hicieron posible la culminación de esta meta personal.

De igual forma agradezco al Dr. Juan Pedro Arias la confianza y el apoyo brindando, sin duda alguna en el trayecto me ha demostrado una gran calidad humana corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

Dedicado con todo mi amor y cariño a mi padre Rosalino Gordillo Trujillo, a mi madre Raquela Martínez Aguilar por su sacrificio y esfuerzo, por darme una carrera para mi futuro y por creer en mi capacidad, a mi hermano Jonathan Gordillo Martínez por estar ahí a mi lado. Mi familia que me ha enseñado que la unión hace la fuerza. Y que, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado brindándome su comprensión, cariño y amor.

A mi abuela María Aguilar Aquino que con sus palabras de aliento me impulsa a seguir adelante y que me ha inculcado que siempre sea perseverante y cumpla con mis ideales.

A mis compañeros y amigos, quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas y a todas aquellas personas que durante estos cinco años estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este sueño se haga realidad.

A todos, ¡GRACIAS!

ÍNDICE

I.- INTRODUCCIÓN	1
II.- MARCO TEÓRICO	4
2.1.- Sub-cuenca y red hidrográfica	4
2.2.- Escurrimiento	5
2.3.-Disponibilidad de agua.....	5
2.4.- Demanda de agua	6
2.5.- Vegetación y uso de suelo	7
III.- ANTECEDENTES	8
IV.- HIPÓTESIS.....	12
V.- OBJETIVOS.....	12
5.1.- Objetivo general.....	12
5.2.- Objetivo específicos	12
VI.- ÁREA DE ESTUDIO	13
VII.- METODOLOGIA	16
7.1.- Delimitación de la cuenca	16
7.2.- Determinación del escurrimiento del caudal y de los afluentes que conforman el río de la sub-cuenca Los Horcones	16
7.3.- Realización de aforos	19
7.3.1.- Base de datos de precipitación.....	19
7.3.2.- Base de datos de evaporación y temperatura ambiental.....	20
7.4.- Determinación de la demanda y la accesibilidad de agua	20
7.4.1.- Uso doméstico	20
7.4.2.- Uso agrícola	21
7.4.3.- Uso ganadero	22
7.5.- Parámetros Físicoquímicos.....	22
7.6.- Uso de suelo y vegetación	22
VIII.- RESULTADOS	24
8.1.- Delimitación y red hidrográfica de la sub-cuenca del Río Los Horcones .	24
8.2.- Disponibilidad y demanda de agua	28

8.2.1.- Esguurrimiento.....	28
8.2.2.- Precipitación.....	31
8.2.3.- Evaporación.....	36
8.2.4.- Temperatura ambiental.....	37
8.3.- Demanda de agua.....	38
8.3.1.- Uso doméstico.....	38
8.3.2.- Uso ganadero.....	38
8.3.3.- Uso agrícola.....	39
8.4.- Parámetros físicos-químicos.....	41
8.4.1.- Temperatura superficial.....	41
8.4.2.- Potencial de hidrógeno (pH).....	42
8.4.3.- Oxígeno disuelto.....	43
8.5.- Uso de suelo y vegetación.....	44
IX.- DISCUSIÓN.....	48
X.- CONCLUSIÓN.....	54
XI.- RECOMENDACIONES.....	55
XII.- REFERENCIAS.....	56
ANEXO 1	
Encuesta "Demanda de agua de la sub-cuenca del río los horcones ".....	63
ANEXO 2	
Fotografías de trabajo de campo en la subcuenca del Río Los Horcones.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la sub-cuenca Los Horcones en la Región Hidrológica 23, Costa de Chiapas	15
Figura 2. Puntos de muestreo en la red hidrográfica en la sub-cuenca del rio Los Horcones	18
Figura 3. Caudal y afluentes principales del Río Los Horcones	26
Figura 4. Red de tributarios intermitentes y efímeros de la sub-cuenca del rio Los Horcones.	27
Figura 5. Escurrimiento superficial en el caudal principal del Río Los Horcones en periodos de estiaje y lluvia.....	28
Figura 6. Precipitación previa al muestreo en temporada de estiaje.	29
Figura 7. Precipitación previa al muestreo en la temporada de lluvias.....	29
Figura 8. Escurrimiento superficial afluente Río Pedregal en periodos de estiaje y lluvias.....	30
Figura 9. Variación anual de precipitación de la estación climatológica Los Horcones periodo 1965-2010	31
Figura 10 Variación mensual de precipitación de la estación climatológica Los Horcones periodo 1965-2010	32
Figura 11 Variación anual de precipitación de la estación climatológica Tigrera periodo 1962-1975	32
Figura 12. Variación mensual de precipitación de la estación climatológica Tigrera periodo 1962-1975	33
Figura 13. Variación anual de precipitación de la estación climatológica Tres Picos del periodo 1976-2015.....	34
Figura 14. Variación mensual de precipitación de la estación climatológica Tres Picos del periodo 1976-2015.....	35
Figura 15. Precipitación media mensual registrada en la estación climatológica Tres Picos.....	36
Figura 16. Evaporación media mensual registrada en la estación climatológica Tres Picos.....	36

Figura 17. Temperatura ambiental mínima “A” y máxima “B” Media mensual registrada en la estación climatológica Tres Picos	37
Figura 18. Tipo de uso de agua: Uso doméstico	38
Figura 19. Tipos de uso del agua	40
Figura 20. Temperatura superficial “A” parte alta, “B” parte media y “C” parte baja, de los afluentes de la sub-cuenca del Río Los Horcones	41
Figura 21. Comportamiento del pH, “A” parte alta, “B” parte media y “C” parte baja, de la sub-cuenca del Río Los Horcones.	42
Figura 22. Comportamiento del oxígeno disuelto, “A” parte alta, “B” parte media y “C” parte baja, de la sub-cuenca del rio Los Horcones.....	43
Figura 23. Tipos de vegetación y uso de suelo de la subcuenca del Río Los Horcones en (1996)	45
Figura 24. Tipos de vegetación y uso de suelo de la subcuenca del Río Los Horcones (2015).	46
Figura 25. Tipos de vegetación y uso de suelo de la subcuenca del Río Los Horcones (1996-2015).....	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Tipo de uso de agua: Uso ganadero	39
Tabla II. Tipo de uso de agua: Uso agrícola.....	39

RESUMEN

El agua por ser un recurso indispensable para el normal desenvolvimiento de todas las actividades humanas ha adquirido cada vez más importancia económica, por lo tanto, un balance disponibilidad vs. demanda, puede ser en cierta medida determinante en el desarrollo socioeconómico de una región. Entendiéndose que la disponibilidad no es solo una cuestión de cantidad, sino de calidad y esto determinará si es aceptable para su consumo. Este estudio aporta información que será útil para conocer el estado de conservación actual, la disponibilidad y la demanda del agua en la sub-cuenca Los Horcones, con el fin de dar herramientas que permitan el manejo del recurso agua para su sostenibilidad. Mediante técnicas convencionales de visualización topográfica de curvas de nivel se delimito la zona de análisis generando la red de drenaje y características particulares de la sub-cuenca, para conocer el estado de disponibilidad se realizaron aforos con el método sección control durante dos temporadas, estiaje y lluvias del año 2015, para determinar la demanda de agua se levantaron encuestas con el fin conocer los distintos usos. El estado de conservación se determinó mediante el uso de imágenes satelitales (1990-2016) clasificadas mediante los programas ERDAS 11 y ArcGIS 10 para evidenciar el cambio en el uso de suelo y vegetación. La subcuenca los Horcones tiene un área de 17,600 Ha, una altitud máxima 2,060 msnm, con una pendiente media de 5.8% lo cual la clasifica como moderadamente inclinada, el cauce principal recorre 34.1 km. La red hidrográfica consta de 822 tributarios. Durante 2015 se registraron pocas lluvias, en comparación con los promedios históricos con los que se cuentan de la estación de Tres Picos (1976-2015), este resulta ser un año anómalo, obteniendo un gasto mínimo que muestra que la subcuenca registró escasez de agua, sin embargo, la demanda no excede la disponibilidad. La situación anterior puede cambiar si los años siguientes registran poca precipitación y por tanto deficiente recarga de los acuíferos. Se detectó que los pastizales y cultivos dominan la parte media y baja de la cuenca, mientras en la parte alta se encuentra selva caducifolia y bosque mesófilo relativamente conservado.

I. INTRODUCCIÓN

Los mayores cambios ambientales del planeta son debidos en gran parte a las actividades humanas. Estas transformaciones se vuelven cada vez más preocupantes ya que los recursos naturales van disminuyendo y la población aumenta casi exponencialmente. El agua dulce es el recurso más esencial para la vida del ser humano, de las demás especies y del conjunto de ecosistemas. Además, no podemos perder de vista que el mayor desafío de este siglo es proveer alimentos a toda la población del mundo. Por lo tanto, la escasez de agua nos puede conducir al hambre y la pobreza (Lasch-Thaler, 2006).

Desde tiempos inmemoriales, en el momento en que el agua dulce deviene un recurso escaso, el acceso y el compartir dicho bien se convierte en fuente de conflictos. A pesar de muchos esfuerzos a nivel de tratados entre países, la gobernabilidad y el acceso al agua es un tópico pendiente, complejo y sin superar (Pérez, 2013).

Hasta ahora, ha prevalecido la idea de cubrir todas las demandas por encima de cualquier necesidad, lo que ha llevado necesariamente a un incremento de la escasez. Dentro de la planificación hidrológica realizada por diferentes organismos de cuenca siempre se han destinado recursos y medios para infraestructuras (Greenpeace, 2005).

Un elevado porcentaje de las aguas presentan una considerable contaminación, y suelen pasar desapercibidos, excepto cuando afectan al abastecimiento humano o causan importantes mortandades de peces; pero comúnmente los gobiernos no hacen públicos los datos de contaminación, solo facilitan información sobre aspectos generales (Black, 2005).

La disponibilidad de agua en una región no es una cuestión sólo de cantidad; si la calidad del agua no es aceptable, esa agua no estará disponible para consumo. Y ese es el problema que más afecta a nuestras aguas superficiales y subterráneas. No hay agua, en parte, porque la que tenemos no está en condiciones de ser usada para consumo humano o riego. La política hidráulica a conducido a un aprovechamiento

insostenible, que se hace más evidente en periodos de sequía como las que se han registrado en los últimos años en muchas regiones del mundo, y sobre todo en el sureste mexicano (Greenpeace, 2005).

El agua por ser un recurso indispensable para el desenvolvimiento de todas las actividades humanas, ha adquirido cada vez más importancia económica, por lo que un balance entre disponibilidad vs. demanda, será determinante en el desarrollo socioeconómico de una región.

Los resultados de estos balances por lo regular permiten asumir medidas preventivas en torno al uso indiscriminado de los recursos indispensables y valiosos en el proceso de planificación y conservación hídrica, conllevando de este modo a un buen manejo del agua y por lo tanto a un armónico desarrollo de las actividades que dependen de esta, a través de la entrega de volúmenes adecuados a los usuarios, mediante una eficiente administración hídrica (Black, 2005).

Por otro lado, la transformación que el ser humano ha hecho de los ecosistemas ha provocado que la cantidad, calidad y temporalidad del agua disponible se vean afectados. Repercutiendo también en los patrones climáticos regionales de precipitación, el balance de los componentes del ciclo hidrológico, así como las características de la vegetación, suelo y subsuelo (Vörösmarty *et al.*, 2005). Las causas antropogénicas que contribuyen en la sobreexplotación, son aspectos necesarios tomar en cuenta en las cuencas, además del caudal ecológico, son también el estado de conservación del suelo y la vegetación, para poder implementar medidas preventivas que podrían beneficiar la conservación de los recursos hidrológicos y de las cuencas en su conjunto.

La evaluación de la disponibilidad de agua es un factor de importancia en el desarrollo de cualquier región por el papel que desempeña en las actividades productivas. Se considera que a nivel de cuenca o subcuenca los recursos hídricos no solo son resultado de condiciones climáticas, actualmente la demanda de agua para centros urbanos y actividades como la agricultura y la ganadería generan la necesidad de contar con una evaluación regional (Zalewski, 2002).

La figura de la sub-cuenca como una entidad cuya delimitación se da de manera natural, resulta muy conveniente para la caracterización tanto de actividades productivas como de procesos naturales, así como también de los actores que hacen uso de la región. Una problemática constante es la falta de información que permita tener certeza de las condiciones de disponibilidad y demanda hídrica (Faustino y Jiménez, 2000).

Si la distribución actual de caudales en la cuenca presenta armonía entre la oferta, demanda y el ecosistema acuático; o si, por el contrario, se debe redefinir dicha distribución en aras de encontrar el equilibrio requerido por los conflictos entre usuarios del recurso hídrico, teniendo en cuenta el reparto actual, las necesidades de los usuarios y el ecosistema acuático (Marini y Piccolo, 2000).

Los estudios sobre los procesos de cambio en la cobertura y uso del suelo se encuentran en el centro de la atención de la investigación ambiental actual (Bocco *et al.*, 2001), debido a las implicaciones que éstos conllevan con relación con la pérdida de hábitat, de diversidad biológica y servicios ambientales e hidrológicos.

Este estudio aporta información que servirá como base para conocer el estado de conservación actual y la disponibilidad del agua en la sub-cuenca del río Los Horcones y la demanda actual, con el fin de servir como soporte para lograr un buen manejo del recurso agua para la sustentabilidad de la cuenca. Además, los procedimientos teóricos y metodológicos utilizados pueden ser aplicados en otras cuencas costeras del estado.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Sub-cuenca y red hidrográfica

Una cuenca hidrográfica es el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un río principal, a un río muy grande, a un lago o a un mar (Visión Mundial., 2004b). Este es un ámbito tridimensional que integra las interacciones entre la cobertura sobre el terreno, las profundidades del suelo y el entorno de la línea divisoria de las aguas (Faustino y Jiménez, 2000).

La cuenca hidrográfica puede dividirse en espacios definidos por la relación entre el drenaje superficial y la importancia que tiene con el cauce principal. El trazo de la red hídrica es fundamental para delimitar los espacios en que se puede dividir la cuenca. A un cauce principal llega un afluente secundario, este comprende una subcuenca. Luego al cauce principal de una subcuenca, llega un afluente terciario, este comprende una microcuenca, además están las quebradas que son escurrimientos menores (Visión Mundial, 2004a)

Un afluente es un conjunto de microcuencas que drenan a un solo cauce con caudal fluctuante. Una cuenca o subcuenca se divide en tres zonas, parte alta: Corresponde generalmente a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros, limitadas en su parte superior por las divisorias de aguas. Parte media: Donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en donde el río principal mantiene un cauce definido. Parte baja: donde el río desemboca a ríos mayores o a zonas bajas tales como estuarios y humedales (Ordoñez, 2011). Esta división por zonas no solo resulta útil en el análisis del comportamiento de los diferentes componentes del balance hídrico, sino que también apoya en la delimitación de las zonas funcionales de la cuenca, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2003).

2.2. Esguurrimiento

El funcionamiento eco-hidroloógico de una cuenca se sustenta en un equilibrio frágil y dinámico, producto de la interacción entre sus componentes, incluyendo las acciones antrópicas (Cotler *et al.*, 2010). En el territorio de la cuenca se lleva a cabo parte del ciclo hidroloógico, por ello cualquier alteración en algunos de sus componentes modifica la dinámica de este ciclo.

El esguurrimiento es la parte de la precipitación que fluye sobre el terreno, o que va a partes subterráneas, y eventualmente, hacia mares u océanos (Bateman, 2007). Es necesario medir la cantidad de agua de las fuentes de abastecimiento, para saber la cantidad de población que puede hacer uso de este recurso. El aforo es la operación de medición del volumen de agua en un tiempo determinado, esto es, el caudal que pasa por una sección de un curso de agua. El valor del caudal mínimo debe ser mayor que el consumo máximo diario con la finalidad de cubrir la demanda de agua de la población futura. Lo ideal sería que los aforos se efectúen en las temporadas críticas de los meses de estiaje (los meses secos) y de lluvias, para conocer caudales mínimos y máximos (Castellón, 2014).

2.3. Disponibilidad de agua

El Organismo de Cuenca Frontera Sur – Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), señala que la disponibilidad del recurso hidroúlico es de 164 km³ (28,400 m³/ habitante / año), de los cuales solo 2 km³ son aprovechados. Comparando la disponibilidad nacional (480 km³), con la que se cuenta en la Región XI, se puede decir que esta región posee una alta disponibilidad del recurso, ya que ésta es igual al 30 % de la disponibilidad nacional (CONAGUA, 2009).

La disponibilidad natural de agua representa el volumen de agua neto por año existente en un territorio (CONAGUA, 2009). El agua es un recurso que se encuentra en el planeta en gran cantidad, sin embargo, en su mayor parte es agua salada y no es apta para consumo humano. El agua dulce presenta una situación crítica, la

competencia por este recurso ha aumentado, y la tendencia se acrecienta según aumentan las problemáticas mundiales (Gómez, 2005).

La disponibilidad de agua proporciona servicios básicos para el ser humano, resulta sorprendente que el 35% de la población del país se asiente en las partes bajas de las cuencas, a pesar que ocupan 19% del territorio nacional. En las partes bajas, la confluencia de los ríos aumenta su capacidad de almacenamiento y posibilita la realización de múltiples actividades productivas (Cotler *et al.*, 2010). Esta condición agrava los problemas de contaminación que presentan los ríos, lagos y acuíferos, y el cambio climático que se prevé modificarán los patrones de precipitación y temperatura actuales, repercutirá en el balance hídrico de las cuencas.

En la mayor parte del país el escurrimiento superficial es abundante en los meses de julio, agosto y septiembre; pero sí no se almacena, el agua escurre al mar y no puede ser aprovechada en los meses de marzo, abril y mayo. Por lo que el balance hidráulico anual no es suficiente por sí solo, para evitar la sobreexplotación de los cuerpos de agua en época de estiaje (Gómez, 2005).

2.4. Demanda de agua

La demanda de agua es la necesidad real de agua según las prácticas de uso actuales, es decir, según las técnicas de irrigación, eficacia del sistema, política de precios del agua, prácticas culturales actuales, estándares de vida, y otros (CHG, 2015). Esta demanda viene determinada por las necesidades de las actividades de los usuarios, cuantificar la demanda existente permite definir claramente las acciones de reglamentación. Por tal razón, su estructura obedece al conocimiento de la oferta y demanda hídrica (Sabas y Paredes, 2009).

El uso que se hace del agua va en aumento en relación con la cantidad de agua disponible. El principal uso del agua en México es el agrícola, el cual en términos de uso de este recurso nacional se refiere principalmente al agua utilizada para el riego de cultivos. La superficie en unidades agrícolas de producción fue de 30.22 millones de hectáreas para el año 2007, conforme al VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal,

cabe destacar que dicho censo encontró que el 18% de dicha superficie es de riego, y la superficie restante tiene régimen de temporal (CONAGUA, 2010).

El uso para abastecimiento público incluye la totalidad del agua entregada a través de las redes de agua potable, las cuales abastecen a los usuarios domésticos. El disponer de agua en cantidad y calidad suficiente para consumo humano es una de las demandas básicas de la población, pues incide directamente en su salud y bienestar en general (CONAGUA, 2010).

