

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y
RECURSOS HIDRÁULICOS -ERIS-**



**VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CACHIL,
CON ÉNFASIS EN LA UTILIZACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO,
SALAMÁ, BAJA VERAPAZ**

ESTUDIO ESPECIAL:

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y
RECURSOS HIDRAULICOS –ERIS–

**MONICA LISETT ALDANA AGUILAR
INGENIERA AGRÓNOMA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

COMO REQUISITO PREVIO A OPTAR AL GRADO ACADEMICO DE
MAESTRA (*MAGISTER SCIENTIFICAE*) EN RECURSOS HIDRAULICOS

GUATEMALA, NOVIEMBRE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CALOS DE GUATEMALA
ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y
RECURSOS HIDRÁULICOS –ERIS–



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

DIRECTOR DE ERIS

M. Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

ASESOR DE ESTUDIO ESPECIAL

M. Sc. Ing. Zenón Much Santos

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR



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

**VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CACHIL,
CON ÉNFASIS EN LA UTILIZACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO,
SALAMÁ, BAJA VERAPAZ**

Tema que fuera autorizado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos –ERIS– con fecha 15 de octubre del 2009

Monica Lisett Aldana Aguilar
monicaldana11@gmail.com

Ingeniera Agrónoma en Recursos Naturales Renovables

Guatemala, 4 de junio del 2012

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
Escuela Regional de Ingeniería
Sanitaria y Recursos Hídricos

Edificio de ERIS,
Instalaciones de Prefabricados, CII
Ciudad universitaria Zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 24188000,
Ext.86212 y 86213
(502) 24189138
(502) 24189140

Telfax (502) 24189124

www.ingenieria-usac.edu.gt

M. Sc. Ing. Elfego Orozco
Coordinador de la Maestría en Recursos Hidráulicos
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos "ERIS"
Facultad de Ingeniería, USAC

Por medio de la presente le informo que he revisado el documento titulado:

"Variación estacional de la calidad del agua del Rio Cachil, con énfasis en la utilización del recursos hídrico, Salamá, Baja Verapaz".

Elaborado por la Ingeniera Agrónoma Monica Lisett Aldana Aguilar, como parte de su Estudio Especial II y como requisito para optar al grado académico de Maestro en Recursos Hidráulicos, mediante la presente me permito informarle mi satisfacción con su contenido y por lo tanto, le comunico que dicho documento cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo la atención prestada a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS".

M. Sc. Ing. Zenón Muñoz
Asesor del estudio



Guatemala, 07 de junio de 2012

Señores
Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos
Facultad de Ingeniería, USAC

Respetuosamente les comunico que he revisado la versión corregida, en mi calidad de Coordinador de la Maestría de Recursos Hidráulicos, el trabajo de Estudio Especial titulado:

Variación estacional de la calidad del agua del Río Cachil, con énfasis en la utilización del recurso hídrico, Salamá, Baja Verapaz

presentado por la estudiante,

Ingeniera Mónica Lisett Aldana Aguilar

Les manifiesto que la estudiante cumplió con los requisitos exigidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) Y la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la realización de su estudio en forma satisfactoria.

Agradeciéndoles la atención a la presente, se suscribe de ustedes,

Atentamente.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



MSc. Ing. Elfego Orozco
Coordinador Maestría de Recursos Hidráulicos

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA



Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria
y Recursos Hidráulicos

Edificio de ERIS,
Instalaciones de prefabricados, C/I
Ciudad Universitaria zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 2418 8000,
Ext. 86213 y 86212
(502) 2418 9138

Telfax (502) 2418 9138

www.ingenieria-usac.edu.gt

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA



Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria
y Recursos Hidráulicos

Edificio de ERIS,
Instalaciones de prefabricados, CII
Ciudad Universitaria zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 2418 8000,
Ext. 86213 y 86212
(502) 2418 9138

Telfax (502) 2418 9140

www.ingenieria-usac.edu.gt

El Director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: MSc. Ing. Joram Matias Gil Laroj, MSc. Ing. Pedro Saravia Celis y MSc. Ing. Zenón Much Santos; así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Recursos Hidráulicos, MSc. Ing. Elfego Odvin Orozco Fuentes; la revisión lingüística realizada por la Licda. Rosa Amelia González, Colegiada 5284 y el trabajo de la estudiante: Inga. Agra. Monica Lisett Aldana Aguilar, titulado "Variación estacional de la calidad del agua del río Cachil, con énfasis en la utilización del recurso hídrico, Salamá, Baja Verapaz", en representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala a los 23 de noviembre de 2012.

IMPRIMASE

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

MSc. Ing. Pedro Saravia Celis
DIRECTOR

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y
Recursos Hidráulicos



ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS Por darme Fortaleza, llenar mi vida de Amor y Paz en todo momento. Creador de cada minuto de mi vida y a quien esta pertenece.

MI ITA Por sus consejos, enseñanzas, apoyo y paciencia que me han motivado a alcanzar y culminar cada una de mis metas.

MIS PADRES Lilia Mercedes Aguilar y Héctor Antonio Aldana por su amor y apoyo que me han permitido esforzarme cada día más.

MIS HERMANOS Claudia, Alejandro y Kevin con amor y respeto. Los quiero mucho.

MIS SOBRINAS Camila y Natalia por llenarnos de alegría, por enseñarnos que cada día aprendemos a vivir y que las cosas realmente valiosas se encuentran en lo espontáneo de la vida.

MIS TIAS En especial a Santa, Sheny, Charito y María Elena por su apoyo y consejos que han contribuido en mi formación. Muchas Gracias.

MIS PRIMOS Jonathan, Renato y Andrea, y que este ejemplo sirva como motivación para alcanzar cada una de sus metas.

MI CUÑADO Alan, con aprecio.

MIS AMIGOS Personas que nos acompañan en esta larga travesía llamada vida y que la llenan de momentos inolvidables; siempre están en mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

A:

M.Sc. Ing. Zenón Much

Por su asesoría y orientación en la ejecución de este trabajo. Gracias por su apoyo, confianza, interés, tiempo, respaldo y paciencia dedicada a esta investigación.

M.Sc. Ing. Elfego Orozco

Gracias por el apoyo durante mi paso por las aulas de la ERIS.

Ing. Agr. Oscar Avalos y Programa Conjunto

Porque sin conocerme confió y creyó en mí; abriendo las puertas en el proyecto que en su momento dirigía, para la ejecución de esta investigación orientando y apoyando la realización de la misma de forma desinteresada.

Ing. Agr. Elvis Zacarías

Por su valioso acompañamiento en la realización de los muestreos, por apoyarme y estimularme a alcanzar esta meta además del cariño incondicional que siempre me ha demostrado.

Personal técnico del programa conjunto en Salamá

Especialmente a Douglas y Francisco, por su apoyo en la realización de los muestreos, recopilación de información que fue valiosa y necesaria para el desarrollo de la presente investigación.

Pto. Agr. José Antonio Calderón

Por su valiosa contribución en la edición de los mapas del presente estudio, pero especialmente por su amistad.

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria

Por qué a través de su personal docente y administrativo, contribuyeron a culminar esta meta de forma exitosa.

Universidad de San Carlos de Guatemala

Por abrir nuevamente las puertas del conocimiento y las herramientas para alcanzar una más de mis metas.

Mis compañeros de promoción

En especial a Elizabeth, Sthefany, Jorge y Víctor por ser parte de este logro porque sin todas esas quebradas de cabeza esto no hubiese sido posible, gracias por su amistad, con admiración y respeto.

Amigos y Amigas

En especial David, Tere, Brenda, Pepe y Deysi gracias por su amistad, apoyo y cariño incondicional en todo momento, quien con sus palabras de aliento le han dado ese toque especial a cada trayecto de la vida.

INDICE

I.	Resumen	1
II.	Antecedentes	3
III.	Introducción	5
IV.	Planteamiento del problema	7
V.	Justificación	9
VI.	Hipótesis	11
VII.	Objetivo General	11
VIII.	Marco Teórico	13
IX.	Descripción de la microcuenca del ríoCachil	20
9.1.	Río Cachil	20
9.2.	Limites	20
9.3.	Comunidades y población	22
9.4.	Altura sobre el nivel del mar y topografía	22
9.5.	Recurso agua superficial	23
9.6.	Zona de vida	24
9.7.	Clima	24
X.	Descripción del área de estudio	27
XI.	Metodología	31
11.1.	Caracterización biofísica de la microcuenca	31
11.2.	Caracterización socioeconómica	31
11.3.	Recopilación de información	31
11.4.	Morfometría de la cuenca	32

11.5. Agua Superficial	34
11.6. Clasificación de agua para riego	359
11.7. Índices de calidad del agua	41
XII. Resultados	46
XII. Análisis de resultado:	53
XIII. Conclusiones	71
XIV. Recomendaciones	73
XV. Bibliografía	74
ANEXO 1	79
ANEXO 2	84
ANEXO 3	88
ANEXO 4	117

I. Resumen

El corredor seco de Guatemala está definido por los municipios con alta amenaza de sequía, debido a las características climáticas entre las que se encuentran bajas precipitaciones y altas temperaturas. La microcuenca del río Cachil ubicada en el municipio de Salamá departamento de Baja Verapaz, presenta un contexto de severa vulnerabilidad social/institucional y de degradación ambiental, que por años se ha acumulado en estos territorios. Asociado con lo anterior, los problemas de disponibilidad y abastecimiento de agua que caracterizan esa región y la deficiente gestión ambiental y particularmente de los recursos hídricos, constituyen elementos que contribuyen de forma particular a la configuración de condiciones de inseguridad ambiental.