2.5. Vegetación y uso de suelo

En la escala temporal de décadas, las actividades humanas que impactan el uso de suelo son el factor clave en la forma que se generan los cambios del paisaje. Algunos de ellos son provocados por prácticas específicas de manejo y otros por las fuerzas sociales, políticas y económicas que controlan los usos de suelo (Medley *et al*, 1995)

Los cambios temporales en el paisaje inducidos por el hombre afectan tanto los procesos bióticos como los abióticos. En ese sentido, los cambios en la estructura y composición de la cobertura vegetal, los procesos de degradación de suelos o el sellamiento de la superficie por urbanización, alteran irremediamente las condiciones de infiltración, escurrimiento, percolación y evapotranspiración del agua. Además, dichos cambios modifican los parámetros ecológicos que determinan las variaciones naturales en las importaciones y exportaciones de sedimentos, nutrientes y compuestos químicos (Cotler *et al.*, 2010).

III. ANTECEDENTES

García y colaboradores (2014) realizaron una comparación de tres métodos para obtener la disponibilidad media anual, comparando los métodos propuestos por la NOM-011-CNA-2000 y un software llamado EVALHID, teniendo como marco de referencia aforos. El estudio concluye que el EVALHID se acerca más a los datos reales, sin embargo, la desventaja es la carencia de datos para su aplicación.

Salgado (2005) desarrolló el método de calibración del instrumental, el método de aforo y los algoritmos para determinar la precisión de los resultados. El método descrito permite el cálculo del caudal en una determinada sección de aforo de un arroyo, a partir de la simple lectura en una escala instalada en ella. Además, una estimación del error accidental en su magnitud, lo cual es aceptable en estudios de disponibilidad del recurso superficial en cauces muy pequeños, mientras que en caudales grandes este método no es aplicable.

Carlón y Mendoza (2007) realizaron el análisis hidrométrico de las estaciones de la cuenca del lago de Cuitzeo. Esta técnica ha sido ampliamente utilizada para probar aleatoriedad contra tendencias en los datos climáticos de las series de tiempo. El análisis de tendencia indica que la temperatura media en la estación de Morelia tiende a aumentar de manera significativa tanto sus valores mensuales como en el valor medio anual; mientras que Cuitzeo y Huingo tienden a reducir sus temperaturas en forma significativa. Para las precipitaciones anuales indica que las estaciones de Huingo y Jesús del Monte han presentado un aumento estadísticamente significativo.

En otro estudio Sabas y Paredes (2009) tomaron en cuenta las características biofísicas y puntos de interés o de control, identifican posibles pérdidas a lo largo del caudal por tomas clandestinas y factores naturales, por lo que recomiendan un monitoreo más continuo a lo largo del río, con el fin de minimizar la posibilidad de desabasto del recurso.

En relación a los estudios que abordan el aspecto de la demanda y la regulación por parte del estado del recurso hídrico se encuentra el realizado por (Arrache, 2011),

donde aborda los factores determinantes de la demanda, y considera los distintos usos y usuarios del recurso hídrico. Utilizando estos indicadores propone un modelo de gestión multidisciplinario y multicriterio para hacer más sostenible la actividad humana con respecto a la necesidad hídrica.

Santacruz (2007), concluye que la disponibilidad hídrica es independiente a la abundancia de agua que puede tener una cuenca, menciona que es necesario tener presentes las localidades existentes, sobre todo las rurales que carecen del servicio de agua potable o entubada y señala que esa carencia es consecuencia de la falta de inversión pública y que, en la aplicación misma, se favorece mayormente al sector urbano. La CONAGUA (2010) con base en el VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007 considera que el mayor uso del agua en México es para el sector agrícola, seguido por el uso en abastecimiento público.

Naranjo y Duque (2004) identificaron tres condiciones en la confrontación oferta-demanda de las unidades hidroeconómicas: superávit hídrico, déficit hídrico estacional y déficit hídrico permanente. Donde mencionan que los conflictos de uso del agua ocurren con mayor severidad hacia las partes bajas de las microcuencas, bien sea porque la cantidad de agua producida no es suficiente para satisfacer las demandas actuales o porque la calidad de las aguas es deficiente. El uso de mayor impacto es el riego, ya que consume las mayores cantidades de agua y genera una afección grave a la calidad de las mismas.

De acuerdo con las Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2008 el Estado de Chiapas cuenta con alrededor de 3 972 000 Ha con potencial productivo agropecuario, lo que coloca a la entidad en el décimo lugar a nivel nacional. De esta superficie el 77% tiene actividad agropecuaria y forestal que sitúa a Chiapas como el sexto lugar. La superficie de vegetación natural diferente al pastizal (sistemas silvícolas) es la que ocupa mayor parte del territorio para uso pecuario y forestal del Estado de Chiapas. La superficie enmontada o de agostaderos, más la de pastos no cultivados también tiene una importancia que suma el 27.16 % del total en el Estado.

El régimen de tenencia de tierra principal es el ejidal con el 54 % y la privada con el 39 %.

Ortiz *et al.*, 2010, realizaron un programa de ordenamiento ecológico territorial de la subcuenca del Río Zanatenco, Chiapas, México, enfatizando la importancia de implementar un desarrollo armonioso y equilibrado entre naturaleza y sociedad: priorizando una planeación participativa y recorridos de campo en el proceso de elaboración del modelo que se encuentra dividido en 14 unidades de gestión ambiental con políticas, criterios, lineamiento y usos de suelo para cada una ellas.

Girón (2010) llevó a cabo el estudio de los usos actuales del suelo agrícola en la cuenca alta del río Guacerique, implementando instrumentos de investigación de campo de forma estructurada (encuestas) y no estructurada (entrevistas) aplicadas a productores y grupos organizados en el sitio de estudio. Argumentando el inadecuado uso y manejo del suelo agrícola, evidenciando como avanza el deterioro de forma sistemática particularmente en las áreas más cercanas a las fuentes de agua en el entorno de una subcuenca.

Figuroa-Jauregui *et al.*, 2011, analizaron los cambios de uso del suelo y sus efectos sobre los procesos de degradación y los procesos hidrológicos en la cuenca endorreica de San Cristóbal de las Casas, en los Altos de Chiapas, México. Donde los usos de suelo de la cuenca se obtuvieron mediante la clasificación supervisada de imágenes del satélite LANDSAT de 1975, 1993 y 2000 y del satélite SPOT de 2009. La tasa anual de erosión hídrica la calcularon con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE, por sus siglas en inglés), y el volumen de escurrimiento medio anual por el método indirecto de precipitación-escurrimiento de la norma NOM-011-CNA-2000, para los cuatro años en estudio.

Nájera *et al.*, 2010, analizaron los cambios de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa, Nayarit, entre 1995 y 2005, a partir de la interpretación de ortofotos digitales y manejo de la información en un SIG. Los resultados muestran que el paisaje de la cuenca está dominado en 83.01% por la vegetación natural y tierras de cultivo. La dinámica de cambio está centrada en los tipos de cobertura “vegetación

natural” y “construcciones”, la primera disminuye a una tasa de 41.67 ha/año, y la segunda, aumenta 74.86 ha/año.

Beita (2008), realizó la caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón en la Península de Osa, Puntarenas, Costa Rica, concluye que las actividades humanas que se dan en la cuenca no han tenido un impacto negativo sobre la calidad del agua, más bien las concentraciones de los principales parámetros fisicoquímicos medidos, representan condiciones geogénicas de la cuenca, probablemente por la densidad poblacional.

En el estado de Chiapas dos de las cuencas mejor caracterizadas y que cuentan con planes de manejo son la del Río Zanatenco y el Río Tiltepec, además de estos hay estudios tendientes a evaluar los impactos climáticos como el realizado por Arellano y Ruiz (2018).

En la cuenca del Río Zanatenco, Graniel y Carrillo en 2006 realizaron un análisis de la calidad del agua, señalando las principales fuentes de contaminación y los altos niveles que hacen que el agua no sea apta para el consumo humano.

IV. HIPÓTESIS

La sub-cuenca del río Los Horcones posee una disponibilidad de agua que excede la demanda actual, debido a la poca población que habita en la subcuenca y al buen estado de conservación en que se encuentra.

V. OBJETIVOS

5.1.- General

Generar la red hidrográfica y la delimitación de la sub-cuenca del río Los Horcones, y estimar la disponibilidad y la demanda de agua, así como su estado de conservación.

5.2.- Específicos

Llevar a cabo la delimitación y la red hidrográfica de la sub-cuenca del río Los Horcones.

Cuantificar la disponibilidad y la demanda de agua de la sub-cuenca del río Los Horcones.

Elaborar un análisis de la deforestación en el periodo 1990 - 2015 de la sub-cuenca del río Los Horcones.

VI. ÁREA DE ESTUDIO

La sub-cuenca del Río Los Horcones se localiza en el Estado de Chiapas en el municipio de Tonalá, México, entre las coordenadas 16° 01'13" y 15° 49'48" latitud norte, 93° 28'35" y 93° 36'51" longitud oeste (Figura 1), pertenece a la Región Hidrológica Núm. 23, denominada Costa de Chiapas y que comprende 25 cuencas, en la vertiente del Océano Pacífico de la Sierra Madre de Chiapas (CONAGUA. 2010).

De acuerdo con el Censo Poblacional del Instituto Nacional de Estadística y Geografía 2010 (INEGI, 2010), en la sub-cuenca Horcones se encuentran seis localidades: **Benito Juárez (Nuevo Milenio)** con 212 habitantes, **Pino Suárez** cuenta con 85 habitantes, **El Bernal** con solo nueve habitantes, **Los Horcones** tiene seis habitantes, y **Los Olivos** y **San José** ambos con un habitante cada uno.

El terreno de la sub-cuenca está constituido por rocas metamórficas del precámbrico y paleozoico. Su topografía es accidentada, formando cañadas y pendientes pronunciadas. En cuanto a las características del suelo, este resulta ser delgado, escaso y pedregoso debido a lo accidentado del relieve y a lo pronunciado de las pendientes.

La región se ubica en las zonas hidrológicas Costa de Chiapas y Grijalva Usumacinta; y en las cuencas Río Pijijiapan, Mar Muerto, Río Huixtla y Río Grijalva La Concordia.

El municipio ocupa parte de la Reserva de la Biósfera la Sepultura, de la Zona de Protección Forestal La Frailescana, la parte de las regiones fisiográficas Sierra Madre de Chiapas y Llanura Costera del Pacífico. El 37.15% de la superficie municipal se conforma por **Llanura costera**; el 37.04% de **Sierra alta escarpada compleja**; el 15.04% de **Llanura costera inundable y salina**; el 7.05% de **Sierra baja escarpada**; el 3.67% de cuerpo de agua y el 0.04% de playa o **barra inundable y salina**. La región hidrológica RH-23, Costa de Chiapas, en la cual las condiciones abruptas de la sierra, originan múltiples escurrimientos que drenan el área en una red compleja de ríos y arroyos.

Estos inician muy cerca del parteaguas fusionándose hasta formar los arroyos, tributarios de los ríos principales que son: Jesús, Pedregal, Quetzalapa, Los Horcones, Pando, Agua Dulce, Guadalupe, Zanatenco, Amatillo, Tiltepec, Cristalino, Los limones y el Rito. Estas corrientes no desembocan directamente en el mar, sino en esteros como el San Francisco y Albuferas como Las Lagunas, La joya, Buenavista, La Polka, Cabeza de Toro, Capulín, Piñuelos y el Mar Muerto; Consejo Nacional de Población (CONAPO, 1994).

Por lo general el municipio presenta una mediana oscilación térmica diaria y anual. La radiación solar se deja sentir en casi todo el año, el clima existente en la región es cálido subhúmedo con lluvias en verano, cálido húmedo con lluvias en verano, semicálido húmedo con lluvias en verano y templado húmedo con lluvias en verano (INEGI, 2010).

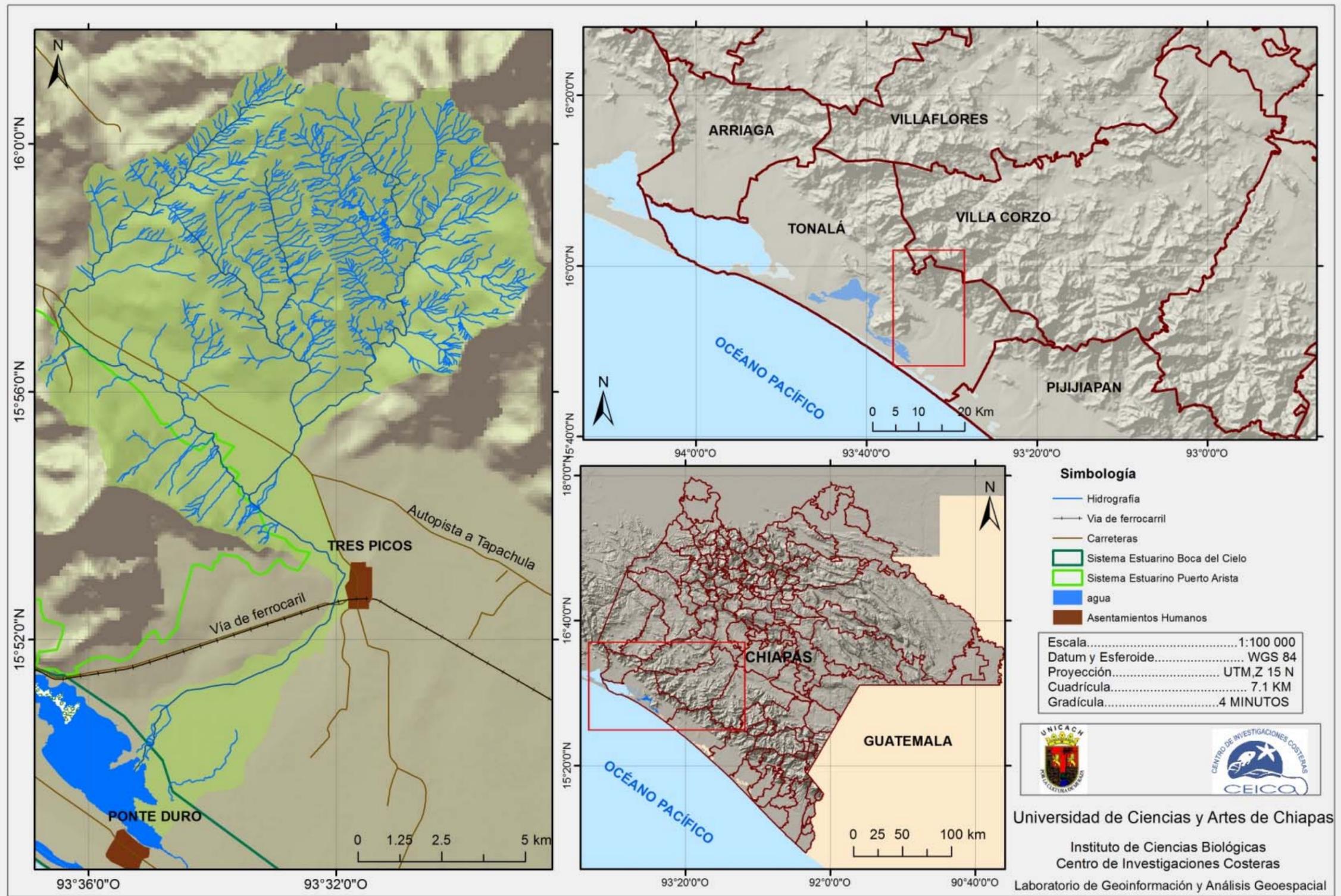


Figura 1. Ubicación de la sub-cuenca Los Horcones en la Región Hidrológica 23, Costa de Chiapas

VII. METODOLOGIA

7.1. Delimitación de la cuenca

Se delimito la zona de análisis generando la red de drenaje o corrientes superficiales por medio de rutas, visualizando el curso de agua principal y los tributarios que desembocan en el caudal utilizando como fuente las imágenes de satélite de alta resolución que se visualizan el software Google Earth. Se realizaron curvas de nivel cada 20 metros con el programa ArcGis 10.0 en la herramienta *Contour*, se generó la superficie *raster* obteniendo las isolíneas (en este caso el modelo digital dado) e indicándole el nombre y ubicación del archivo vectorial de curvas de nivel de 20 metros.

Después de realizar las curvas de nivel se transformó en presentación gráfica al formato KML en el software Quantum GIS, se desplegaron las curvas de nivel en el software Google Earth, continuando con la elaboración de una poligonal, produciendo un corte perpendicular a las curvas de nivel que pasan estrictamente por los puntos de mayor nivel topográfico, cuando la divisoria va aumentando su altitud, se cortaron las curvas de nivel por su parte convexa, cuando la altitud de la divisoria va decreciendo se cortó a las curvas de nivel por la parte cóncava como comprobación, la divisoria nunca corta una quebrada o río.

Después de obtener la delimitación y la red hidrográfica se obtuvo el área del perímetro en el programa ArcGis 10.0. Los parámetros como la pendiente media y la altitud del caudal principal se obtuvieron por el perfil de elevación en el software Google Earth.

7.2. Determinación del escurrimiento del caudal y de los afluentes que conforman el río de la sub-cuenca Los Horcones

Se identificaron 24 puntos de muestreo mediante el software Google Earth (Figura 2), estos puntos de muestreo se recorrieron durante dos salidas de campo en dos temporadas definidas por el estiaje en el mes de mayo y lluvia en el mes de octubre,

teniendo en cuenta criterios como la zonificación de la cuenca en tres partes, alta, media y baja considerando la conexión de tributarios.

Otro criterio que se utilizó para establecer los puntos de muestreo fue la georreferenciación, considerando que estos lugares concentran el caudal del cauce principal y los afluentes que lo alimentan. Se estimó la cantidad de agua de la subcuenca, con el método de aforo que consiste en la operación de campo que tiene como fin realizar el cálculo del caudal que escurre por una sección de un río.

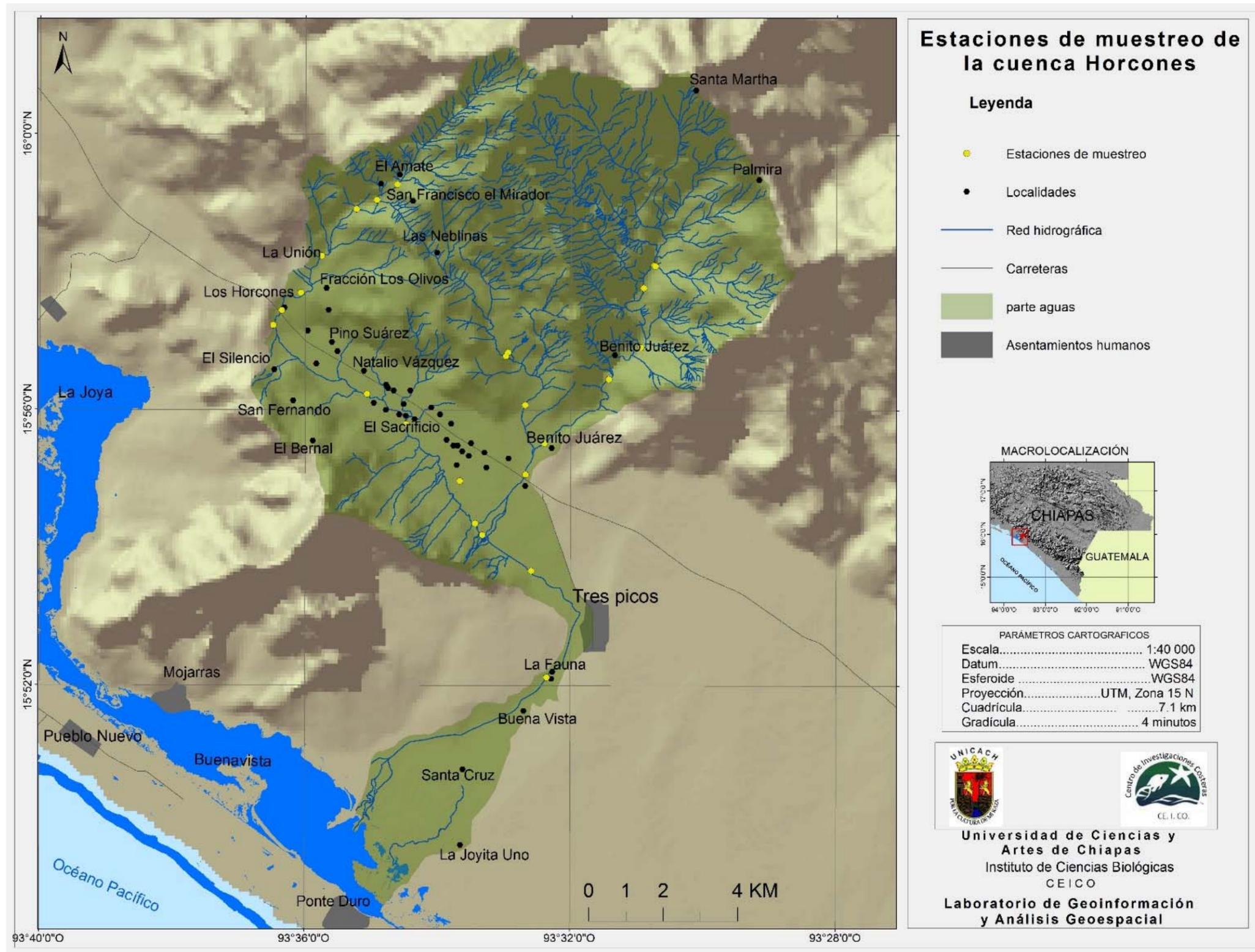


Figura 2. Puntos de muestreo en la red hidrográfica en la sub-cuenca del río Los Horcones.

7.3. Realización de aforos

Los métodos que se utilizaron son;

Sección de control: Es el más exacto, en especial para caudales bajos. Debe tener una sección de control en este caso es el caudal, donde se manifieste una energía específica, que es la mínima para escurrimiento del río, energía que se manifiesta por el tirante y la altura de velocidad. Esto produce el tirante crítico, que se puede provocar artificialmente en el cauce de un río, elevando el fondo del cauce, estrechando las márgenes de la sección, o combinando ambas modificaciones (Bonilla, 2014).

Con la ecuación $Q = C * L * H^{3/2}$, se puede calcular el escurrimiento del río, con C coeficiente de contracción del caudal, L ancho del caudal y H altura de agua.

Sección – Velocidad: Se determina la sección (S) y la velocidad del área (V) donde se afora. La sección se obtiene por medio de sondeos y la velocidad por flotadores o molinetes, donde se utiliza la fórmula general: $Q = S * V$ donde (Q) caudal = (S) sección * (V) velocidad. Esto permite el aforo de cursos de agua de variada magnitud: ríos, arroyos, canales, entre otros (Aparicio, 1992).

7.3.1. Base de datos de precipitación

Los datos se obtuvieron por medio de registros anuales y mensuales de la precipitación de las estaciones climatológicas que se encuentran en la sub-cuenca que son Los Horcones, La Tigrera y Tres Picos. Se realizó una evaluación de las series históricas de precipitación, para lo cual se calculó el coeficiente de correlación entre las series de tiempo observadas. También se realizaron análisis de los registros de precipitaciones previas a los muestreos en temporada de estiaje y lluvia.

7.3.2. Base de datos de evaporación y temperatura ambiental

Los datos se obtuvieron por medio de registros de la estación climatológica Tres Picos, debido que es la única estación que se encuentra habilitada analizando la evaporación mensual en el periodo 1976-2015, así como la temperatura ambiental mínima y máxima mensual del mismo periodo.

7.4. Determinación de la demanda y la accesibilidad de agua

Se cuantifico la demanda, integrando las actividades que requieren del recurso hídrico, mostrando su comportamiento y distribución en el tiempo para planificar su uso sostenible. El mayor volumen de agua se utilizó en las actividades agropecuarias; no obstante, el uso crítico tiene que ver con el abastecimiento de agua potable para la población. El cálculo de la demanda hídrica se estableció por medio de la aplicación de una encuesta utilizando el método aleatorio simple, este método de muestreo proporciona un punto de partida para una exposición de los métodos de muestreo probabilístico no porque sea uno de los métodos de muestreo más utilizados, sino porque constituyen la base de métodos de muestreo más complejos. Se utilizaron datos de INEGI, como número de habitantes por casa y distribución de ellas. A partir de la encuesta aplicada se recopiló información que fue básica para obtener el gasto de uso doméstico, agrícola y ganadero.

7.4.1. Uso doméstico

Para el uso doméstico se tomó en cuenta la fórmula aplicada otorgada por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2007).

$$Q_{med} = \frac{P * D}{86,400}$$

Que define:

Q_{med} : Gasto medio diario, l/s.

P: Población de diseño, número de habitantes.

D: Dotación, l/hab/día.

86 400: Segundos que tiene un día.

El gasto medio diario es la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades de la población en un día de consumo promedio.

Para el número de población se cuantifico el número de habitantes por casa.

Para la estimación de la dotación se tomaron cuatro aspectos que son: el consumo para beber, aseo personal, aseo del hogar y traspatio. Se promedió el gasto de cada uno. Al obtener el promedio total se dividió entre el número de habitantes (Valdez, 1990).

7.4.2. Uso agrícola

Para el uso agrícola se tomaron los siguientes datos; de acuerdo a la encuesta aplicada se obtuvo que el tipo de cultivo en la zona de estudio es el maíz, este cultivo es por temporada coincidiendo con las lluvias.

Considerando las características del cultivo y que depende de la temporada de lluvias, requiere de un breve periodo para crecer, desarrollarse y ser cosechado, pues se dice que toda agricultura de temporal tiene ciclo de vida corto y este puede ser muy variable durando de 4 a 6 meses.

Se aplicó una formula en donde se obtiene el gasto aproximado del uso agrícola:

(Núm. Hectáreas * Num. de plantas por hectárea) * (cantidad de agua que necesita una planta)

Para obtener el número de hectáreas se tomaron los datos de la matriz de cambio tomando en cuenta el área de la agricultura de temporal. Referente al número de plantas por hectáreas; las producciones generalmente se dan entre 85 y 100 mil plantas por hectárea (Lafitte, 1993). La cantidad de agua que necesita una planta; de acuerdo la literatura del manual técnico del maíz agua y riego realizado por la empresa Vía Rural Agro y Construcción, 2003 el total del ciclo, el maíz requiere 500 a 600 mm de agua al año por planta.

7.4.3. Uso ganadero

Las evidencias indican que existen un gran desconocimiento y desinformación sobre el uso de los recursos hídricos para la cría de ganado y su impacto sobre esos recursos. Para determinar el uso ganadero se tomó en cuenta la información de la Asociación Ganadera Local donde llevan un censo de la cantidad del ganado vacuno lechero, cárnico y doble propósito (carne y leche), esta información se cotejó con la encuesta aplicada, la actividad ganadera en zona de estudio se centra en la producción de leche, por lo tanto el consumo de agua es mayor; se determinó que del total del agua que consume el ganado, el 70% se extrae de jagüeyes, en conjunto se recopiló la cantidad del número de cabezas; para el número de litros por día que consume una vaca lechera se tomó de referencia del Manual de Calidad y disponibilidad de agua para los bovinos en producción del departamento técnico, Vidaurreta (2016) .

7.5. Parámetros Físicoquímicos

Los parámetros físicoquímicos indican las normas mediante las cuales debe procederse para la determinación de los mismos. Se determinaron varios parámetros; temperatura, pH, oxígeno disuelto. Estos parámetros fueron tomados con un multiparámetro YSI, el muestreo se realizó en a lo largo del cauce del río tomando en cuenta las tres partes de una cuenca (alta, media y baja). Para el análisis de los datos se determinaron promedios para ver la variabilidad y la correlación que se presenta a lo largo de la sub-cuenca.

7.6. Uso de suelo y vegetación

Para el análisis de uso de suelo y vegetación, se descargaron imágenes satelitales del área de estudio, las cuales se obtuvieron del satélite Landsat-5 para el año 1996 de la escena 22-49, se conforma de siete bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros y, para el año 2015 se utilizó una imagen multiespectral Landsat 8 de la escena 22-49 que contiene bandas multiespectrales 1-7, 9 son de 30m, la banda 8 que es la pancromática de 15 metros y la bandas 10 y 11 recogida a 100 metros pero remuestreada a 30 metros para homogenizar con las otras bandas, adquiridas

gratuitamente de la página EARTHEXPLORER.USG. Se procedió a desplegarlas en el software ERDAS IMAGINE 11, se realizó el *LayerStack* para obtener una imagen multiespectral, con todas sus bandas unidas, posteriormente se hizo un recorte del área de estudio y se guardaron los archivos de cada escena.

Se realizó una clasificación supervisada con 10 clases, promediadas con cuatro campos de entrenamiento cada una, tomadas de las categorías de INEGI, realizando una revisión con ayuda de imágenes de alta resolución, para detectar posibles confusiones en la clasificación; para las clases que se confundieron se re-clasificaron a las clases que pertenecen, aplicando un filtro 3x3.

En el software Arcgis 10, la clasificación obtenida del año 1996 se convirtió a polígonos con la opción conversión *tool* “de *raster* a polígono”, el cual permite la edición para la modificación de los polígonos y de los atributos de cada uno (nombre de la categoría y área); de esta forma se realizó para el año 2015. Posteriormente se plasmaron los polígonos en el software *Google Earth* para revisar los vértices de cada clase; se realizó una validación de campo bajo la clasificación obtenida.

Con base en los resultados de la validación de campo fue necesario considerar cambios que permiten mejorar la información permitiendo un proceso de actualización mediante la reclasificación y recodificación de los polígonos. Se prosiguió a la elaboración del mapa de cambios mediante un *intersect* (sobreposición) de mapas de ambas fechas para controlar explícitamente la referencia espacial de salida (sistema de coordenadas y dominios), se invalidaron las propiedades de referencia utilizando los entornos de geoprocetamiento; se proyectó a UTM para hacer los cálculos de área, posteriormente se exportó a Excel, generando así la tabla dinámica o también llamada matriz de cambio.

VIII. RESULTADOS

8.1. Delimitación y red hidrográfica de la sub-cuenca del Río Los Horcones

La sub-cuenca registró una altitud máxima de 2,060 msnm, el cauce principal presenta una longitud de 34.1 Km, con una pendiente media de 5.8% lo que la cataloga como moderadamente inclinada. El área de la sub-cuenca se cuantificó en aproximadamente 17,600 ha (176 km²), que comprende desde el parteaguas de la parte alta, hasta su vertiente y desembocadura del río en la Laguna Buenavista.

Las corrientes de la sub-cuenca Río Los Horcones tienen su origen en la vertiente del Pacífico de la Sierra Madre de Chiapas, formando una amplia red de cauces que fluyen con dirección suroeste hacia la planicie costera (Figura 3).

En su margen izquierda, el río Los Horcones recibe las aguas del río Pedregal de 18.5 km de longitud y al cual desembocan en el río San José con 9.5 km y el río Yerbasanta con 6.0 km, que son caracterizados como perennes; con estos tres afluentes se retroalimenta el cauce principal del Río Los Horcones.

Finalmente, la corriente principal del Río Los Horcones vierte parte de su caudal en humedales deltaicos y posteriormente desemboca en la parte noreste de la Laguna Buenavista, esto debido a su rectificación del cauce en años recientes.

En la caracterización de la sub-cuenca se determinó la existencia de una red de 822 tributarios secundarios, de los cuales el 90 % son afluentes intermitentes, ya que tienen agua durante gran parte del año, principalmente en época de lluvias, también se encontró la presencia de 30 tributarios de característica efímera, los cuales se originan por desbordamientos en avenidas anómalas (Figura 4).

Hidrográficamente la zona alta de la sub-cuenca se caracteriza por tener un drenaje superficial tipo dendrítico y de pendiente pronunciada hasta de 40%. La parte media de la sub-cuenca registra pendientes menos pronunciadas (<15%).

En la cuenca baja se presentan pendientes menores a 1.7%, encontramos sedimentación y erosión, son notables los meandros y se observa una desembocadura tipo delta, producto de los sedimentos acumulados arrastrados por el río, al producirse una disminución brusca de la velocidad del flujo, que puede ser causada por su desembocadura en la laguna costera.

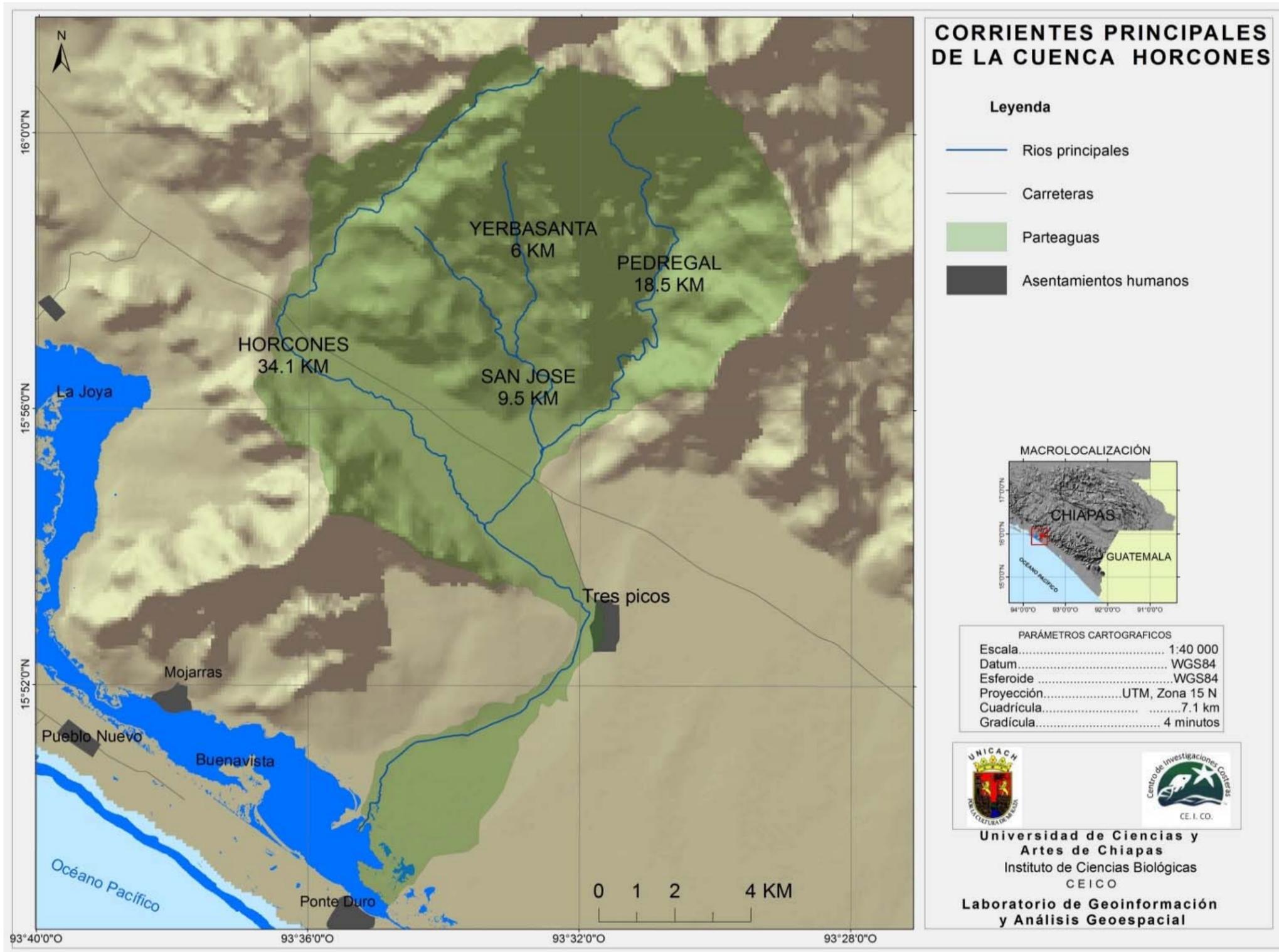


Figura 3. Caudal y afluentes principales del río Los Horcones.

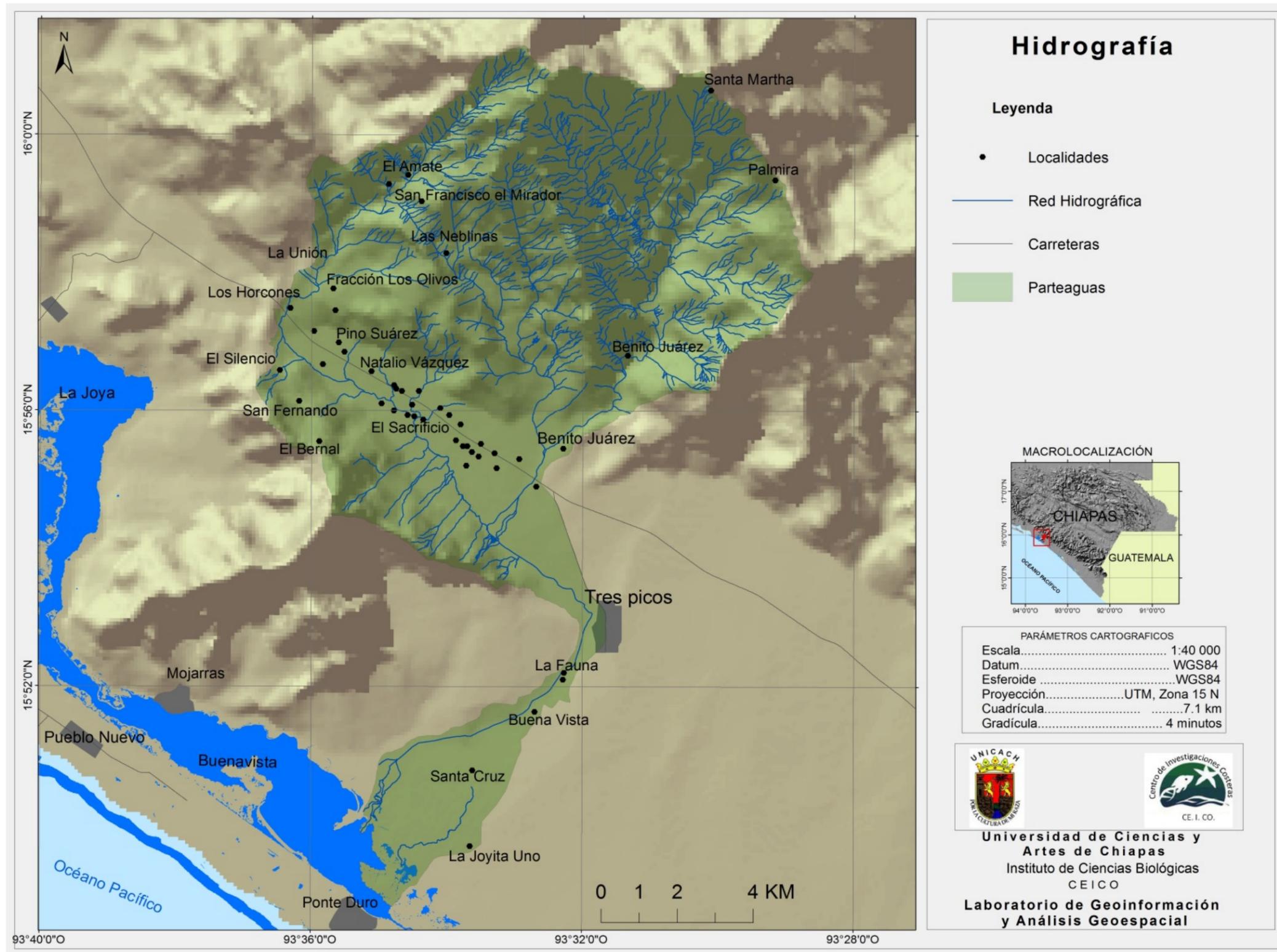


Figura 4. Red de tributarios intermitentes y efimeros de la sub-cuenca del río Los Horcones.