La degradación de la microcuenca del río Cachil se encuentra influenciada por las actividades agrícolas y domésticas, que han afectado considerablemente los recursos hídricos, a pesar de los años los usuarios no reconocen el impacto que tienen sobre ellos, ya que la pérdida de la calidad del agua del río ocurre lentamente; las condiciones biológicas dentro del mismo decrecen gradualmente a lo largo del tiempo.

Con el presente estudio se pudo determinar la variación de la calidad de agua que se presenta dentro de la microcuenca, a lo largo de la época seca y la época lluviosa de los años 2009 y 2010, reportando el mes de agosto como el mes de mayor caudal y el mes de febrero el de menor caudal. Se identificó que en época seca en la parte baja de la microcuenca, ubicada en la aldea Cachil (el punto 3) el caudal es muy escaso debido a que aguas arriba se sitúa el tanque de captación del recurso que abastece a la cabecera municipal de Salamá.

La calidad del agua del río Cachil se ve impactada por la descarga de nutrientes, que provienen, principalmente de las actividades y poblados cercanos al río. Se pudo determinar que la parte alta de la cuenca es la que tiene menor grado de contaminación, punto que se ubica dentro de la aldea Llano Largo, así como la parte con mayor contaminación es la parte baja ubicada en la aldea Cachil.

La calidad de agua del río para agricultura es aceptable, se puede utilizar en el riego de la mayoría de cultivos, pero en algunos casos cuando éstos sean susceptibles a la salinidad limitan su uso. También se deben de tomar ciertas consideraciones en cuanto a su utilización debido a que presenta pH de 7.8 a 11.5, lo que podría provocar problemas de taponamiento de las líneas de conducción de riego.

Los índices de calidad de agua para consumo humano del río Cachil lo clasifican en un rango de medio a malo, por lo que se puede utilizar para consumo si se le aplican tratamientos adecuados.

II. Antecedentes

Dentro de la microcuenca del río Cachil se cuenta con cuatro nacimientos y tres tanques de distribución que abastecen a las comunidades de San Vicente, Pacaláj, Llano Largo y El Carmen (Basterrechea 2009). En el estudio de línea base del estado de los recursos naturales de la microcuenca del río Cachil, se determinó que el pH, sólidos totales disueltos, conductividad y temperatura estuvieron dentro de los límites máximos permisibles (LMP) de la Norma COGUANOR para agua potable. Sin embargo, los coliformes fecales, totales y E. coli estuvieron por arriba de los LMP. Los caudales de los nacimientos se encontraron entre 0.60 y 0.90 litros/segundo, para una dotación de 75 litros/habitante/día, los cuales podría abastecer a 3,214 habitantes. La población de las cuatro comunidades que se abastecen de estos nacimientos es de 1,107 habitantes; es decir, con este caudal actual podría abastecer tres veces la población actual. Estos resultados se obtuvieron en la época de lluvias, endicho estudio se recomienda aforarse en la época seca, para cuantificar el caudal real de estos nacimientos.

Las muestras de agua del río Cachil en dos puntos del mismo (parte media y baja), determinan que los valores de calidad de agua en cuanto a: color, sólidos suspendidos y coliformes se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, para el sitio aguas abajo. Y recomienda que debiera determinarse residuos de agroquímicos en el agua y suelo, debido a la agricultura intensiva en la microcuenca.

La cuenca hidrográfica del río Cachil, territorialmente forma parte del municipio de Salamá, Baja Verapaz; y se encuentra dentro del área denominada corredor seco, convirtiéndose en una de las áreas de mayor vulnerabilidad a la degradación, y donde el uso del agua tiene gran importancia

debido a que de ella depende el desarrollo agrícola de la zona, y el abastecimiento de agua potable de la cabecera municipal de Salamá.

El estudio de la calidad del agua dentro de la microcuenca del río Cachil se ha desarrollado dentro del Programa Conjunto (PC) “Fortalecimiento de la Gobernabilidad Ambiental ante los Riesgos Climáticos en Guatemala” financiado por el gobierno español por medio del Fondo ODM, que busca contribuir al logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Dicho Programa, también responde a las prioridades de Gobierno de Guatemala de atender la problemática de gestión de los recursos naturales identificados en el MANUD¹. Todas las actividades del Programa Conjunto están encaminadas a obtener resultados y objetivos que contribuyan a fortalecer la gobernabilidad del agua que el SNU define como *“Los procesos políticos, económicos, sociales; así como las instituciones a través de las cuales los gobiernos, la sociedad civil y el sector privado, toman decisiones acerca de cómo utilizar desarrollar y manejar los recursos hídricos de forma óptima”*.

Dentro de este programa se desarrolló la línea base del estado de los recursos naturales de 6 microcuencas en los municipios de Baja Verapaz, del cual se deriva el presente estudio.

¹ Marco de Asistencia de las Naciones Unidas para el Desarrollo 2005-2008.

III. Introducción

La presión sobre los recursos hídricos está aumentando, principalmente como resultado de las actividades humanas como el cambio del uso del suelo (avance de la frontera agrícola), la urbanización, el crecimiento demográfico, el aumento de la demanda por el agua, cuyas consecuencias se ven agravadas por el cambio climático y las variaciones de las condiciones naturales, además de que la falta de ordenamiento territorial, el deterioro de los recursos naturales y la pobreza propician que el país sea cada vez más vulnerable a desastres naturales, contaminación de sus fuentes de agua y a las consecuencias que de ésta se derivan.

La calidad del agua de un río es el resultado de un conjunto de factores: tanto la geoquímica de la cuenca hidrográfica como su régimen hidrológico. La calidad natural se ve alterada debido al ingreso de contaminantes de origen antropogénico. Esta alteración puede tener duras consecuencias para el ambiente y los seres humanos que dependen de este recurso para una serie de actividades, como el consumo humano y la agricultura.

El río Cachil constituye un claro ejemplo del entorno natural protegido sin industrias, por lo que se creería la baja probabilidad de una contaminación a gran escala y donde la población, concentrada en pequeños núcleos, depende principalmente de la producción agrícola, dispuesta en áreas pequeñas (minifundio), en las que su producción se destina en su mayoría al autoconsumo. Las actividades económicas que se realizan en el municipio de Salamá departamento de Baja Verapaz son principalmente, agrícolas y de esta actividad se producen desechos o restos de fertilizantes, que constituyen una fuente de contaminación y riesgos para quienes aprovechan el recurso hídrico en ese lugar.

En este documento se analizaron los cambios espacio-temporales de la contaminación del río Cachil, a través de la variación de las propiedades físicas, químicas y biológicas. Los estudios correspondientes a la época seca, período que por sus características climáticas, existe un descenso del caudal del río y el aumento del volumen de agua requerido para el riego y el aumento de la población por período vacacional; y en la época lluviosa debido al aumento de la precipitación y al arrastre de sedimentos.

IV. Planteamiento del problema

El deterioro de los recursos naturales principalmente el recurso hídrico incide negativamente en el desarrollo de la población cercana a la microcuenca del río Cachil, debido a que esta fuente suministra de agua potable a poblaciones externas a la microcuenca principalmente a la cabecera municipal. Esto se debe principalmente a las características biofísicas del área, formas de desarrollo de la población y la débil gestión vinculada al uso y manejo de los recursos naturales principalmente agua, que limitan las alternativas productivas y las oportunidades para el desarrollo local, que se manifiesta en el deterioro de la calidad de vida de la población.

Debido a las variaciones estacionales (época seca y lluviosa) y los diversos usos que se le dan a los recursos dentro de la microcuenca la calidad del agua del río Cachil se ve influenciada, como resultado del cambio del uso del suelo y aprovechamiento inadecuado de los recursos naturales renovables que afectan negativamente a los ecosistemas y que amenaza a la población. Donde se han obviado, aspectos como la capacidad de carga y resiliencia de los ecosistemas, en la actualidad las cuencas han perdido su capacidad natural para regular un aumento en las escorrentías así como la recuperación de la calidad hídrica de sus fuentes superficiales.

¿Existe variación en la calidad del agua del río Cachil influenciada por el aumento de la contaminación en la época seca?

Lo anterior ha generado la necesidad de cuantificar y evaluar la calidad del río en el tiempo y determinar la variación de la calidad del agua superficial en la época seca y lluviosa, a través de la agrupación simplificada de algunos parámetros, indicadores del deterioro del recurso y debido a las diferencias en

la interpretación de la información entre los encargados de tomar decisiones y expertos en el tema, existe un esfuerzo creciente para desarrollar un sistema indicador que agrupe estos parámetros representativos dentro de un marco de referencia unificado, para lo que es importante el monitoreo constante y sistemático de la calidad y cantidad del agua.