8.2. Disponibilidad de agua

8.2.1. Esgurrimiento

En el análisis para la determinación de los esgurrimientos de la sub-cuenca, a lo largo del periodo de estiaje en el mes de mayo, el mayor volumen se registró en la estación 1 localizada en la parte alta de la cuenca, con una disminución del gasto ordinario conforme se desciende hasta encontrar puntos críticos en los que no se encontró esgurrimiento a nivel superficial. En contraste durante la temporada de lluvia en el mes de octubre se obtuvo un mayor volumen en la estación 12, donde se une el Río Los Horcones con el afluente Río Pedregal, y el volumen mínimo en la estación 10 tomando en cuenta la topografía y el relieve (Figura 5).

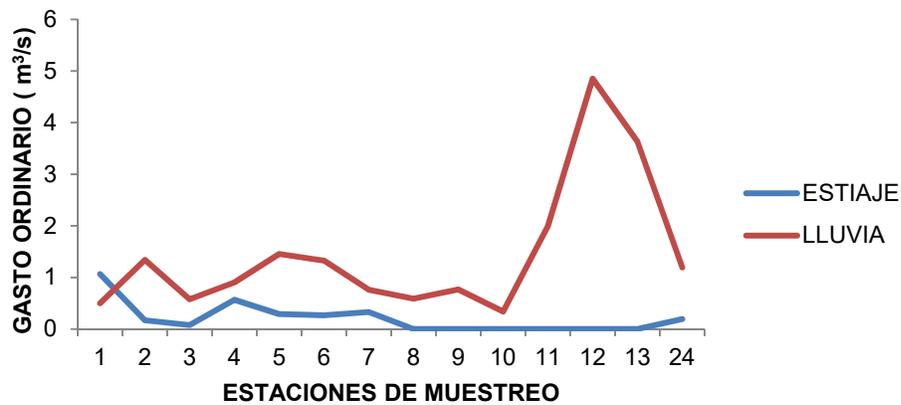


Figura 5. Esgurrimiento superficial en el caudal principal del Río Los Horcones en periodos de estiaje y lluvia.

Se presenta la precipitación previa al muestreo en temporada de estiaje (Figura 6), donde se obtuvo una precipitación de 18.4 mm, esto justifica el gasto que se obtuvo en la estación 1 (Figura 5).

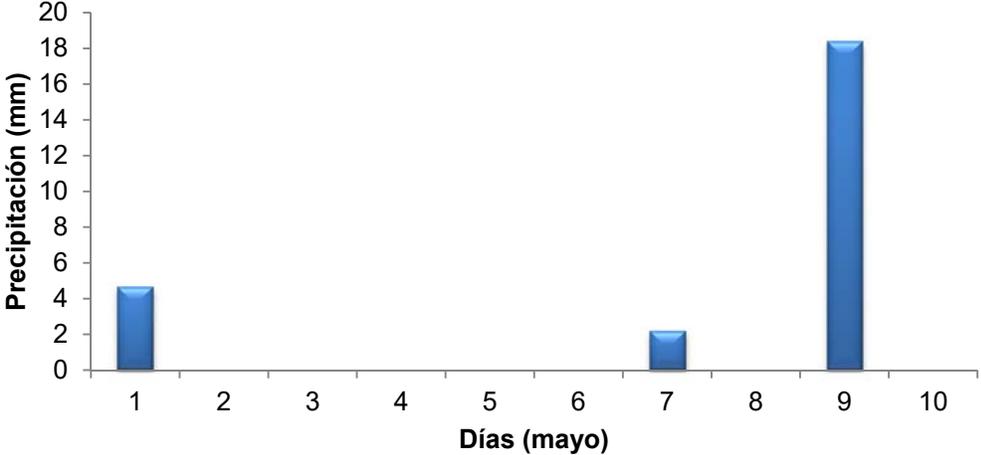


Figura 6. Precipitación previa al muestreo en temporada de estiaje.

Se obtiene la precipitación previa al muestreo del mes de octubre temporada de lluvia (Figura 7), en ese lapso de tiempo, se obtuvo una máxima precipitación de 14.3 mm, corresponde al gasto obtenido 4.85 m³/s.

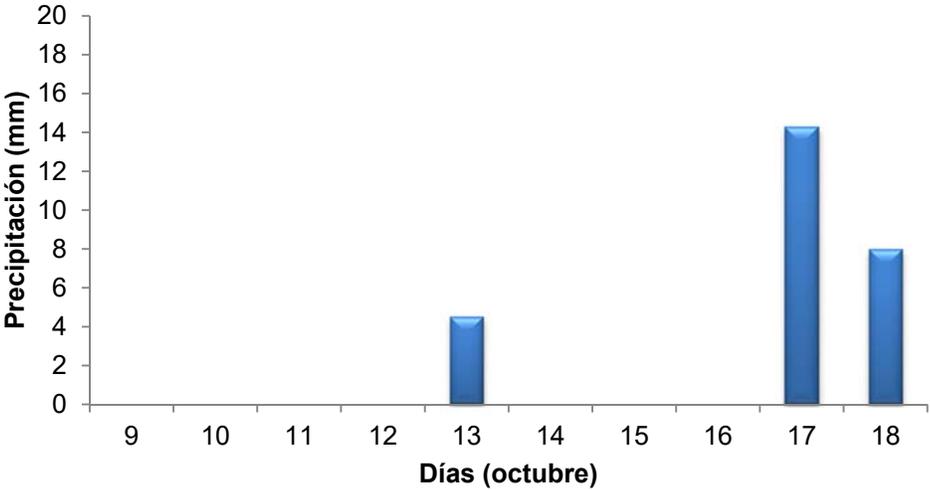


Figura 7. Precipitación previa al muestreo en la temporada de lluvias.

Como se señaló anteriormente el cauce principal de la sub-cuenca es el Río Los Horcones y el cauce secundario el Río Pedregal con los que se determinó el gasto de los afluentes principales que contribuyen al gasto ordinario total, hay que resaltar el hecho que aportan poco gasto ordinario (menos de 1 m³/s), incluso durante el periodo de lluvias, y menos de 0.3 m³/s durante el periodo de estiaje (Figura 8). Por otro lado, los ríos San José y Yervasanta tampoco aportan mucho, registrando un gasto máximo de 0.3 m³/s durante los diferentes periodos muestreados.

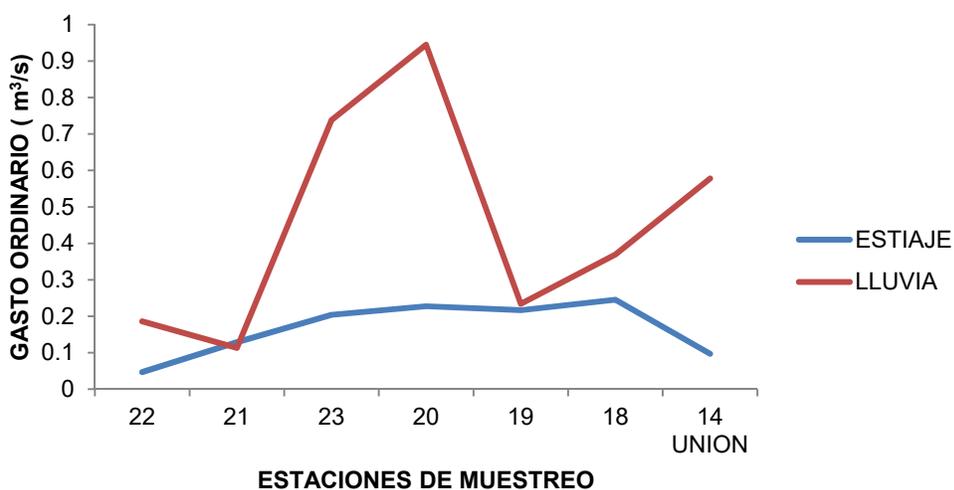


Figura 8. Esguerriminto superficial afluente Río Pedregal en periodos de estiaje y lluvias.

8.2.2. Precipitación

Utilizando los registros de la estación climatológica Los Horcones del periodo 1965 - 2010 (Figura 9), el análisis de la precipitación anual muestra el año de 1998 como el de mayor variabilidad, donde la máxima fue de 1 311 mm, teniendo una mínima de 10 mm, en el caso de las lluvias anómalamente intensas fueron provocadas por un fenómeno natural, una depresión tropical llamada Javier que fue en el año 1998. El resto del periodo se comporta con valores relativamente constantes donde la máxima es de 846 mm y la mínima 55.29 mm sin diferencias significativas.

En la precipitación promedio mensual de la estación climatológica Los Horcones para el periodo 1965-2010 (Figura 10), se observa una variabilidad marcada por dos periodos, el de estiaje (noviembre-abril) y el de lluvia (junio-septiembre), y dos meses que se podrían considerar transicionales, mayo en el cual se pueden presentar lluvias aisladas y octubre que se registran valores de lluvias torrenciales provocadas por huracanes y se alterna con el inicio de los vientos del norte.

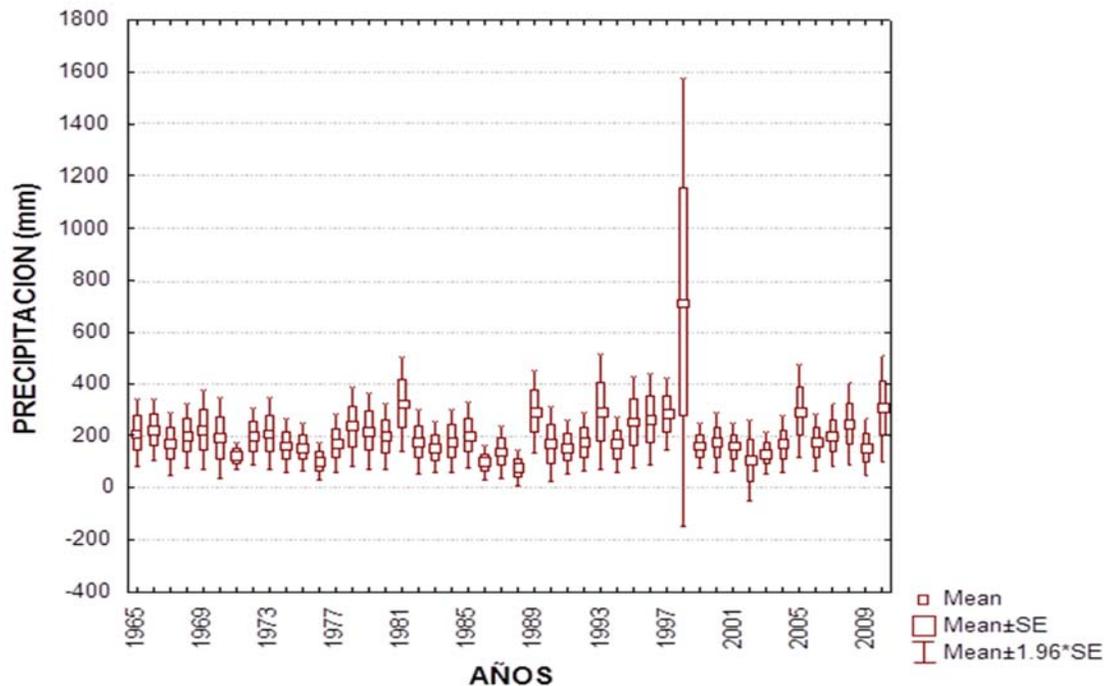


Figura 9. Variación anual de precipitación de la estación climatológica Los Horcones periodo 1965-2010.

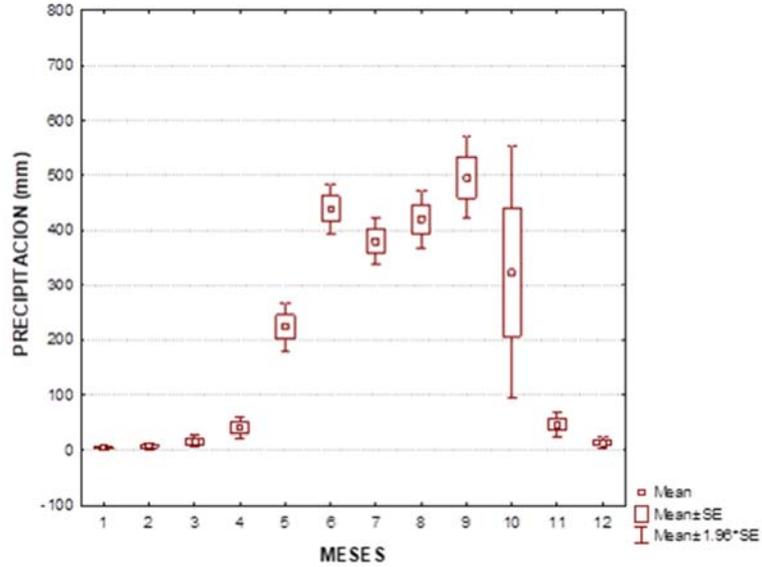


Figura 10 Variación mensual de precipitación de la estación climatológica Los Horcones periodo 1965-2010.

La estación climatológica Tigrera operó durante el periodo 1962-1975 (Figura 11) sobresale el periodo 1963 - 1969, estos son años en los que se evidencia una cantidad escasa de lluvia teniendo una precipitación máxima 789 mm y una mínima de 1.4 mm, en contraste los demás años del 1970 al 1975 y 1962 presentan valores con una mínima de 2 mm.

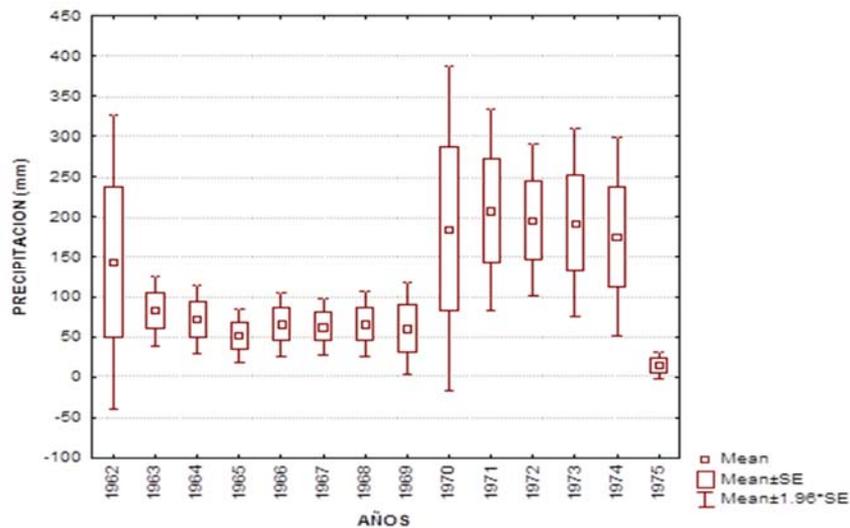


Figura 11 Variación anual de precipitación de la estación climatológica Tigrera periodo 1962-1975.

En los registros mensuales existentes de la estación climatológica Tigrera del periodo 1962-1975 (Figura 12) se observa que la época de mayor precipitación se presenta en el periodo de junio a septiembre con un intervalo de 242.94 mm que evidencia un comportamiento muy similar, resalta el mes de octubre con un comportamiento que presenta valores 171.45 mm, muy variables, el resto de los meses registran poca precipitación, siendo el mes más seco enero.

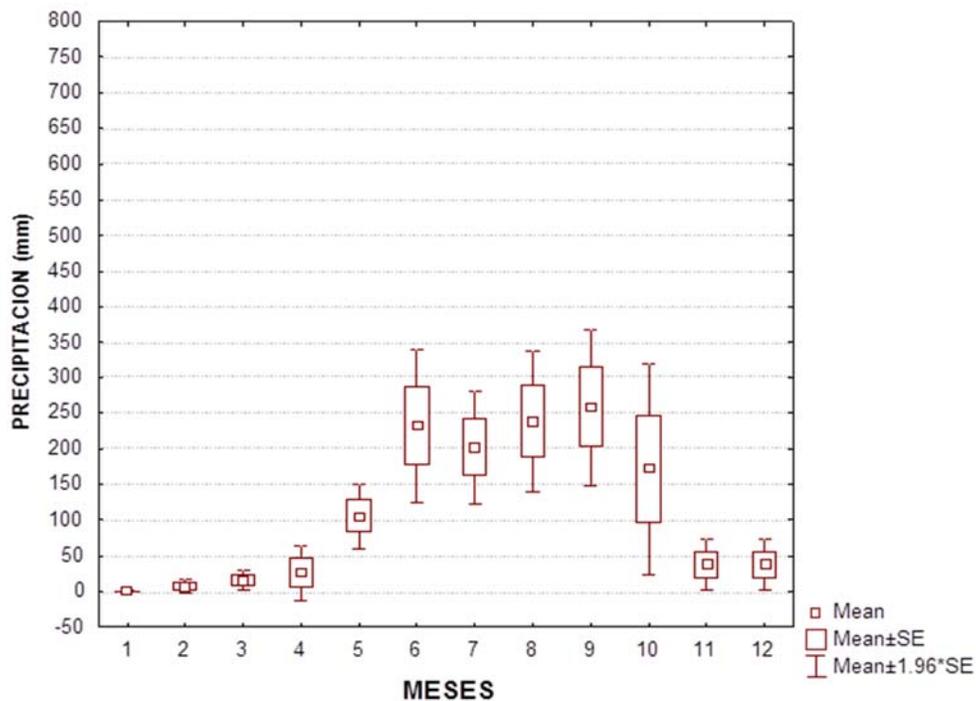


Figura 12. Variación mensual de precipitación de la estación climatológica Tigrera periodo 1962-1975

La serie histórica de precipitación en la estación climatológica Tres Picos comprende el periodo 1976-2015. Es la más completa con la que se cuenta en la región; sin embargo, en los años del 2007 y 2013 la estación dejó de funcionar varios meses. De manera general se observa una ciclicidad de años con menor cantidad de precipitación, y años donde las lluvias fueron torrenciales. Al final de la serie la variabilidad se incrementa y sobresale el año de 2010, en el que hubo una mayor precipitación esto fue a causa del huracán Stan, ocurrido durante el mes de septiembre, los demás años tienen poca variación (Figura 13).

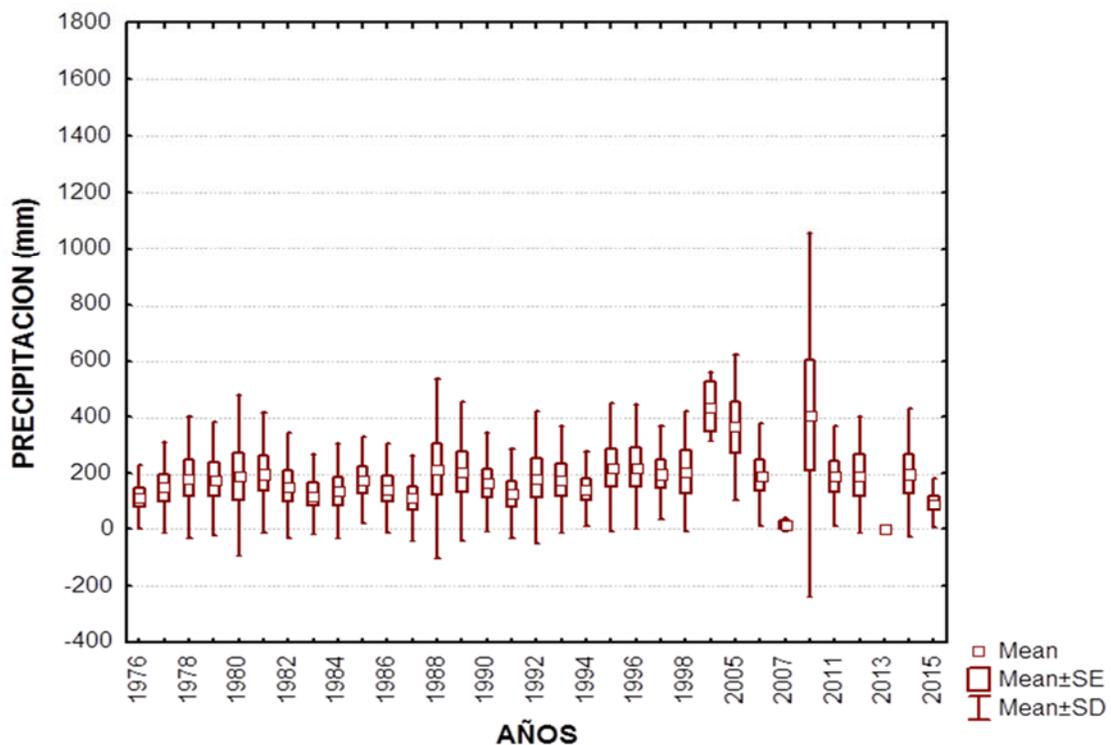


Figura 13. Variación anual de precipitación de la estación climatológica Tres Picos del periodo 1976-2015.

Los registros mensuales de la estación climatológica Tres Picos del periodo 1976 al 2015 (Figura 14), presentan variaciones entre los meses. Dando así dos temporadas de estiaje y lluvias; sin embargo, mayo puede ser aún más significativo, cuando las precipitaciones se prolongan hasta el mes de junio, de lo contrario, el mes más crítico se observa que es abril. La temporada de lluvias tiene

una duración de varios meses, mismos que van del mes junio hasta septiembre, dando un promedio de 396.215 mm de lluvia en esa temporada.

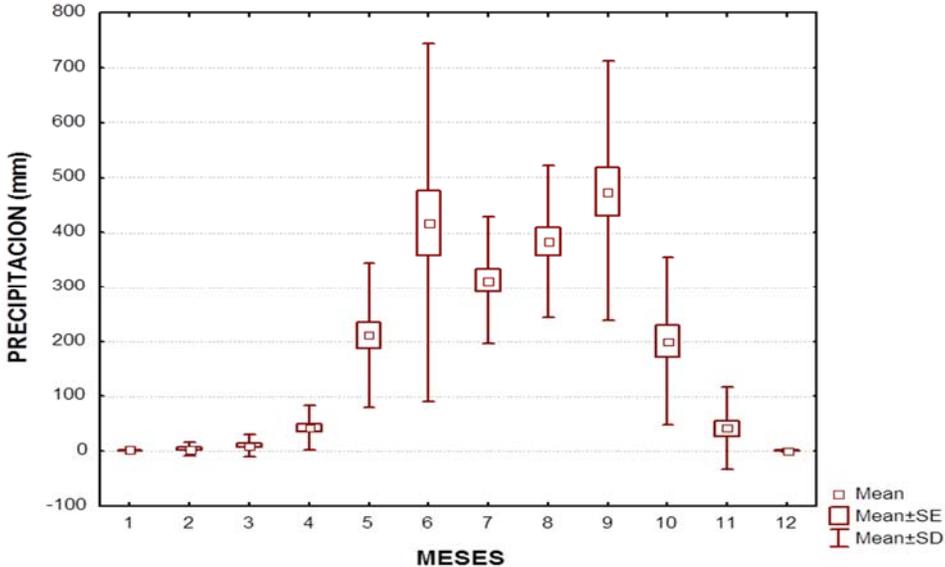


Figura 14. Variación mensual de precipitación de la estación climatológica Tres Picos del periodo 1976-2015.

El promedio de precipitación que se obtuvo en el año 2015 (Figura 15), tomando en cuenta la estación climatológica Tres Picos, fue de 93.72 mm, debido a que registró una mínima variabilidad entre las temporadas de estiaje y lluvia en el año 2015, este promedio contrasta con los años anteriores, donde se presenta una diferencia en la temporada de lluvias con una mínima precipitación en los meses de mayo hasta octubre, en la temporada de estiaje no hay una diferencia en si, por lo que se mantiene, solo en el mes de abril se calculó un promedio de 58.5 mm, alcanzando una precipitación mayor a diferencia de otros años previos.

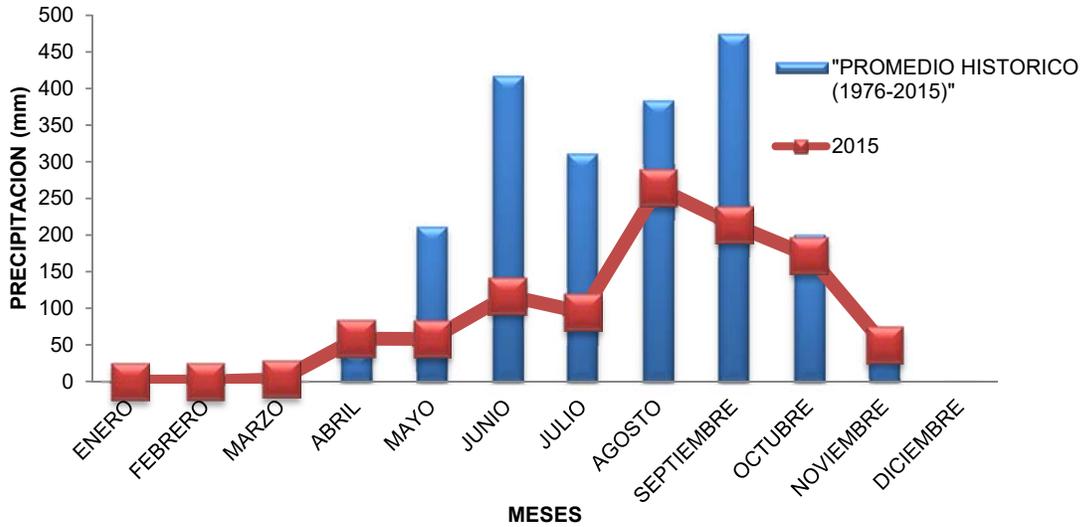


Figura 15. Precipitación media mensual registrada en la estación climatológica Tres Picos.

8.2.3. Evaporación

En la estación climatológica Tres Picos se analizó la evaporación mensual en el periodo 1976-2015 (Figura 16), se observa durante la época de estiaje que el promedio de evaporación del año 2015 fue mayor al que se registra históricamente, en contraste con la época de lluvias donde ambos periodos coinciden en la mayoría de los meses.

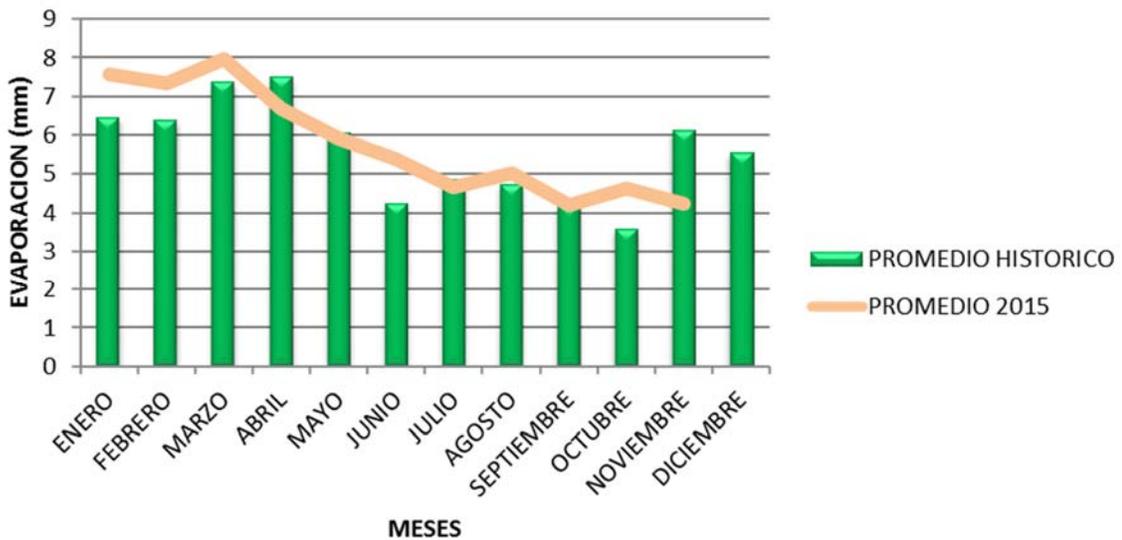


Figura 16. Evaporación media mensual registrada en la estación climatológica Tres Picos.

8.2.4. Temperatura ambiental

Se analizó la temperatura ambiental mínima y máxima mensual del periodo 1976-2015 (Figura 17), se observa en la Figura 17 A, la temperatura mínima en el mes de febrero de 2015 fue de 20.98 °C, comparando con el promedio histórico es más baja, mientras que el resto del año presentó valores más altos al promedio registrado, la temperatura máxima se observa en la Figura 17 B, en ella se observa que durante el mes de marzo del año 2015 se presentó la más alta que fue 36.47 °C y corresponde a la temporada de estiaje donde hay una mayor insolación.

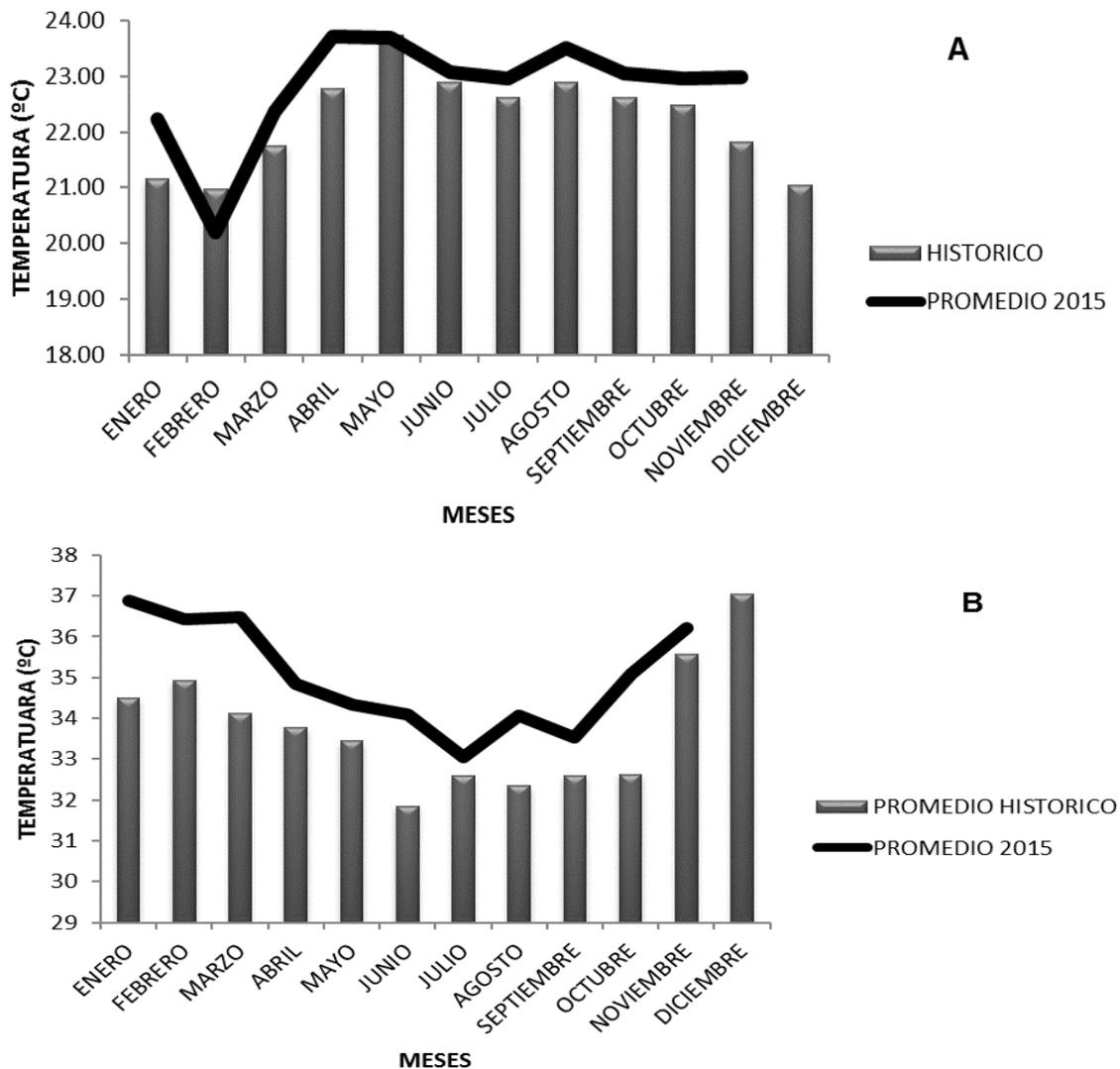


Figura 17. Temperatura ambiental mínima “A” y máxima “B” Media mensual registrada en la estación climatológica Tres Picos

8.3. Demanda de agua

8.3.1. Uso domestico

Referente a la demanda de agua, según las encuestas levantadas en las comunidades que se encuentran en la sub-cuenca (Figura 18), para el uso doméstico el mayor gasto se registra en el aseo del hogar (trapeado, lavado de ropa, trastes, lavado de baño) con 18 198 litros por día, el aseo personal ocupa el segundo lugar con un gasto 16 751.50 litros, por día mientras que el consumo para beber y el uso de traspatio, registran un promedio de 44 066.50 litros por día, la suma de los usos anteriores muestra que la demanda de agua es de una dotación por cada habitante de 103.44 litros por día. Con estos datos podemos decir que en un año el gasto en uso doméstico es de 16 084 272.50 litros.

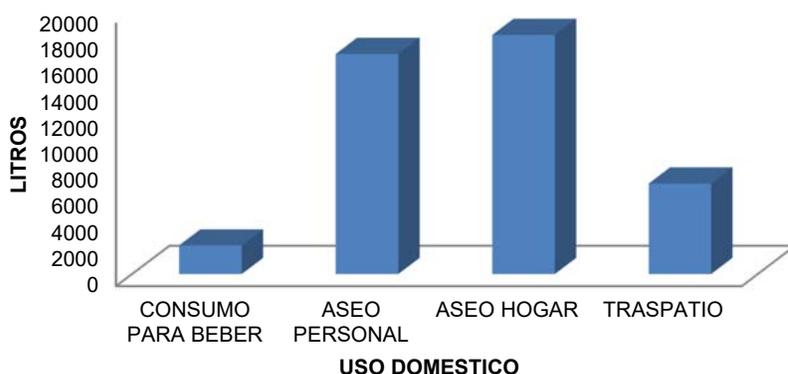


Figura 18. Tipo de uso de agua: Uso doméstico

8.3.2. Uso ganadero

Para el uso ganadero referente al manejo de animales domesticables con fines de producción para su aprovechamiento, esto va relacionado a la raza vacuna (Tabla I) y al producto final que se quiere obtener, en el caso de la sub-cuenca del río Los Horcones, la producción está dedicada a la leche de ganado bovino, registrando un consumo de agua de 74 litros por día por cabeza de ganado, considerando este dato, se hace una estimación que anualmente el gasto ganadero es de 13 856 130 litros.

Tabla I. Tipo de uso de agua: Uso ganadero

NÚMERO DE CABEZAS (BOVINO)	CONSUMO L/DIA/VACA	TOTAL DE AGUA CONSUMIDA (LITROS)	TOTAL DE AGUA ANUAL (LITROS)
513	74	37 962	13,856,130

8.3.3. Uso agrícola

Para el uso agrícola depende de un suelo fértil que permita el crecimiento y desarrollo de diferentes tipos de cultivo, que sean luego cosechados y utilizados por el hombre. La producción agrícola en la sub-cuenca Los Horcones se enfoca principalmente al cultivo de maíz, utilizando la técnica de cultivo por temporal, aprovechando las lluvias que se dan en la región, se calculó un consumo de 893 400 000 litros anualmente, con base en los datos que se muestran en la Tabla II

Tabla II. Tipo de uso de agua: Uso agrícola

HECTÁREAS DE CULTIVO DE MAÍZ	PLANTAS POR HECTÁREA	CANTIDAD DE AGUA POR PLANTA (TODO EL CICLO DE LA PLANTA)
14.89	100,000	600 mm

En la cuantificación de la demanda de agua se integran las actividades que requieren el recurso hídrico, que son el doméstico, ganadero y agrícola, la diferencia en las cantidades utilizadas se muestra en la figura 19, el uso agrícola es el que más demanda este recurso, en la sub-cuenca Los Horcones con un 96.75 %, el uso doméstico con un promedio de 1.74 % y el ganadero con 1.50 %. Estos usos conllevan a un porcentaje mínimo 0.36%, en el total de agua que se encuentra en la sub-cuenca dado así un porcentaje 99.64%.