V. Justificación

El uso inadecuado de los recursos naturales, la poca o nula valoración de los bienes y servicios ambientales, la ocupación desordenada de las tierras, las amenazas en función de la deforestación, los desastres naturales, el aumento de la población y la agricultura a través del tiempo han contribuido con la degradación de los recursos naturales; aumentando las cargas contaminantes, provocando el interés de diversos sectores en el estudio del problema y el planteamiento de posibles soluciones en el manejo integral del agua. Una de las principales áreas de interés es la calidad del agua, que se ve influenciada por descargas de aguas residuales domiciliarias sin tratamientos adecuados.

La calidad del agua y el transporte de sedimentos, se consideran generalmente como verdaderos “indicadores” del buen manejo o del grado de deterioro de una cuenca y tomando como guía la presencia de enfermedades transmitidas por el agua, revelan la contaminación de la misma, resaltando que no toda la población tiene acceso a agua de calidad que cubra sus necesidades básicas. Por esta razón, es imprescindible que se realicen monitoreos constantes de la calidad del agua superficiales destinadas al consumo humano y se apliquen los tratamientos necesarios para potabilización de la misma.

Una de las relaciones que se produce dentro de la cuenca, y que afecta directamente los bienes hídricos, es la que existe entre el uso de la tierra y la pérdida del suelo por efecto de la erosión hídrica. Esta última ocurre como consecuencia de la precipitación natural e implica el arrastre del suelo por medio de la escorrentía superficial. Provocando un proceso de sedimentación que favorece la turbiedad del agua. Además de que las variaciones climáticas, como tormentas tropicales, influyen de forma impactante en la calidad del agua. Los bosques proporcionan beneficios a los sistemas hídricos, garantizando la

calidad del agua (regula sedimentos, turbiedad, temperatura y oxígeno disuelto), además de mitigar la erosión del suelo.

Existe una percepción extendida acerca de una generalizada contaminación de los diferentes cuerpos de agua del país, la información cuantitativa disponible en el tema es escasa, limitada y difusa. En el ámbito público existen varias instancias, que por su naturaleza están vinculadas al monitoreo de la calidad del agua superficial. No obstante, éste no se hace de manera sistemática debido a que estas instituciones presentan limitaciones presupuestarias y de personal capacitado.

VI. Hipótesis

El agua del río Cachil disminuye su calidad en la época seca por lo que aumenta la contaminación de los recursos hídricos, debido a la variación del caudal del río; afectando sus diversos usos dentro de la microcuenca.

VII. Objetivo General

Determinar la variación estacional del 2009-2010 de la calidad del agua del río Cachil, Salamá, Baja Verapaz, y su relación con el uso para riego y consumo humano

7.1 Objetivos específicos

- Evaluar el caudal del río Cachil para el período noviembre 2009 – octubre 2010
- Evaluar el estado de la calidad del agua del río Cachil mediante parámetros químicos, físicos y bacteriológicos, para uso humano y de riego para el período noviembre 2009 – octubre 2010
- Generar información calidad y cantidad de agua en el río Cachil.
- Determinar los índices de la calidad del agua del río Cachil en la época lluviosa
- Determinar los índices de clasificación de cuencas pertinentes

7.2 Alcances y limitaciones

- Alcance tener un reporte anual de la variación de la calidad del agua del río Cachil como referencia para estudios posteriores.
- La principal limitación fue la falta de recursos económicos para poder desarrollar con mayor precisión la investigación al aumentar el tamaño de muestra y la frecuencia
- La falta de información histórica principalmente en los índices de clasificación de cuencas que nos permitieran obtener un panorama certero de su clasificación.

VIII. Marco Teórico

8.1. Escorrentía superficial

Agua que circula en la superficie terrestre y se concentra en los ríos.

8.2. Calidad de agua

La calidad del agua está definida por sus características físicas, químicas y biológicas, sus parámetros se definen de acuerdo a un determinado uso (Agua potable, para riego, producción hidroeléctrica, uso industrial, etc.).(20)

8.3. Monitoreo de la calidad del agua superficial en relación al uso de la tierra

Se refiere a todas aquellas actividades que se realizan con el objetivo fundamental de establecer el comportamiento y tendencias de las distintas variables del recurso agua y que son de interés en el manejo de la cuenca e importantes para los distintos usos.

8.4. Temperatura

Influye en el proceso de autodepuración del agua. (Córdova 2002). (11)

8.5. Conductividad

La conductividad es la capacidad para transmitir la corriente eléctrica o el calor. Esta propiedad está directamente relacionada con la cantidad de sales disueltas. A mayor cantidad de sales disueltas mayor conductividad. El agua de buena calidad deberá tener un rango de entre 500 a 1600 $\mu\text{mhos/cm}$. (3)

8.6. Color

En el agua, el color puede ser verdadero o aparente, según contenga sustancias disueltas o en suspensión. (3)

8.7. pH

El pH del agua puede variar entre 0 y 14. Cuando el pH es mayor de 7, se cataloga como básica, y si está por debajo de 7, se denomina como ácida. Su valor define, la capacidad de autodepuración de una corriente, su contenido de materia orgánica (DQO, DBO), además de la presencia de otros contaminantes, como metales pesados. (3)

8.8. Coliformes totales

Se ha considerado como indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua destinada al consumo humano en razón de que, en los medios acuáticos, los coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y porque su origen es principalmente fecal. Por tanto, su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura. En general, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo. (29)

8.9. Coliformes fecales

Tienen una relación directa con la contaminación de aguas por material fecal, por eso puede ser una limitante para aguas de consumo humano. Refiriéndose a la bacteria principal del grupo, la *Escherichia coli*. Asimismo, el número de colonias de esa bacteria que se detecte al hacer el análisis es proporcional al grado de contaminación fecal.(29)

8.10. Oxígeno disuelto

Es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua. Los procesos de consumo de materia orgánica disuelta, suspendida o precipitada, presente en el agua pueden agotar la concentración de este gas, es uno de los parámetros más significativos para conocer el grado de pureza de agua superficial. Se

encuentra en solución en todas las aguas superficiales y subterráneas; en la superficie su contenido cambia continuamente por las variaciones de la temperatura externa, el movimiento del agua y procesos fotosintéticos, entre otros. La presencia de sustancias (detergentes y jabones) en la superficie impide la reoxigenación del cuerpo hídrico. (Villegas 1995).

8.11. Saturación de oxígeno

Como la temperatura afecta a la concentración de oxígeno. El nivel de saturación es la máxima concentración de oxígeno disuelto que puede presentarse en el agua a una temperatura específica, en ausencia de otros factores, por lo que el porcentaje de saturación se calcula dividiendo la concentración de oxígeno entre el nivel de saturación y multiplicando ese cociente por 100. Si su valor es superior al 100% la muestra se encuentra en condiciones de hipersaturación, lo que sucede en casos de eutrofia. (3)

8.11.1. Porcentaje de saturación de oxígeno en agua

Es el porcentaje de oxígeno contenido en una muestra de agua relacionado con la cantidad de oxígeno presente en la misma, en su punto de saturación a la temperatura y presión especificada.

A una presión atmosférica (760mm Hg) la siguiente expresión es válida:

$$\%SAT = -0.6537153 - 0.0104799 * T + 6.918079 * OD + 0.2075711 * T * OD - 0.0129793 * OD * OD$$

Dónde: La temperatura (T) está en °C,
El oxígeno disuelto (OD) en mg/L o ppm de oxígeno
Para hacer la corrección por presión se debe multiplicar por un factor (18)

8.12. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Medida de la materia orgánica biodegradable. La DBO es utilizada en la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas. Su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores. Existen diferentes medidas de DBO, la DBO5 es la cantidad de oxígeno consumido en 5 días(16).

8.13. Demanda química de oxígeno

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación. (16)

8.14. Nitratos

Altas concentraciones de este elemento pueden ser nocivas para la salud. La deforestación puede conducir a altas concentraciones de nitratos en el agua. En la escorrentía de áreas deforestadas puede ser 50 veces mayor que en una zona con presencia de masas forestales en varios años. (11)

8.15. Nitritos

Éstos pueden provenir de descargas industriales o de la oxidación del amoníaco. (3)

8.16. Fosfatos

Su importancia, en cuanto a la evaluación con el ICA, es que esta variable determina niveles de eutrofización. Se encuentran en compuestos químicos, como detergentes domésticos e industriales, la orina, entre otros. La

búsqueda de estos componentes se hace sólo en aguas superficiales; en aguas profundas éstos no alcanzan a llegar. (3)

8.17. Dureza total

Al igual que la alcalinidad, no es importante en la determinación de contaminación del agua, pero si lo es desde el punto de vista técnico. (16)

8.18. Turbiedad

Se debe a la presencia de material coloidal o en suspensión y es la propiedad óptica que causa que la luz se desvíe o se absorba en vez de transmitirse en línea recta. Las arcillas, materia orgánica e inorgánica finamente dividida son las responsables de la turbiedad en las aguas. El grado de turbiedad no es igual a la concentración de sólidos suspendidos, es la expresión de uno de los efectos de los sólidos suspendidos sobre las características del agua (Córdoba 2002). (11)

8.19. Sólidos totales disueltos

Concentración de minerales disueltos en el agua (limo, arcilla, arena) indicador de limitante para agua de consumo humano. La contaminación física es la turbiedad y la sedimentación. La concentración puede provocar efectos laxantes y mal sabor. (11)

8.20. Sólidos suspendidos

Cantidad de materia orgánica y partículas sólidas suspendidas. (16)

8.21. Morfometría de la cuenca

La morfometría abarca aspectos lineales, de superficie y de relieve. (Herrera 2004).