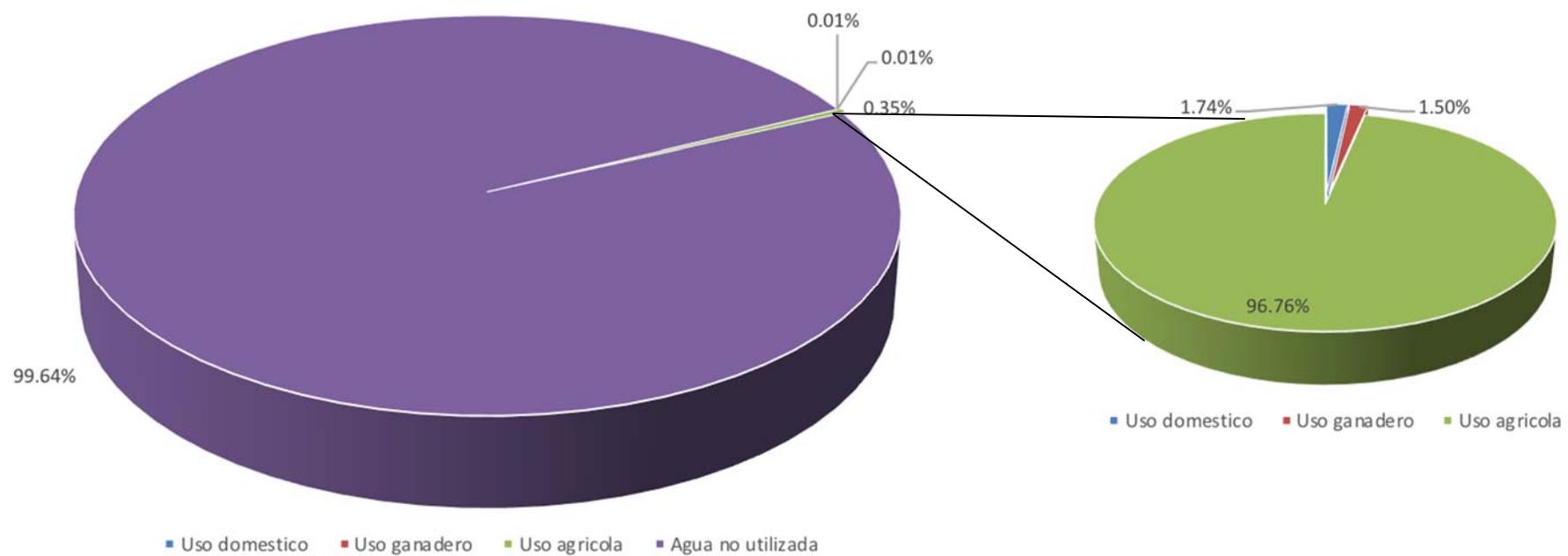


Figura 19. Tipos de uso del agua

8.4. Parámetros fisicoquímicos

8.4.1. Temperatura superficial

La temperatura superficial de los afluentes de la sub-cuenca Los Horcones (Figura 20) registra un promedio en temporada de estiaje con 28.91 °C y de lluvia 27.56 °C. Los cambios de temperatura presentan variaciones en toda la sub-cuenca, en la parte alta se presentó la mínima temperatura de 23.5 °C, y la máxima en la parte baja 33.6 °C, la parte media tiene una variación muy mínima resultando un promedio 28.53 °C.

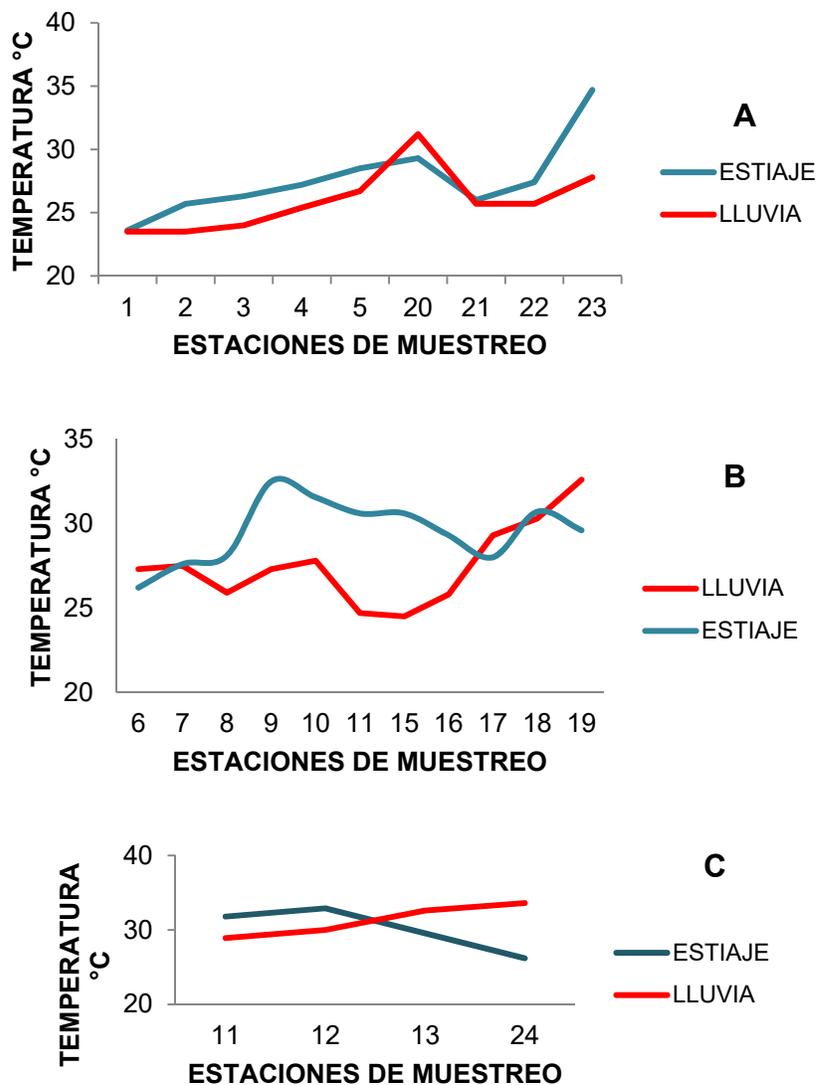


Figura 20. Temperatura superficial "A" parte alta, "B" parte media y "C" parte baja, de los afluentes de la sub-cuenca del río Los Horcones.

8.4.2. Potencial de hidrogeno (pH)

Los valores del pH varían durante las dos temporadas (Figura 21), obteniendo un promedio en estiaje 7.78 y lluvia 8.18. En la parte alta se obtiene un promedio de 8.21, en la parte media 7.84 y parte baja 7.58, por lo tanto, no hay mucha varianza entre sí, está comprendido que en toda la sub-cuenca relativamente los valores registrados se consideran normales para un agua con tendencia a la alcalinidad y determinada por el tipo de materiales existentes en el lecho del río, como la arcilla, limo y arena.

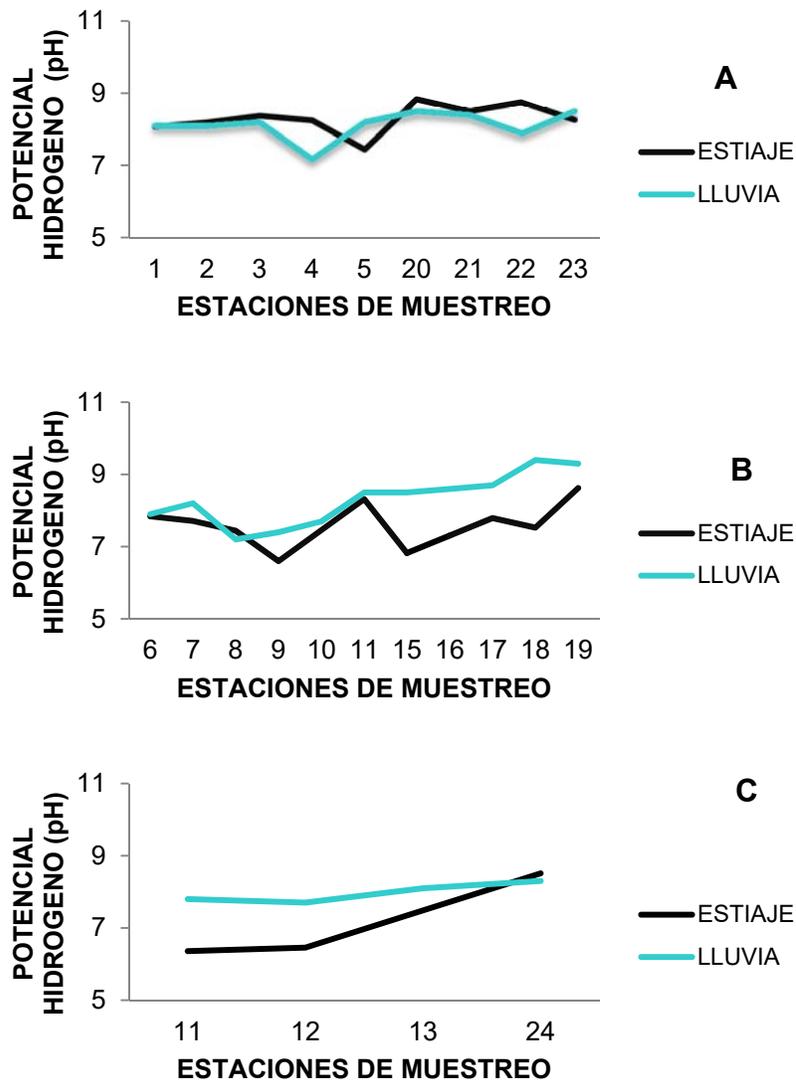


Figura 21. Comportamiento del pH, "A" parte alta, "B" parte media y "C" parte baja, de la sub-cuenca del río Los Horcones.

8.4.3. Oxígeno disuelto

Para la sub-cuenca del río Los Horcones el oxígeno disuelto (Figura 22), el valor promedio obtenido durante la temporada de estiaje fue 5.16 mg/l y el de lluvia 3.99 mg/l. Así mismo en la parte alta se obtuvo un promedio 5.55 mg/l, parte media 3.76 mg/l y baja 4.62 mg/l.

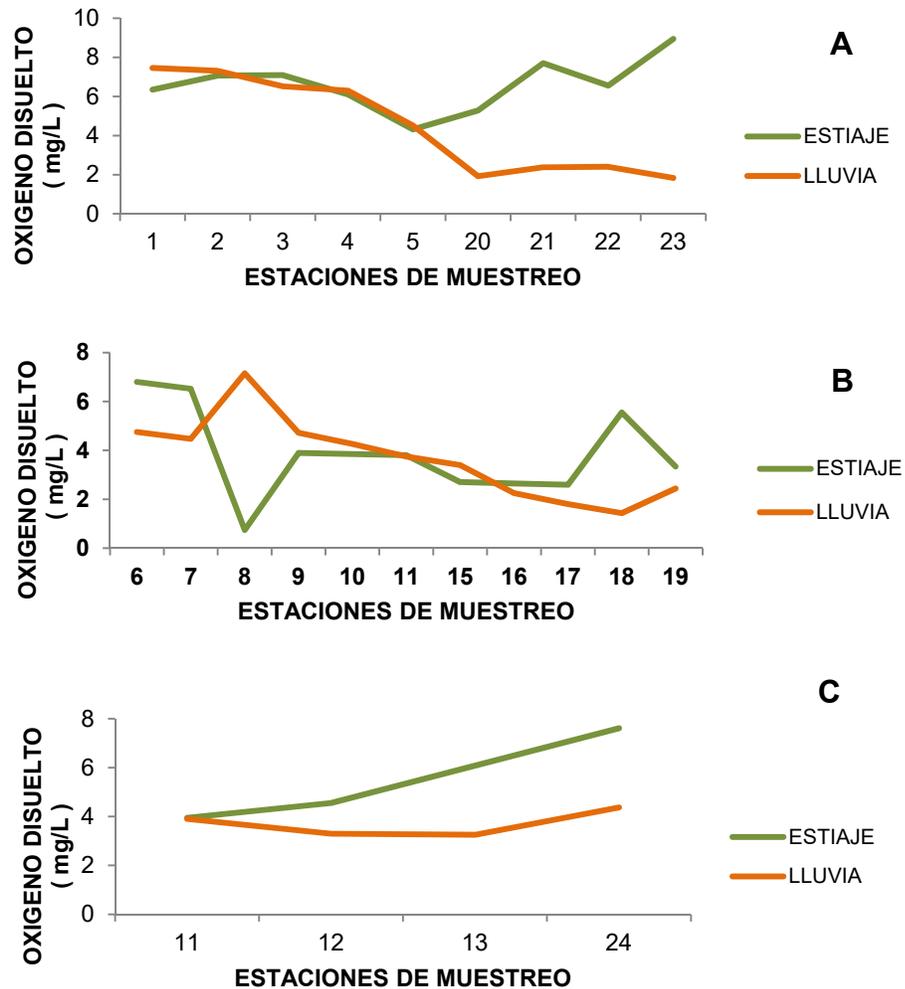


Figura 22. Comportamiento del oxígeno disuelto, “A” parte alta, “B” parte media y “C” parte baja, de la sub-cuenca del río Los Horcones.

8.5. Uso de suelo y vegetación

El año de 1996 para la sub-cuenca del río Los Horcones, registrados usos de suelo y cuatro tipos de vegetación (Figura 23). Las coberturas dominantes son las de uso antrópico y se localizan en la parte media y baja de la cuenca, las cuales corresponden a pastizales cultivados e inducidos, mientras los tipos de vegetación natural son los manglares, las selvas baja caducifolia y medianas subperennifolias y el bosque mesófilo de montaña.

En el año 2015 la sub-cuenca registro tres usos de suelo y cuatro tipos de vegetación (Figura 24). Las coberturas predominantes son las de uso antrópico y se localizan en la parte media y baja de la cuenca, las cuales corresponden a agricultura temporal, pastizales cultivados e inducidos.

La distribución general del tipo de vegetación y uso de suelo en los años 1996-2015 (Figura 25). En la sub-cuenca la vegetación autóctona está mayormente remitida a terrenos accidentados y de grandes pendientes, en muchas ocasiones inaccesibles esto ha permitido su conservación, ya que prácticamente son terrenos inútiles para el uso agropecuario. De esta vegetación el 6.77% corresponde a bosques mesófilos, 54.81% a selvas y manglar con 0.77%.

Retomando la vegetación introducida en tipo de uso de suelo el 21.60 % corresponde a pastizal cultivado y el 15.38 % al pastizal inducido. También cuenta con cultivos como la agricultura que es por temporal y que corresponde a un 0.10%, donde el cultivo de maíz es al que más esfuerzo se le dedica.

A través del tiempo la sub-cuenca ha sufrido cambios a causa de actividades antropogénicas (Figura 24) como es el caso de la deforestación que arrasa los bosques y las selvas de forma masiva causando un inmenso daño a la calidad de los suelos.

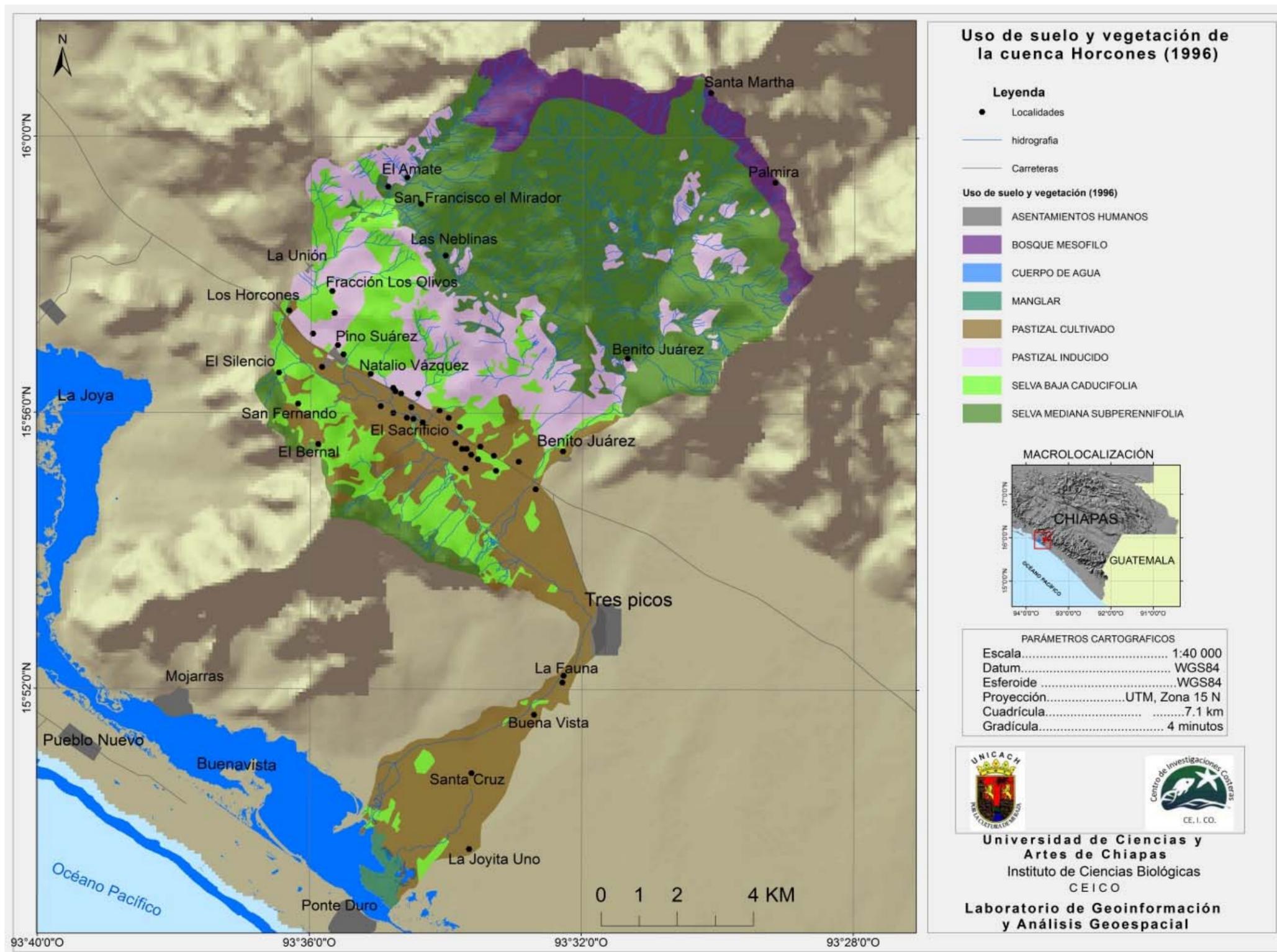


Figura 23. Tipos de vegetación y uso de suelo de la subcuenca del río Los Horcones en (1996)

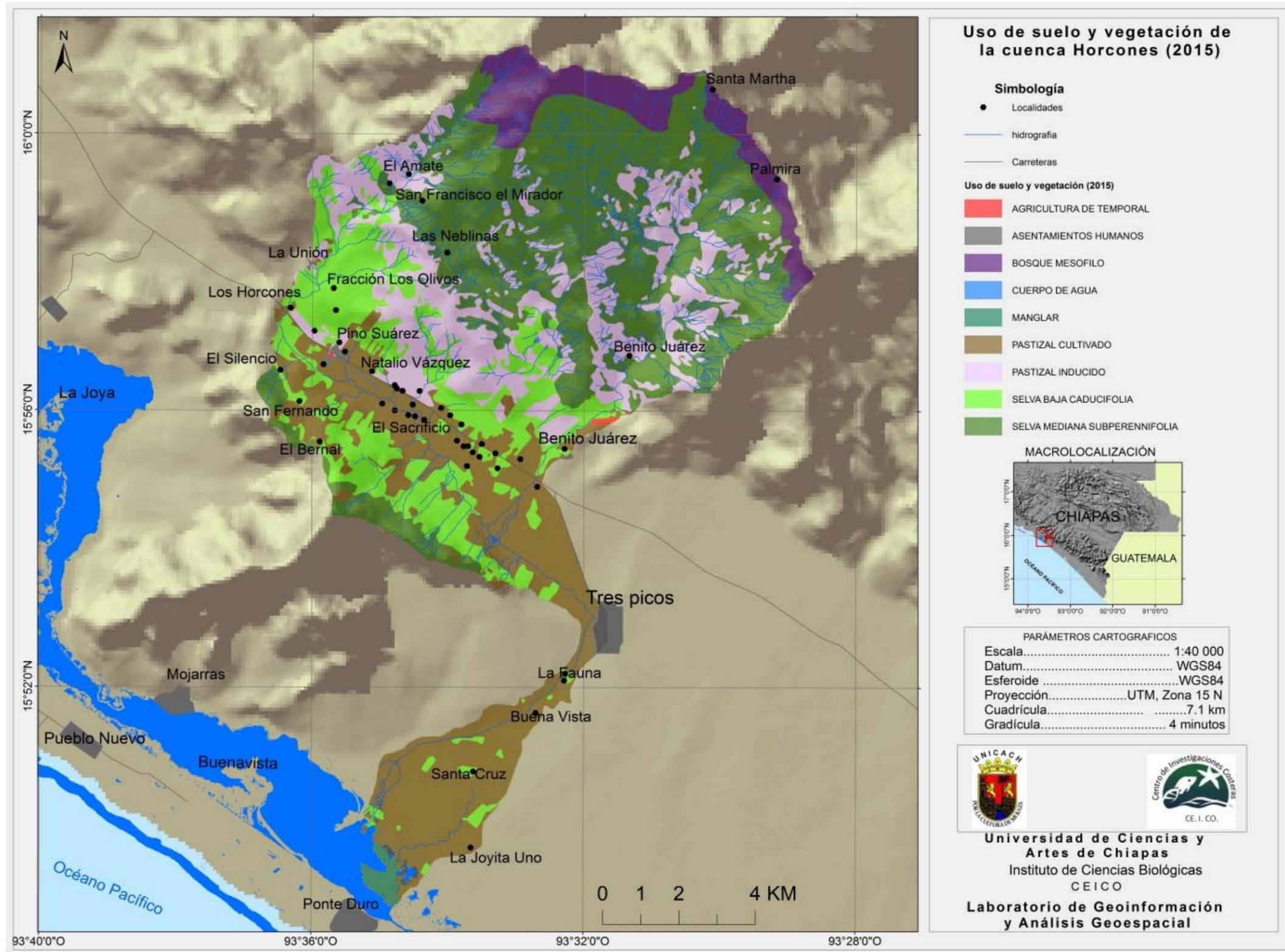


Figura 24. Tipos de vegetación y uso de suelo de la subcuenca del río Los Horcones (2015).