8.22. Relación de adsorción de sodio (RAS)

C1 Aguas de baja salinidad: pueden utilizarse en la mayoría de los suelos y cultivos, las lluvias de las regiones lavan fácilmente las pocas sales que llevan las aguas. Sin embargo, en regiones con mediana a baja precipitación y en donde los suelos presentan una mediana permeabilidad pueden provocar salinidad a muy largo plazo, pero si se controla es fácilmente lavada con un adecuado riego. Se exceptúan aquellos suelos pesados, muy lentamente o nada permeables, o bien con drenaje interno restringido, más aun si estos se localizan en zonas áridas. Estos suelos requieren de un control o monitoreo puntual. (4)

C2 Aguas de mediana salinidad: presentan cierto grado de restricciones, pueden ser usadas en suelos con buen drenaje con cultivos tolerantes a cierta salinidad. Su uso es permitido en regiones con lluvias apreciables, ya que éstas provocan el lavado de las sales. Su uso es restringido en suelos pesados, poco permeables y con una capa freática muy poco profunda y más aún en regiones donde las escasas lluvias no favorecen el lavado de sales se recomienda ser usados bajo manejo de suelo.(4)

S1 Agua de bajo contenido de sodio: pueden utilizarse en casi todos los suelos y en la mayoría de cultivos, son aguas de amplio uso, con muy poca probabilidad de alcanzar toxicidad de sodio. Sin embargo, aquellas aguas cuyo RAS está cercano a 10 deben usarse con cierta cautela en suelos pesados. (4)

8.23. Índices de calidad del agua

Para el estimar el índice de calidad, WQI_{NSF} , se asignaran factores de ponderación a cada una de las variables en las que se fundamenta, de tal forma que éste índice pueda determinarse como (Krendel y Novontny, 1980) (28):

$$WQI = \sum_{i=1}^9 W_i \times Q_i$$

Donde:

W_i denota el factor de importancia o ponderación de la variable (i) respecto a las restantes variables que conforman el índice. Y ponderados entre 0 y 1, resultando la sumatoria igual a 1.

Q_i es la calidad del parámetro (i), en función de su concentración, la calificación esta entre 0 y 100.

En relación al valor numérico del ICA, éste no representa más que una posibilidad de comparación si se es consistente en su cálculo. Con la idea de tener criterios generales. A continuación se presentan algunos lineamientos, asociado al valor numérico del ICA; se definen 6 rangos de estado de calidad del agua:

(E) Excelente; (A) Aceptable; (LC) Levemente contaminada; (C) Contaminada; (FC) Fuertemente contaminada y (EC) Excesivamente contaminada.

IX. Descripción de la microcuenca del río Cachil

9.1. Río Cachil

La microcuenca del río Cachil se encuentra ubicada al norte del Municipio de Salamá, Baja Verapaz, perteneciente a los sistemas ecológicos secos de la depresión y valle del Chixoy. Ubicada en las coordenadas (16).

N15°12"00' –W 90°20"17'	N15°10"13' –W 90°14"14'
N15°08"53' – W90°20"31'	N15°07"17' – W90°13"07'

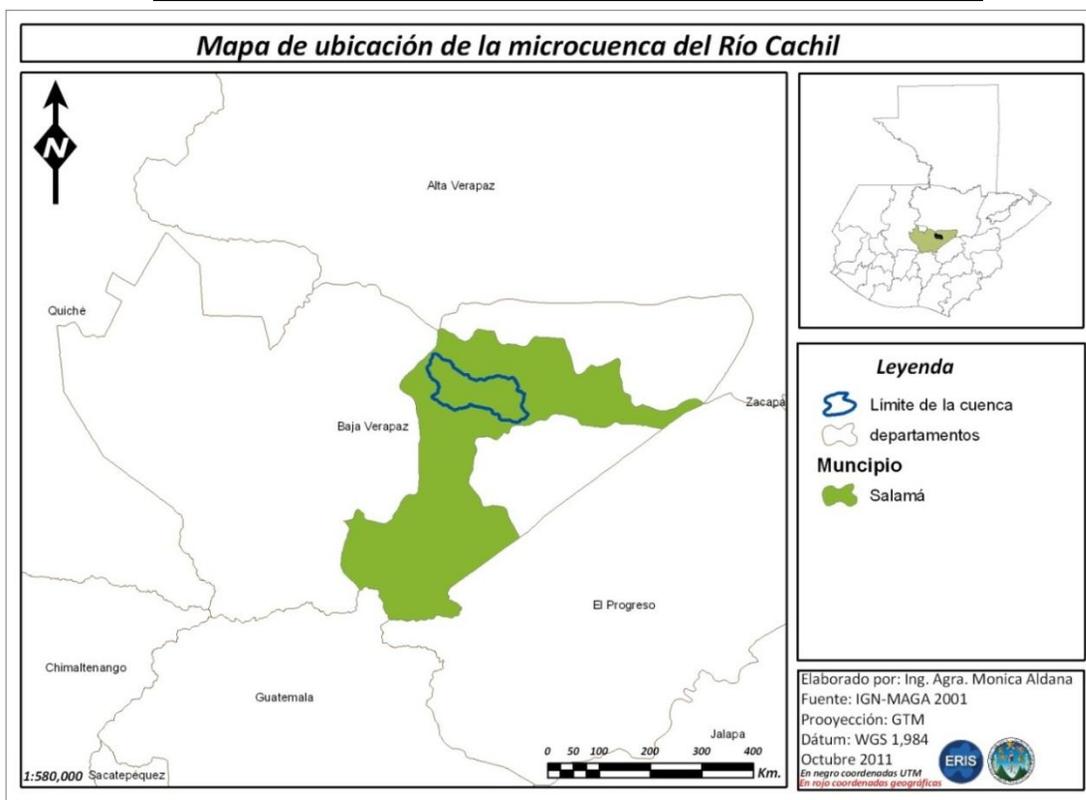


Figura 1. Mapa de ubicación de la microcuenca del río Cachil. Fuente: propia

9.2. Límites

- Norte: montañas de Quisis, cerro El Conejo y la hacienda Santo Tomás
- Sur: Valle de Salamá
- Este: montañas Quisis, cerro San Vicente, Palo Verde, Biotopo del Quetzal
- Oeste: finca Paso Ancho, río Salamá(16)

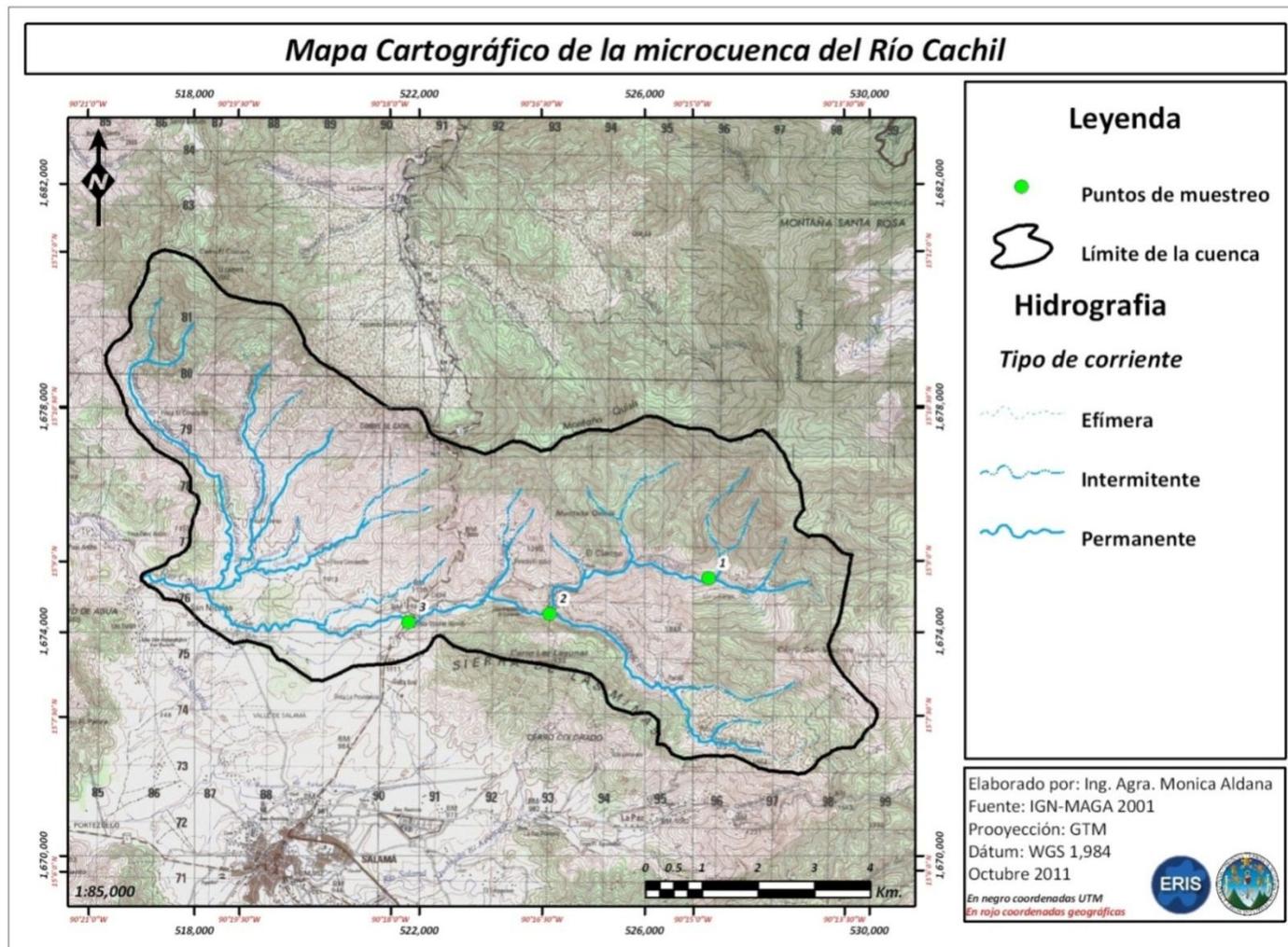


Figura 2. Mapa Cartográfico de la microcuenca del río Cachil. Fuente: propia.

9.3. Comunidades y población

La microcuenca tiene una superficie de 62.8187km², donde se encuentran las comunidades: Llano Largo, Pacaláj y San Vicente (Las Canoas) en la parte alta; El Carmen en la parte media; San Nicolás, Concepción y Cachil en la parte baja. Al 2009 se estimó una población total de 2,308 personas y 456 hogares. La densidad poblacional es de 35.09 habitantes/km²). Los asentamientos comunitarios están acentuados en la parte alta y media de la microcuenca, mientras que en la parte baja (caseríos), éstos se ubican en fincas privadas que ejercen algún control sobre ellos. (3)

Cuadro 1. Comunidades de la microcuenca del ríoCachil:

1.	Finca Concepción	2.	Finca Cachil	3.	Trinidad Garrido
4.	El Carmen	5.	La Ermita	6.	Llano Largo
7.	El Rincón El Lobo	8.	Pacalaj	9.	San Vicente
10.	Finca El Mango	11.	El Rincón	12.	Finca El Conacaste
13.	San Nicolás				

Fuente: propia

9.4. Altura sobre el nivel del mar y topografía

La altura máxima en la microcuenca es de 2,348 msnm en la montaña Quisis y la altura mínima es de 858 msnm en la desembocadura del río Cachil con el río Salamá.

La topografía es quebrada, más o menos en la cota de 1,000 msnm empieza el terreno con pendientes de suaves ha inclinado. Es a partir de esta cota donde geomorfológicamente la microcuenca forma un pie de monte formado por derrubios y sedimentos de las partes montañosas. (IGN-MAGA 2001)

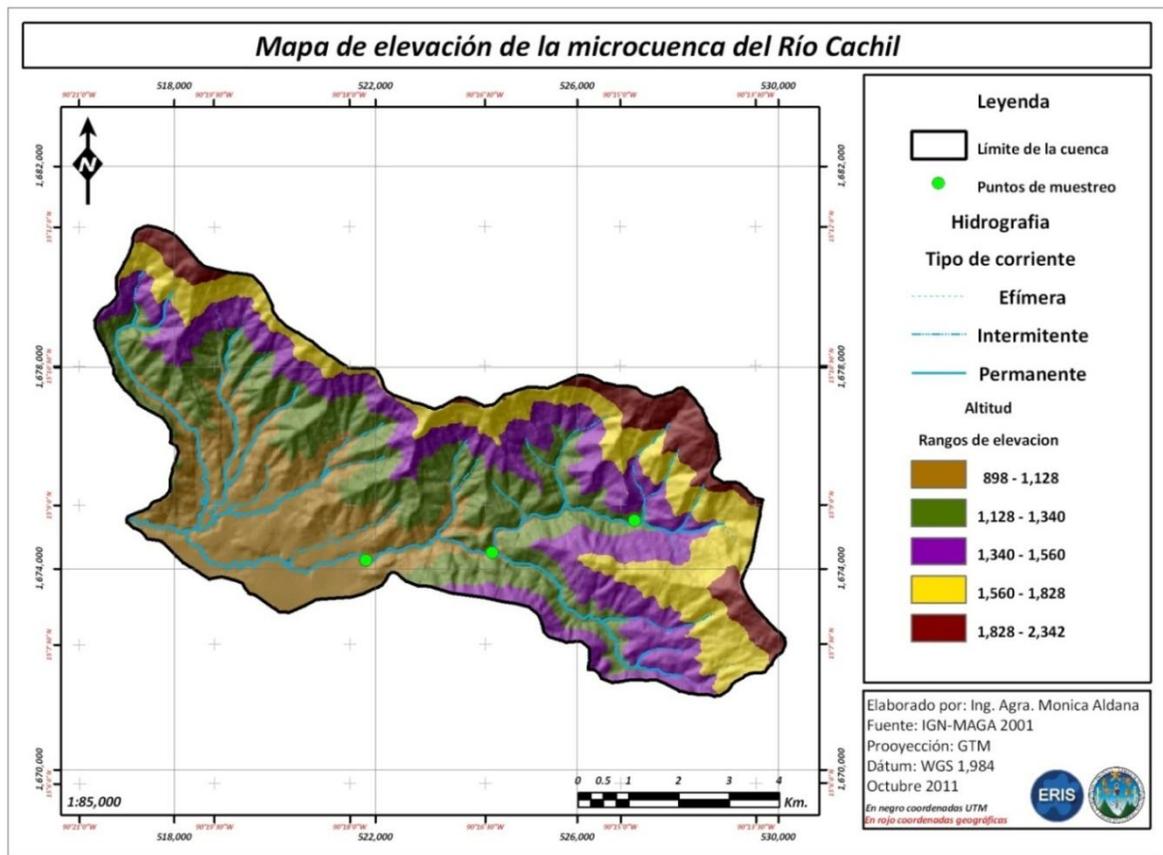


Figura 3. Mapa de elevación de la microcuenca del río Cachil. Fuente: propia.

9.5. Recurso agua superficial

El área donde está ubicada la microcuenca se encuentra, según el mapa del recurso agua superficial, en la categoría de agua dulce estacionalmente abundante que se define de la siguiente manera: (mapa de recursos de agua superficial Guatemala)

- Moderadas cantidades (10 a 100 m³/s) disponible en ríos desde mayo hasta febrero (época lluviosa). Magras o insuficientes cantidades prevalecen durante marzo y abril (época seca).

- Pequeñas cantidades disponibles en ríos desde mayo hasta enero (época seca). Magras (0.0 a 0.1 m³/s) o insuficientes (<0.01 m³/s) cantidades prevalecen desde febrero hasta abril (época seca).

Registrando agua dulce = máximo de totalidad de sólidos disueltos (TSD) <1,000 (mg/L); máximo de cloruros <600 mg/L; y máximo de sulfatos <300 mg/L. y Agua salobre= máximo TSD >1,000 mg/L pero <15,000 mg/L.

9.6. Zona de vida

Las zonas de vida predominantes en la microcuenca son en la parte baja bosque seco subtropical, mientras que en la parte media predomina la zona de bosque húmedo subtropical templado y bosque muy húmedo subtropical frío.

(3)

9.7. Clima

Climadiagrama por estación meteorológica la cual se realizó con base en los datos obtenidos de la estación Salamá y San Jerónimo del año 2000 al 2009.

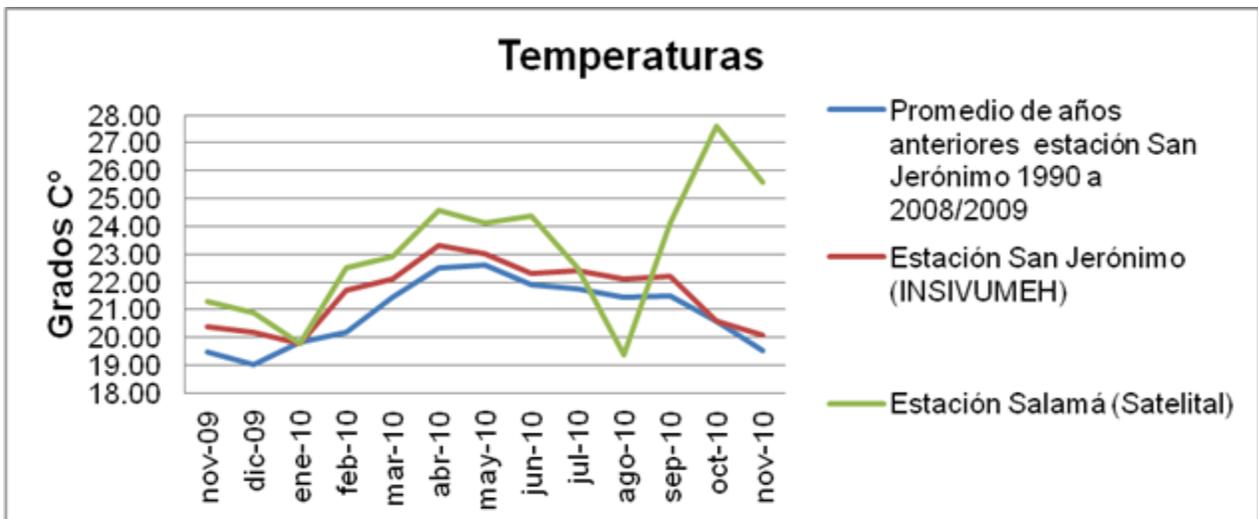


Figura 4. Temperaturas reportadas de noviembre del 2009 a noviembre del 2010. Fuente: propia.