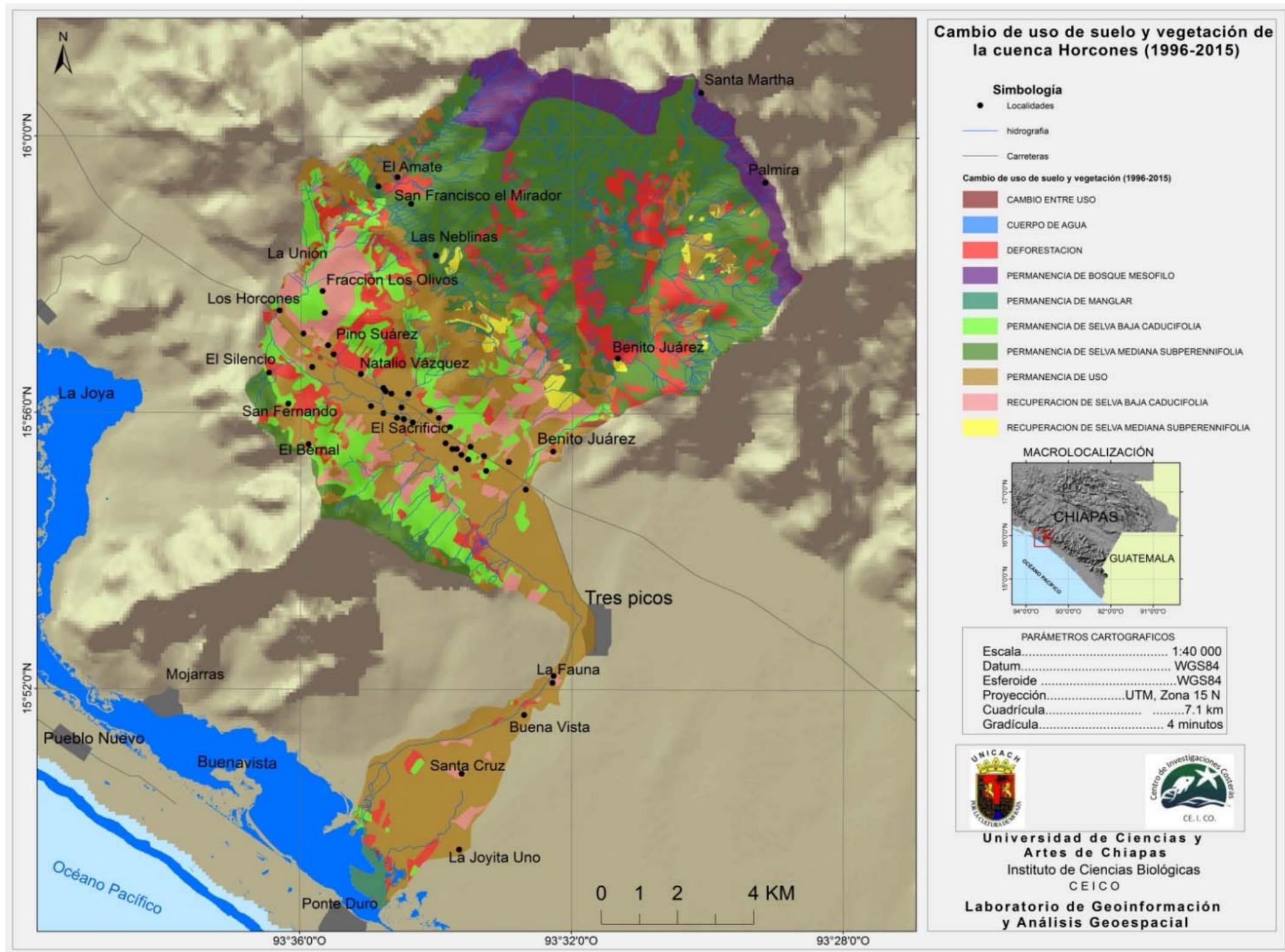


Figura 25. Tipos de vegetación y usos de suelo de la subcuenca del río Los Horcones (1996-2015)

IX. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio sobre la sub-cuenca del Río Los Horcones se apoyan en la clasificación hecha por Villón (2002) donde clasifica a cuencas con un área menor a 250 km² como pequeñas, el área de estudio cuenta con 176 km². La importancia de la delimitación de una zona permite planificar un adecuado funcionamiento ecohidrológico, más allá de la complejidad inherente a la delimitación funcional o delimitación administrativa, aportando herramientas para hacer frente al régimen hídrico tomando en cuenta diferentes niveles de complejidad, tanto espacial como temporal.

Como en muchas de las cuencas del país en la subcuenca Los Horcones es necesario recopilar la información histórica existente y generar más información detallada para proponer estrategias de manejo y mitigación, involucrando a todos los actores de la cuenca. Ejemplos de estos datos son calidad de agua para detectar fuentes de contaminación de origen antropogénico como son aguas residuales, detergentes, grasas, aceites y en el caso específico de elementos traza (cadmio y cromo) aportados por actividades agrícolas y por presencia de formaciones ígnea en la parte superior de la cuenca.

Las características del caudal de los ríos de la costa de Chiapas están regidas por las temporadas de lluvias con escurrimientos máximos y la de estiaje con una sensible baja en el caudal e incluso la interrupción total, el río Los Horcones presenta afluentes que se secan y solo conservan agua en posas que al pasar el tiempo se eutrofizan y pierden volumen por evaporación y filtración al subsuelo, produciendo en las partes media y baja una ausencia de caudal superficial. Este trabajo aporta resultados importantes y de uso inmediato expresados en una metodología de Sección de control: Es el más exacto, en especial para caudales bajos. Debe tener una sección de control en este caso es el caudal, donde se manifieste una energía específica, que es la mínima para escurrimiento del río, energía que se manifiesta por el tirante y la altura de velocidad.

El año 2015 es señalado como anómalo por la variación mensual en la precipitación en comparación con el promedio histórico (1963-2015) presentando un valor apenas por encima del 50% de años catalogados como normales, lo anterior coincide con Magaña *et al*, 2004 que menciona que los años secos están asociados a la presencia del fenómeno El Niño. Por tanto, un año más seco afecta la disponibilidad y la demanda de agua, de igual forma existen señalamientos Tiscareño *et al*. (1991) que durante estos años anómalos se presenta un incremento de la erosión hídrica conforme las regiones hidrológicas se vuelven más secas, por lo que las regiones con mayor grado de degradación resultan más afectadas (Arellano y Ruiz, 2018).

En cuanto la disponibilidad de agua, como factor social, interviene varios factores que pueden integrarse como problemas de una sub-cuenca. En el caso de la sub-cuenca del Río Los Horcones, se explota un 0.36%, por lo que el restante 99.64% es agua disponible, en comparación con la cuenca del Río Zanatenco donde Arellano y Ruiz (2018) mencionan una tendencia a años más secos y mayor demanda, es importante señalar que en ambas cuencas la principal fuente de agua son las aguas superficiales, y en menor cantidad la extracción de agua subterránea, sin embargo, esta última puede aumentar para suplir la escases de las superficiales.

Respecto a las comunidades rurales; las casas presentan una estructura exterior, cuyas características y equipamiento son sumamente uniformes con el aspecto de construcción tradicional, particularmente los asentamientos son poco poblados, se ubican donde la disponibilidad de agua es mínima, el suministro es por medio de gravedad en el menor de los casos, por lo general la extracción del agua es por medio de acarreo por cubetas o pozos. Santacruz (2007), concluye que los recursos hídricos son independientes a la abundancia de agua que puede tener una cuenca, menciona que es necesario tener presentes las localidades existentes, sobre todo las rurales que carecen del servicio de agua potable o entubada y señala que esa carencia es consecuencia de la falta de inversión pública y que, en la aplicación misma, se favorece mayormente al sector urbano.

Diariamente utilizamos grandes cantidades de agua, para propósitos diferentes: en el caso de la sub-cuenca se tomaron tres tipos de usos: domestico, agrícola y pecuario;

para este último se estima anualmente un gasto de 13 856 130 litros (13, 856.13 m³). Lo que muestra una demanda escasa, debido que solo se desarrolla la ganadería con fines de obtención de leche para autoconsumo y consumo local, a comparación de la sub-cuenca Zanatenco donde se desarrolla la ganadería extensiva de bovinos para producción lechera; la problemática que se deduce es que los terrenos presentan pendientes de moderadas a fuertes, con suelo mayormente suelto, poco profundo y fácilmente erosionable al eliminarse la cobertura vegetal para su sustitución por pastos para forraje.

La falta de atención y asesoría técnica incrementa el grado afectación hacia el recurso suelo. A comparación de la sub-cuenca el Rio Los Horcones su degradación ambiental es poca, gracias a que no se registraron una gran cantidad de actividades antropogénicas. Sin embargo, no hay que perder de vista que tanto la cuenca del río Zanatenco como la del río Los Horcones, forman parte del acuífero de Arriaga – Pijjiapan por lo que contribuyen a la recarga del mismo, aunque la extracción sea mayor en otras zonas. Según CONAGUA (2015) el río Zanatenco tiene un caudal medio de 2.6 m³/s contrastando con 1.3 m³/s del río Pedregal (los Horcones en este estudio), concluye que la disponibilidad de agua subterránea es suficiente incluso para otorgar nuevas concesiones para extracción.

La actividad ganadera es la actividad más perjudicial para los recursos hídricos, contribuyendo entre otros aspectos a la eutrofización (proliferación de biomasa vegetal debido a la excesiva presencia de nutrientes); los fertilizantes y pesticidas que se usan para los cultivos forrajeros, Diario Oficial de la Federación (DOF, 2012). La producción agrícola en la sub-cuenca Los Horcones se enfoca principalmente al cultivo de maíz, utilizando la técnica de cultivo de temporal, aprovechando las lluvias que se dan en la región, se calculó un consumo de 893 400 000 litros (893 400 m³) anualmente. Normalmente los cultivos de temporal se ven afectados por escasez y/o retraso de las lluvias y en ocasiones por exceso de agua.

Recientemente se han presentado afectaciones por la falta de lluvia por ser un año anómalo se aumenta la presión sobre la producción por riego y que como se mencionó anteriormente el acuífero es capaz de suplir esta carencia. Girón (2010) señala que la

dinámica espacial de uso del suelo, en una cuenca está en constante cambio, en cuanto los procesos de uso agrícola, puede llegar a un nivel crítico y afectar la dinámica hídrica de forma local.

La sub-cuenca Río Los Horcones presenta variaciones de temperatura en toda el área, se observó que, en las temporadas de estiaje y lluvia con características eutróficas, en cuanto al crecimiento de algas en gran cantidad debido a que el agua se enturbia, el fondo se va rellorando de sedimentos y su profundidad va disminuyendo (Jhonson, 2000). Esta situación fue similar a la señalada por Bazan *et al* (2005) en otros reservorios del centro del país, sin embargo, el comportamiento térmico del Río Los Horcones ha sido alterado por los diversos usos, aprovechamientos ganaderos, tala de la vegetación de tipo lineal que acompaña al río en sus márgenes (sotos fluviales), dragado de los cauces; implicando un fuerte estrés para muchas especies y un peligro para su supervivencia.

Gómez (2005) menciona que las distintas temperaturas en una cuenca, posibilitan las migraciones de peces en busca de su óptimo fisiológico para reproducción, alimentación y crecimiento. Las mortandades masivas usualmente ocurren en ambientes litorales; en la subcuenca se presenta una variabilidad de temperatura, suele ser a causas climáticas, en los últimos 5 años se ha observado un cambio con temperaturas muy altas, este comportamiento podría determinar la mortalidad de peces que se presentó en algunos puntos de muestreo.

En cuanto el oxígeno disuelto varía de forma inversamente proporcional a la temperatura, es decir una mayor temperatura implica una menor concentración de oxígeno disuelto en el agua. Este hecho explica el comportamiento de la sub-cuenca Río Los Horcones. En tanto la concentración de oxígeno es mínima, esta diferencia puede ser atribuida a la ganadería y la agricultura que duplican las cantidades nitrógeno y fósforo que ocasionan altas demandas químicas y biológicas de oxígeno (eutrofización) acentuándose principalmente durante la temporada de sequía (Ramírez *et al.*, 2006).

En el pH se observaron cambios durante las dos temporadas obteniendo un promedio en estiaje 7.78 y lluvia 8.18. En el Río Los Horcones los valores registrados se consideran normales para un agua con tendencia a la alcalinidad y determinada por el tipo de materiales que existen en el río, como la arcilla, limo y arena. Coincidiendo con la variabilidad entre la cuenca del río Grijalva se observa que los mayores valores de pH se registraron en el vaso de la presa, reportando un pH más bajo, en uno de los afluentes con 7.59 unidades, aunque no es muy significativa la diferencia (Musálem-Castillejos *et al.* 2017), en comparación el Río Zanatenco presenta valores de pH entre 8.72 y 10.84 lo que lo sitúa como claramente alcalino (Graniel y Carrillo, 2006). CONAGUA (2015) reporta que a nivel subterráneo el agua es de características Bicarbonatada-Cálcica y Bicarbonatada-Sódica lo que coincide con el pH encontrado en este trabajo.

En el estado de Chiapas ya se han realizado algunos planes de manejo, ejemplo de esto son, el de la cuenca del Río Lagartero y la cuenca del Río Zanatenco. Este último es considerado un ejemplo del acelerado proceso de cambio de suelo hacia la crianza de ganado de tipo extensivo, ganando terreno a las áreas de selva de la región Istmo-Costa de Chiapas (Lucero *et al.*, 1994), concretamente la subcuenca Los Horcones tiene una actividad ganadera poco desarrollada, sin embargo, en la parte media y baja el cambio de vegetación predominante es hacia los pastos cultivados e inducidos, y en tercer lugar la agricultura de temporal.

La subcuenca el Río Los Horcones presenta una variabilidad en cuanto a la cobertura de usos de suelo y vegetación entre los años del 1996 al 2015 sufriendo cambios a causa de actividades humanas, como es el caso de la deforestación que arrasa los bosques y las selvas de forma masiva causando un inmenso daño de calidad de los suelos. Figueroa-Jauregui *et al.* (2011) presento que, en la cuenca de San Cristóbal de las Casas, México hay tendencia de cambio de uso, con excepción de las zonas urbanas, las cuales aumentaron de 4.13 a 9.7% de la superficie total de la cuenca. Los efectos del cambio de usos suelo (urbanización) se manifestaron en los volúmenes medios anuales escurridos que aumentaron de 76.86 a 82 millones m³. La tasa anual

de erosión hídrica fue afectada en el periodo 1975-2000, aunque más que en su valor, en la distribución de las áreas degradadas en la cuenca.

Para los años 1996 al 2015 la subcuenca se encuentra en terrenos accidentados y de pendientes pronunciadas, en muchas ocasiones inaccesibles esto ha permitido su buen estado de conservación debido a que las coberturas naturales selvas y bosques sufrieron pocos cambios.

Nájera y colaboradores (2010) analizan los cambios de cobertura y uso del suelo en la cuenca del Río Mololoa Nayarit, entre 1995 y 2005, a partir de la interpretación de ortofotos digitales y manejo de la información en un SIG. Los resultados muestran un conjunto de bienes y servicios a las localidades que involucra; desafortunadamente; esta relación ha repercutido en el deterioro acelerado de sus recursos naturales. Presentan instrumentos como el ordenamiento ecológico territorial o los planes sectoriales de desarrollo como el urbano y el agrícola; o bien, en la definición de políticas de manejo de los recursos naturales y ecosistemas. En comparación de la subcuenca Río Los Horcones aporta elementos descriptivos, cuantitativos y geográficos, que pueden apoyar la toma oportuna de decisiones a diferentes niveles de decisión y acción y con ellos contribuir a un desarrollo ecológico, social y económicamente sustentable en la región.

X. CONCLUSIÓN

- El análisis morfológico de la sub-cuenca Rio Los Horcones contribuyo en la identificación de potenciales áreas o sitios de captura hídrica. Presento una interesante estructura geomorfológica, el alto grado de alteración desarrollada (relación textura), zonas fracturamiento moderado y mayor densidad fluvial son factores favorables para considerar a la sub-cuenca como área de recarga de los acuíferos.
- De acuerdo con el esquema planteado, la demanda actual de agua en la sub-cuenca es posible de satisfacer en un 100% incluso contemplando los meses con estrés hídrico.
- La demanda no excede la disponibilidad. Los factores que pueden alterar este equilibrio son el aumento en el número de cabezas de ganado, el retraso de las lluvias, y el aumento en el número de pobladores.
- La zona ofrece posibilidades de desarrollo dada la disponibilidad de agua al utilizarse solo el 0.36% del total del agua, sin embargo, es necesario que este desarrollo sea cuidadosamente planificado.
- Los parámetros fisicoquímicos registrados en este estudio son un indicador de las condiciones prevalecientes en la cuenca para evaluar la calidad y los posibles usos del agua.
- El estado de conservación de la sub-cuenca se ha deteriorado presentando un proceso erosivo del suelo que comienza con la perdida y disminución de la vegetación ribereña, la perdida de la vegetación autóctona y su reemplazo por cultivos o pastos, esto ha disminuido la capacidad de auto recuperación natural de la vegetación.
- Aunque las estimaciones espaciales tienen ciertas limitantes por la escala de análisis, los aspectos que se analizan en este trabajo permiten tener una idea más clara de los factores que afectan la disponibilidad de agua y sienta las bases para una planificación adecuada.

XI. RECOMENDACIONES

Es conveniente caracterizar la sub-cuenca mayor detalle para implementar un sistema de soporte de decisiones basado en la gestión del recurso hídrico para una regulación enfocada de zonas de amortiguamientos de bosques naturales y riberas de los ríos. Se propone asignar el cauce principal al río Los Horcones, que actualmente se registra con el nombre Arroyo Las Piedronas, ya que este es un afluente de menor caudal.

Como una medida para evitar un mal manejo de la sub-cuenca del río Los Horcones, es necesario considerar una mejora en la tecnología de monitoreo, como es el caso las estaciones climatológicas, el cual permita medir en tiempo real de los escurrimientos.

Es necesario implementar mecanismos de evaluación de calidad de agua, para determinar acciones que prevengan actos contaminación. Es conveniente establecer sistemas de coordinación y colaboración entre el municipio y el estado, aplicando criterios de actuación y mecanismos para una gestión sobre la explotación en un tiempo futuro.

Es de vital importancia mejorar los procedimientos y sistemas de análisis de información que reciben y manejan las autoridades de las dependencias responsables como son Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) para la prevención y detección temprana de actos ilícitos, en la sub-cuenca todavía encontramos bosques mesófilos con una variedad de fauna, desde mamíferos, donde dominan el jaguar, puma y ocelote; aves como colibrí, búho, el cóndor y reptiles como salamandra, la nauyaca verde entre muchos otros, que son objeto de tráfico además de la reducción de su hábitat.

Es de vital importancia realizar un estudio hidrogeológico para cuantificar la sobreexplotación del acuífero en donde está situada la subcuenca Los Horcones, la cuenca del río Zanatenco que es una zona de mayor demanda, por la densidad de población podría afectar la disponibilidad de agua en el subsuelo para la subcuenca

XII. REFERENCIAS

Aparicio, F. 1992. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Ed. Limusa, México.

Arellano, M. J. L. y Ruiz, M. L. E. 2018. Evaluación y tendencias de los servicios ecosistémicos hidrológicos de la cuenca del río Zanatenco, Chiapas. *Investigaciones Geográficas*. UNAM. 95:1-22.

Arrache, S. L. 2011. Intercambio de derechos de uso de agua. Un modelo para la Gestión Sostenible del Recurso Hídrico. Tesis Doctorado. Instituto de Sostenibilidad; Universitat Politècnica de Catalunya, España.

Bateman, A. 2007. Hidrología Básica y Aplicada. Grupo de Investigación en Transporte de Sedimentos. Univeritat Politecnica de Catalunya, Barcelona.

Bazán, R., Corral, M., Pagot, M., Rodríguez, A., Orona, C., Rodríguez M. I. y Larrosa N. 2005. Teledetección y modelado numérico para el análisis de la calidad de agua del embalse Los Molinos. *Ingeniería Hidráulica en México*, 20 (2): 121-135.

Beita, S. W. 2008. Caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón en la Península de Osa, Puntarenas, Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica.

Black, M. 2005. El secuestro del agua: la mala gestión de los recursos hídricos. Barcelona: Intermón Oxfam.

Bocco, G. Mendoza, M. y Masera, O. 2001. La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas*. UNAM. 44: 18-38.

Bonilla, J. P. 2014. Análisis hidrológico y determinación de la recarga potencial en la cuenca del río Machuca, Pacífico Central de Costa Rica. Tesis de maestría. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Carlón, A. T. y Mendoza, M. E. 2007. Análisis hidrometeorológico de las estaciones de la cuenca del lago de Cuitzeo. *Investigaciones Geográficas*. UNAM. Núm. 63: 56-76.

CONAGUA. 2007. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Ed.). Comisión Nacional del Agua. México.

CONAGUA. 2010. Capítulo 3: Usos del agua. En: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Ed.). Estadísticas del Agua en México, edición 2010. Comisión Nacional del Agua. México.

CONAGUA. 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Arriaga-Pijijiapan (0711), Estado de Chiapas. Diario Oficial de la Federación. Publicado 20 de abril 2015.

CONAPO. 1994. La Población de los Municipios de México 1950 - 1990. Ed. UNO. Servicios Gráficos. México.

Cotler, H., Garrido, A., Bunge, V. y Cuevas, M. L. 2010. Las Cuencas Hidrográficas de México: Priorización y toma de decisiones. Editor Cotler H. En: Las Cuencas Hidrográficas y priorización. SEMARNAT. Pp. 210-215.

DOF. 2012. Ley de Desarrollo Rural Sustentable. Cámara de Diputados H. Congreso de la Unión. Modificación a la Ley publicada el 7 de diciembre de 2001.

Faustino, J. y Jiménez, F. 2000. Manejo de cuencas hidrográficas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica.

Figuroa-Jáuregui, M. L., Ibáñez-Castillo, L. A., Arteaga-Ramírez, R., Arellano-Monterrosas, J.L. y Vázquez-Peña, M. 2011. Cambio de uso de suelo en la Cuenca de San Cristóbal de las Casas, México. *Agrociencia*. 45: 531-544.

García, R. L., Madrigal B. J., Sánchez Q. S. y Urquiza M. E. 2014. Obtención de la disponibilidad media anual hídrica con la NOM-011-CNA-2000 y con EVALHID. Memorias del XXIII Congreso Nacional de Hidráulica: Desafíos de la Ingeniería Hidráulica. Puerto Vallarta, Jalisco, México. Pp. 298.

Girón, L. A. 2010. El uso actual del suelo agrícola en la cuenca alta del río Guacerique. Tesis de Maestría. Universidad Pedagógica Nacional, Honduras.

Graniel, C.E. y Carrillo, C. M. E. 2006. Calidad del agua del río Zanatenco en el estado de Chiapas. *Ingeniería*. 3(10):35-42.

Greenpeace. 2005. Agua. La Calidad de las Aguas en España: Un Estudio por Cuencas. Informe Greenpeace. España.

Johnson, D. E. 2000. Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos. International Thomson Editores. México. 566 p.

Lafitte. H.R. 1993. Identificación de problemas en la producción de maíz tropical. Guía de campo. International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). México, D.F.

Lasch-Thaler, C. (Comp.). 2006. Plan de conservación para el sitio plataforma Cuencas Costeras de Chiapas, México: 2004-2008. The Nature Conservancy. Chiapas, México.

Lucero, R., Medina, J. y Cervantes, Y. 1994. Los usos del suelo. En: Toledo, A. (Coord.), Riqueza y pobreza en la costa de Chiapas y Oaxaca. Centro de Ecología y Desarrollo, A. C. México. Pp. 211-313.

Magaña, V., Méndez, J. M., Morales, R. y Millán, C. 2004. Consecuencias presentes y futuras de la variabilidad y el cambio climático en México. En: Martínez, J. y Fernández B. A., (Comps.). Cambio climático: una visión desde México. SEMARNAT, INE. México. Pp. 203-213.

Marini, M. y Piccolo, M. 2000. El balance hídrico en la Cuenca del río Quequén Salado, Argentina. *Papeles de Geografía*, N° 31: 39-53.

Medley, K., Okey, B., Barrett, G., Lucas, M. y Renwick, W. 1995. Landscape Change with Agricultural Intensification in a Rural Watershed, Southwestern Ohio, USA. *Landscape Ecology*. 3(10): 161-176.

Musálem-Castillejos, K., Laino-Guanes. R., Bello-Mendoza, R., González-Espinosa, M. y Ramírez-Marcial, N. 2017. Calidad de agua del río Grijalva en la frontera de Chiapas y Tabasco. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 5(13):55-64.

Nájera, G. O., Bojórquez, J. I., Cifuentes, J.L. y Marceleño F.S. 2010. Cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa, Nayarit. *Revista Biociencias*. 1(1): 19–29.

Naranjo, M.E. y Duque, R. 2004. Estimación de la oferta de agua superficial y conflictos de uso en la cuenca alta del río Chama, Mérida, Venezuela. *Interciencia*. 29(3):130-137.

Ordoñez, J. J. 2011. Cartilla Técnica: Aguas subterráneas-acuíferos. Foro Peruano para el Agua - GWP Perú. *Sociedad Geográfica de Lima*. Pp.54-56.

Ortiz, Z. E., Sánchez-Flores, C. V., Galdámez, E. V., Cabrera, M. M., Hernández, R.G., Gutiérrez, J. I., González, E. E., Ibarra, S. M., May Y. D. y Roblero, O. C. 2011. Programa de ordenamiento territorial de la subcuenca del Río Zanatenco, Chiapas, México. Periódico Oficial No. 230 de fecha 31 de Marzo del 2004, Publicación No. 1401_A_2004.

Pérez, N. S. 2013. Erosión hídrica en cuencas costeras de Chiapas y estrategias para su restauración hidrológico-ambiental. Tesis Doctorado. Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Colegio de Postgraduados. México.

Ramírez A. C., Rubiños, E., Amado, J., Hernández, E., Gavi, F., Mejía E. y Pedrero, F. 2006. Cantidad y calidad química del agua en el río Amajac. In: Medioambiente en Iberoamerica. Visión desde la Física y la Química en los albores del Siglo XXI. Tomo I., por F. Gallardo, pp: 379-385. Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental. Badajoz, España.

Sabas, A. R. y Paredes. C. D. 2009. Estudio de oferta y demanda hídrica en la cuenca del Río Barbas. *Scientia et Technica*. Año XV. No. 42: 405-410.

Salgado A. H. 2005. Modelización de aforos de pequeños cauces de cuencas serranas. *Revista Electrónica de la Redlach*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO por sus siglas en inglés). Número 1, Año 2: 11-15.

Santacruz, G. 2007. Hacia una gestión integral de los recursos hídricos en la Cuenca del Río Valles, Huasteca, México. Tesis Doctorado. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México.

Tiscareño, L. M., Rosenberg, N. J., Legler, D. M., Ruíz, C. A., Shrivastava, R., Brown, R. A., García, M. G., Velázquez, V. M. y Izurralde, C. (1991). Algunos efectos del fenómeno El Niño en la agricultura mexicana. *Ciencia y Desarrollo*. XXV (139): 3-12

UNESCO. 2003. Agua para todos, agua para la vida. Informe de las Naciones Unidas. Paris, Francia.

Valdez, E. C. 1990. Abastecimiento de Agua Potable: Tomo I. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. México D.F.

Vidaurreta, I. 2016. Calidad y disponibilidad de agua para los bovinos en producción. Manual Vetifarma, S.A. Argentina.

Villón, B. M. 2002. Hidrología. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Facultad de Ingeniería Agrícola. 2° Edic. Costa Rica.

Visión Mundial. 2004a. Manual de Manejo de Cuencas. San Salvador, El Salvador. Pp 154.

Visión Mundial. 2004b. Manual de manejo de cuencas. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Canadá. Pp 104.

Vörösmarty, C.J., Lévêque, C. y Revenga, C. 2005. Capítulo 7: Freshwater. En: Hassan, R., Scholes, R. y Ash, Y. N. (Eds.). *Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends*, Vol. 1, Findings of the Condition and Trends Working Group

of the Millennium Ecosystem Assessment. Island Press, Washington, D. C. Pp. 165--207.

Zalewski, M. 2002. Ecohydrology – The use of ecological and hydrological processes for sustainable management of water resources. *Hydrological Sciences Journal*. 47(5):823-832.

Fuentes de Internet:

Castellón Z. M. F. 2014. Métodos de aforo de fuentes superficiales métodos de aforo de fuentes superficiales. Universidad Nacional de Ingeniería, sede Región Central Juigalpa. <http://es.slideshare.net/mariocastellon/mtodos-de-aforo>.

CHG. 2015. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, España. <http://Www.Chguadalquivir.Es/Opencms/Portalchg/Index.Html>. (Consulta 23 de octubre 2015).

CONAGUA.2009. Organismo de Cuenca Frontera Sur. <http://www.conagua.gob.mx> (Consulta: 12 de noviembre del 2015).

Gómez, S. D. 2005. Disponibilidad Del Agua En México Considerando: Cantidad, Calidad, Distribución Geográfica Y Tiempo. <Http://Www.Monografias.Com/Trabajos62/Disponibilidad-Agua-Mexico/Disponibilidad-Agua-Mexico> (Consulta 20 de agosto 2015)

INEGI. 2010. Hidrología. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reconat/hidrologia/default.aspx>. Consulta 10 de abril de 2017.

ANEXOS

ANEXO 1
ENCUESTA "DEMANDA DE AGUA DE LA SUB-CUENCA
DEL RÍO LOS HORCONES "

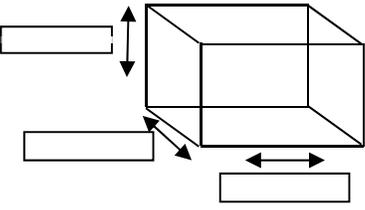


ENCUESTA "DEMANDA DE AGUA DE LA SUB-CUENCA DEL RÍO LOS HORCONES "
INDICACIÓN: POR FAVOR CONTESTE EL PRESENTE CUESTIONARIO SEGÚN SU CRITERIO.

Formulario de encuesta con secciones: NOMBRE DE LA LOCALIDAD, NO. DE ENCUESTA, I.-Datos básicos del informante (edad, sexo, estudios), 5.- principal actividad productiva que realiza.

Formulario de encuesta con secciones: II.-USO DOMÉSTICO (personas en el hogar, agua entubada, servicio de agua, carencia de agua, pagos de agua, pozo artesanal).

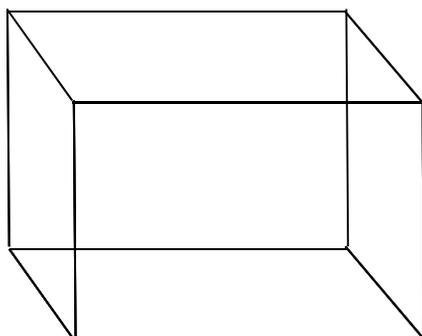


7. ¿Para extraer el agua utiliza? ¿Cuánto gasta?			
1. () Bomba eléctrica \$	2. () de gasolina \$	3. () cubeta \$	
8. Aforo por vivienda			
1. Volumen _____			
2. Tiempo _____			
			
9. ¿Cuando llenan el tanque está completamente vacío ? 1 () si 2 () no			
10. ¿cuanto tiene de agua normalmente?			
1 () 1/4	2 () 1/2	3 () 3/4	
11. ¿Cómo considera la calidad del agua?			
1. () transparente	2. () sucia	3. () agua muy sucia	
12. ¿Donde obtiene el agua para tomar?			
1. () garrafón	2. () pozo	3. () de la llave	
13. ¿Cuánto de agua consume al día?			
14. ¿Cuantos litros de agua utiliza en lavado de trastes diario?			
15. ¿Cuantos litros de agua utiliza en la limpieza de casa diario?			
16. ¿Cuantas veces lava la ropa en la semana?			
1. () diario	2. () dos veces	3. () tres veces	4. () cuatro o más
17. ¿Utiliza lavadora? 1. () si 2. () no			
18. ¿Cuánta agua utiliza para el lavado de ropa?			
19. ¿Cuántos litros de agua utiliza para bañarse diario?			
20. ¿Cuantos litros necesita para lavarse los dientes, enjuague etc.?			
21. ¿La vivienda tiene ?			
1. () baño	2. () fosa aséptica	3. () letrina	
22. ¿Cuantos litros de agua necesita para el sanitario diario?			
23. ¿Riega el patio y plantas? 1. () 2. ()			
24. ¿Qué material utiliza?			
1. () manguera	2. () cubeta	3. () otros	
25. ¿Cuántos litros de agua utiliza?			
26. ¿En el traspatio tiene ?			
(1) Aves de corral (gallinas) _____ Cuántas _____ (2) Marranos _____ Cuántos _____ (3) Perros Cuántos _____			
27. ¿Cuántos litros de agua utiliza para mantener sus animales? _____			



Unidad de producción Agrícola				
1._ ¿Qué cultiva en su parcela?				
1.()maíz/ calabaza	2.()hortalizas	3.()sandía	4.() pastizal	5.()otro (cual) _____
2._ ¿Su cultivo son de riego o de temporal? ¿ Cuantas hectàreas tiene?				
1.() riego		2.() temporal		
3._ ¿Qué tipo de riego utiliza?				
1.() aspersión	2.() surcos	3.() goteo		
4._ ¿Cuánta agua aproximadamente utilizan en sus cultivos?				
5._¿Que cantidad (volumen) de agua utiliza para el pastizal?				
5._ ¿Cuánto veces al día riega?				

I.- FUENTE DE ABASTECIMIENTO		
1._ ¿De donde se abastecen el tanque de distribución a la población ?		
1 () rio	2 () gravedad	3 () pozo profundo
2._ CAPACIDAD DEL TANQUE DISTRIBUCION		



¿CUANTAS VECES LO LLENAN EN EL DIA? _____

¿NUMERO DE TOMAS DE AGUA? _____

ANEXO 2
FOTOGRAFÍAS DE TRABAJO DE CAMPO EN LA
SUBCUENCA DEL RÍO LOS HORCONES

Fotografías de trabajo de campo en la subcuenca del Río Los Horcones



Figura 1.- Aforo en la subcuenca Río Los Horcones en temporada de lluvia

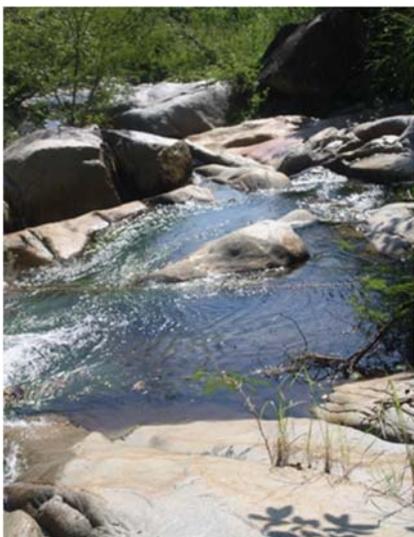


Figura 2.- Subcuenca Río San José

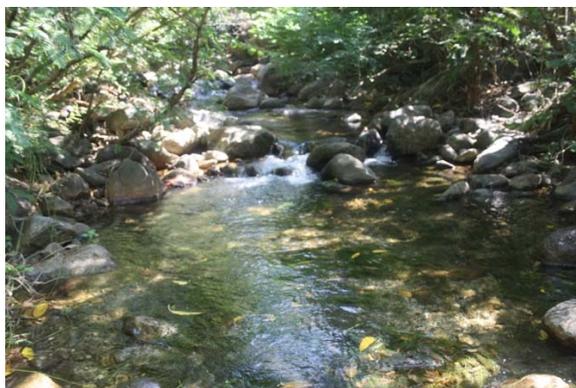


Figura 3.- Subcuenca Río El Pedregal



Figura 4.- Lirio de agua (*Nymphaea elegans*)



Figura 5.- Pastizales Cultivado de la Subcuenca Río Los Horcones



Figura 6.- Pastizales Inducido de la Subcuenca Río Los Horcones



Figura 7.- Selva Mediana Caducifolia de la Subcuenca Río Los Horcones



Figura 8.- Bosque Mesofilo de la Subcuenca Río Los Horcones



Figura 9.- Selva baja Caducifolia de la Subcuenca Río Los Horcones



Figura 10.- Huico Gigante (*Aspidoscalis motaguae*)



Figura 11.- Araña de Jardín (*Argiope aurantia*)



Figura 12.- Gusanos Zats (*Arsenura armida*)



Figura 13.- Serpiente Nauyaca Real (*Bothrops asper*)



Figura 14.- Hongo (Fungi)



Figura 15.- Cienpies (*Lithobies forficates miriapoda*)



Figura 16.- Hongo (Fungi)