En la figura 4 podemos observar que la temperatura se eleva entre los meses de enero y abril (época seca) y comienza su descenso de mayo a diciembre. Reportando la máxima temperatura en el mes de abril del 2010.

9.7.1. Precipitación promedio anual

La precipitación promedio anual varía entre los 1,200 a 1,000 mm. Los valores más altos se presentan en la parte alta al norte y los menores en las partes media y baja al sur este. Debido a la baja cantidad de estaciones meteorológicas en Baja Verapaz, se desconocen con certeza los valores de intensidad de las lluvias, para estimar los efectos de los eventos precipitación y escorrentía.

La precipitación promedio anual es ligeramente menor al promedio nacional, pero aun así, la lluvia provee de suficiente agua para la agricultura bajo riego y abastecimiento a la cabecera municipal de Salamá y a las comunidades próximas.

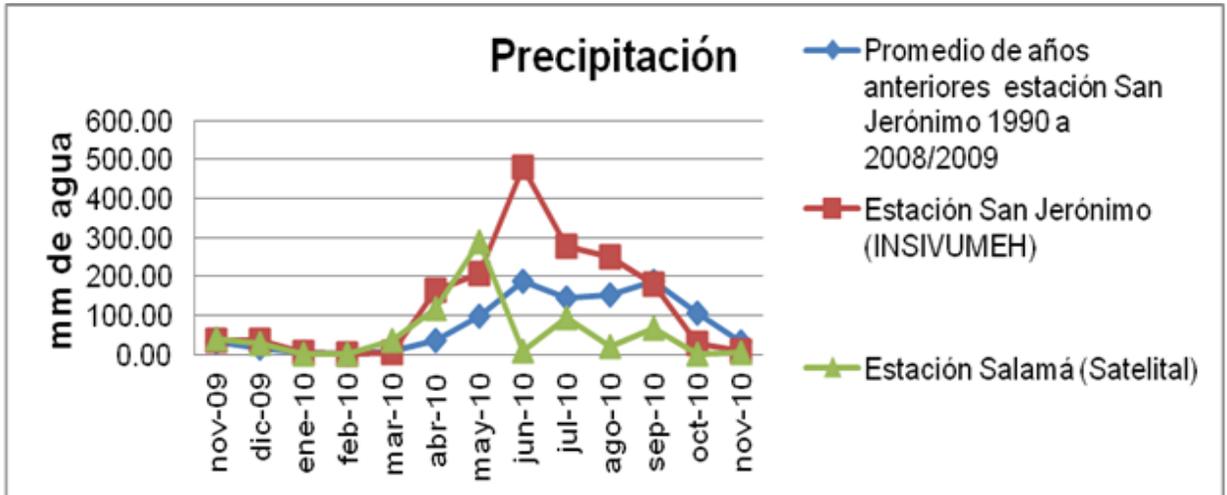


Figura 5. Precipitación media de años anteriores y de noviembre 2009 y diciembre 2010.

Fuente: propia.

En la figura 5 se observa el comportamiento de las precipitaciones en los años anteriores que muestran los meses más lluviosos de mayo a octubre, en el comportamiento de los meses de noviembre 2009 a noviembre 2010 se observa la mayor precipitación en el mes de junio según la estación San Jerónimo, pero según la estación Salamá (satelital) muestra un aumento de la precipitación en el mes de mayo; es importante resaltar que a finales del mes de mayo, el país se vio afectado por la tormenta tropical Ágatha, situación que se refleja en la gráfica.

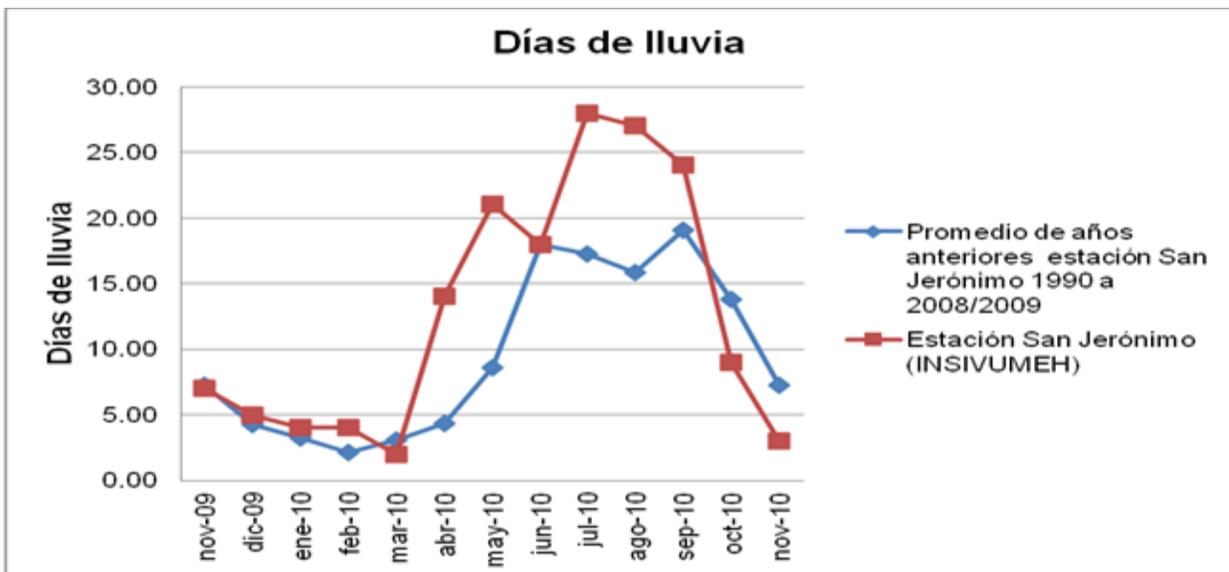


Figura 6. Días de lluvia. Fuente: propia.

Como se ve en la figura 6 históricamente los meses con mayor cantidad de días de lluvia son: junio, julio, agosto y septiembre; los meses con menos días de lluvia son de enero a marzo. Es importante resaltar que en los meses de noviembre 2009 a noviembre 2010 se reporta un alza en los días de lluvia del mes de mayo, situación que no se ve en los promedios históricos, esto debido a que este mes se vio influenciado por la tormenta tropical Ágatha que azotó el país.

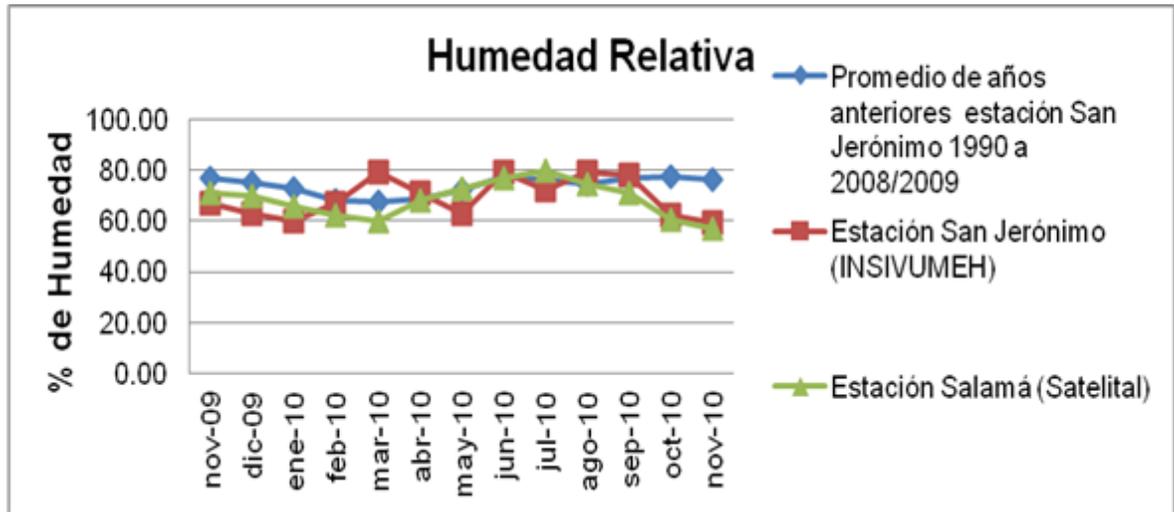


Figura 7. Humedad relativa. Fuente: propia.

La humedad relativa se mantiene históricamente entre 67 y 78%. Paralos meses de noviembre del 2009a noviembre del 2010 se encuentra entre 60 y 80% de humedad relativa.

X. Descripción del área de estudio

Cuadro 2. Ubicación de los puntos de muestreo

Punto	Lugar	Oeste	Norte
1	Llano Largo	W90° 14' 50.43''	N 15° 08' 49.79''
2	El Carmen	W 90° 16' 25.19''	N15°08'29.48''
3	Cachil	W 90° 17' 48.88''	N 15° 08' 24.34''
4	Tanque	W90° 16' 45.44''	N 15° 08' 35.23''

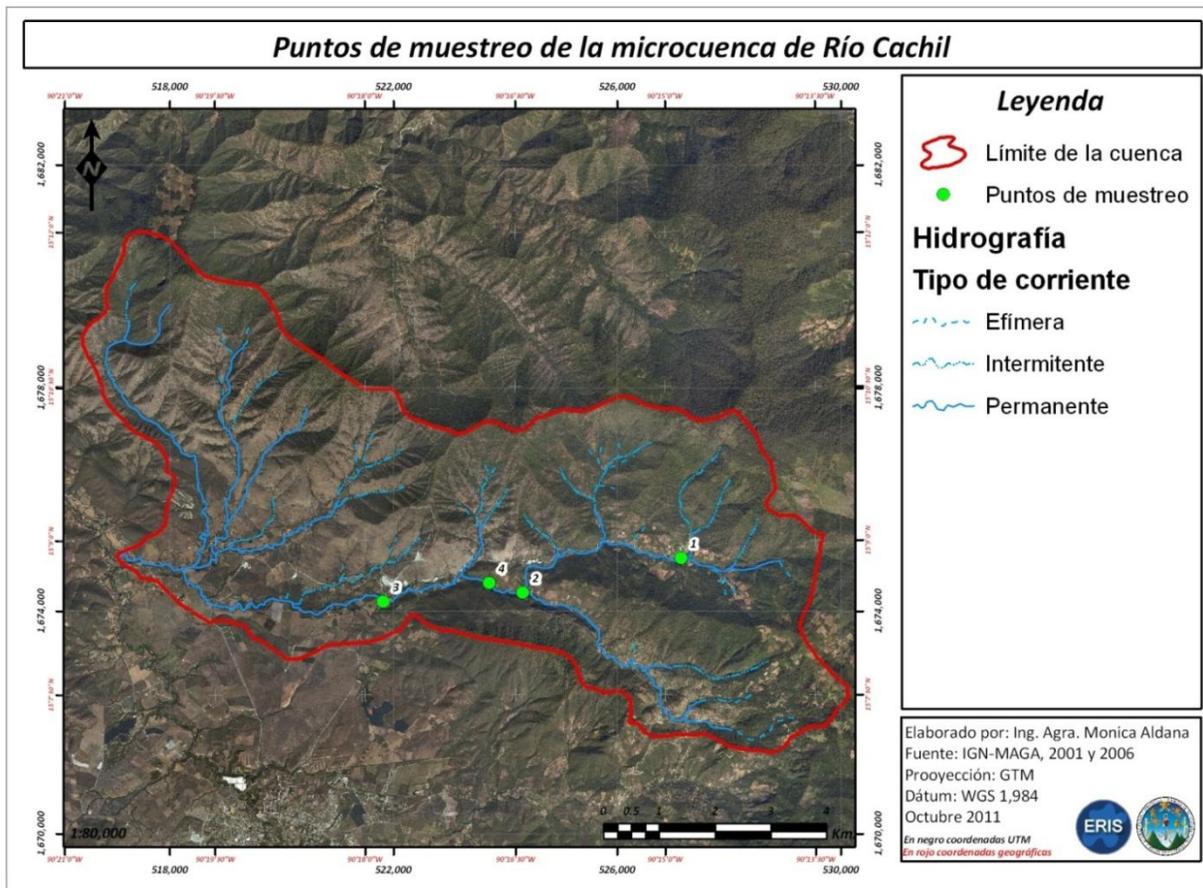


Figura 8. Ubicación de puntos de muestreo incluyendo tanque de captación de agua.

Fuente: propia

Tanque de captación que abastece la planta de tratamiento de agua potable ubicada en la aldea Cachil. Dicha planta cuenta con 2 tanques de sedimentación, 4 tanques de filtros lentos de arena, cloración gas líquido y tiene una capacidad $0.072 \text{ m}^3/\text{s}$; actualmente trabaja con un promedio de $0.03 \text{ m}^3/\text{s}$; procedentes del río Cachil. También existe un pozo mecánico en la aldea Cachil con una capacidad de $0.012 \text{ m}^3/\text{s}$. Abastece a 4025 usuarios incluyendo 27 usuarios en la aldea Cachil. (Municipalidad de Salamá).

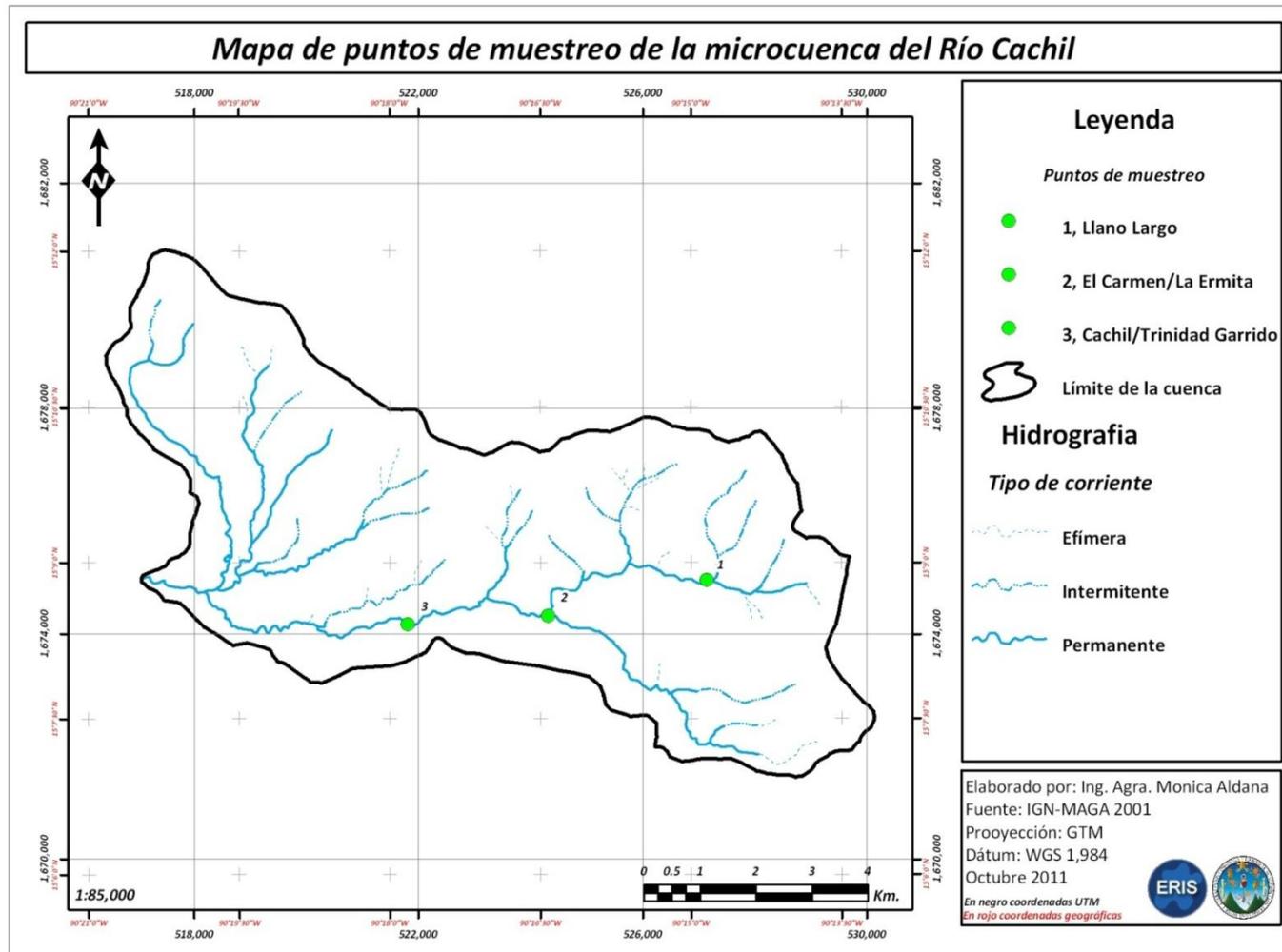


Figura 9. Ubicación de puntos de muestreo. Fuente: propia.

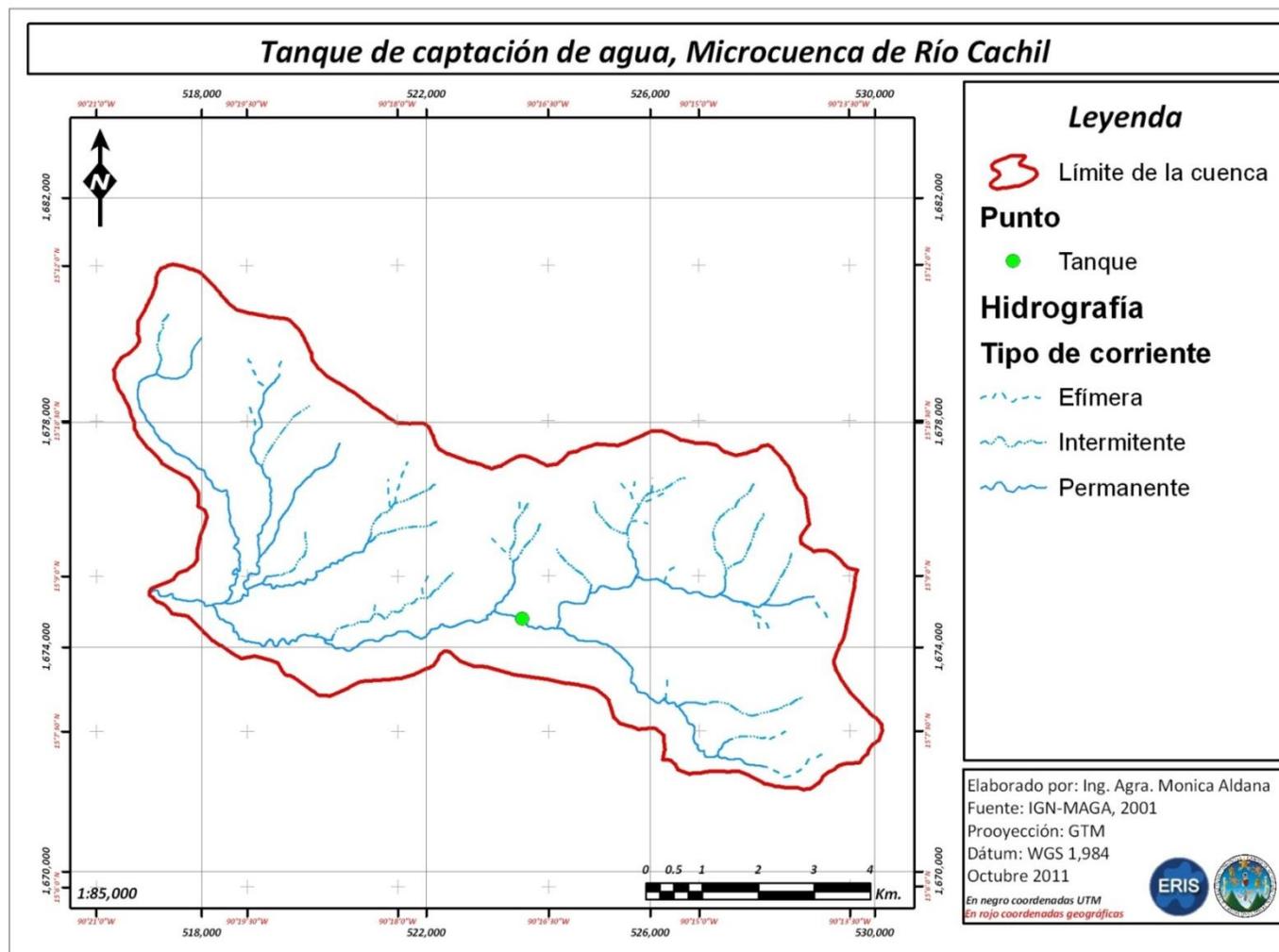


Figura 10. Ubicación de Tanque de captación de agua en la microcuenca del río Cachil. Fuente: propia.

XI. Metodología

11.1. Caracterización biofísica de la microcuenca

Se recopiló información secundaria existente de la zona relacionada con área de la cuenca, porcentaje del área de cada uso de la tierra predominante, clasificación del suelo, precipitación, temperatura, cobertura vegetal, pendiente, geología, hidrología, potencial de recarga natural. Para eso se realizó una búsqueda en bibliotecas, municipalidades, centros de salud, tesis, libros y artículos importantes relacionados al tema.

11.2. Caracterización socioeconómica

Se recopiló y sistematizó la información relevante sobre demografía, educación, vivienda ingresos, esta información se recopiló a partir de los registros de municipalidades, centros de salud y censos nacionales.

11.3. Recopilación de información

Para la obtención de la información descrita en el párrafo anterior, se consultarán las siguientes fuentes de información:

1. Censo Nacional XI de población y VI de Habitación 2002 (INE).
2. Mapa de Pobreza en Guatemala al 2002 (INE).
3. IV Censo Agrícola 2003.
4. Indicadores Básicos de Salud en Guatemala, 2001 (MSPAS)
5. Diccionario Geográfico de Guatemala.
6. Municipalidad de Salamá
7. Centro de Salud de Salamá
8. SEGEPLAN, entre otras.

11.4. Morfometría de la cuenca

Para llevar a cabo los cálculos de morfometría de la microcuenca se delimitó la microcuenca del río Cachil en la hoja cartográfica de Salamá, y se digitalizó la microcuenca mediante el software Arc Gis 9.1.

11.4.1. Aspectos lineales

11.4.1.1. Perímetro de la cuenca

Se estableció la longitud del perímetro de la cuenca delimitada, lo cual se realizó por medio del programa Arc Gis 9.1.

11.4.1.2. Clases de corrientes (con Arc Gis 9.1)

- Permanentes (definidas en el mapa).
- Intermitentes (definidas en el mapa).
- Efímeras (se trazaron de acuerdo a las curvas de nivel)

11.4.1.3. Orden de corrientes

Horton (1945), sugirió la clasificación de cauces de acuerdo al número de orden de un río, como una medida de la ramificación del cauce principal en una cuenca hidrográfica. Un río de primer orden es un tributario pequeño sin ramificaciones. Un río de segundo orden es uno que posee únicamente ramificaciones de primer orden. Un río de tercer orden es uno que posee solamente ramificaciones de primero y segundo orden y así sucesivamente

11.4.2. Aspectos de superficie

11.4.2.1. Área de la cuenca (A_k)

El área de la cuenca se calculó por medio del programa Arc Gis 9.1

11.4.2.2. Relación de forma (R_f)

Se determinó por medio de la ecuación propuesta por Horton (1945).

$$Rf = \frac{Ak}{Lc^2}$$

Donde:

Ak = área de la cuenca en estudio

Lc = longitud del cauce principal, desde el nacimiento del cauce hasta la salida en la cuenca (punto de aforo).

11.4.2.3. Densidad del drenaje (D)

Es un indicador de la respuesta de la cuenca ante una lluvia fuerte, por la relación entre la infiltración y la escorrentía.

$$D = \frac{La \text{ Km/km}^2}{Ak}$$

Donde:

La = longitud acumulada de las corrientes

Ak = área de la cuenca

La longitud total de los cauces en una cuenca, dividida por el área total de drenaje, define la densidad de drenaje o longitud de canales por unidad de área.

11.4.2.4. Frecuencia de densidad de corrientes (Fc)

Indica la eficiencia hidrológica de una cuenca, a mayor número de corrientes, mayor frecuencia y mayor eficiencia de drenaje, y se obtuvo de la siguiente manera: número total de corrientes/ área total.

$$Fc = \frac{Ntc}{Ak}$$

Donde:

Ntc= número total de corrientes

11.4.3. Aspectos de relieve

Los aspectos a considerar son: pendiente media de la cuenca, pendiente del cauce principal y elevación media de la cuenca.

11.4.3.1. Pendiente media de la cuenca (Sc)

Se calculó por medio del método de Alvord:

$$Sc = D \times L/Ak * 100\%$$

Donde:

D =diferencia vertical entre curvas de nivel.

L=longitud de las curvas de nivel dentro de la cuenca (se determinó en el software ArcGis 9.1.)

11.4.3.2. Pendiente del cauce principal (Scp)

Se determinó por medio del método analítico, el cual se realiza de acuerdo a las diferencias de altura entre curvas de nivel y la longitud del cauce principal, utilizando la siguiente fórmula.

$$Scp = \text{diferencia de H/dH} \times 100$$

Donde:

Diferencia de H = diferencia de nivel entre la curva más alta y la baja que toca el cauce principal.

dh = longitud o distancia horizontal del cauce principal.

11.5. Agua Superficial

- Hidrografía: se digitalizó un mapa de corrientes de la microcuenca con el software ArcGis 9.1.
- Hidrometría: se realizó un aforo en el punto indicado de la microcuenca Cachil; los aforos se realizaron con el método de Sección-Velocidad,

calculando la velocidad media con molinete y algunas veces con flotador, para lo que se utilizó cinta métrica, rafia y un cronómetro.

11.5.1. Monitoreo de la calidad del agua superficial

Para determinar los parámetros de calidad de agua se definió la siguiente información *in situ*:

- Se establecieron tres puntos de muestreo dentro de la microcuenca del río Cachil.
- Se ubicaron con ayuda de Gps, los puntos de monitoreo, para posteriormente descargar los puntos y se ubicaron en la hoja cartográfica.
- Se tomaron muestras para estimar los parámetros necesarios para la determinación de la calidad del agua (físicos, químicos y bacteriológicos).
- Se utilizó el equipo multiparamétrico **Hach** directamente del campo(*in situ*) se midió: temperatura, oxígeno disuelto %, conductividad y pH. Se tomaron muestras que se analizaron en el laboratorio (nitritos, nitratos, fosfatos, coliformes totales y fecales).

11.5.1.1. Calidad físico-química y bacteriológica, análisis de laboratorio.

Se tomaron muestras en tres puntos de la microcuencas y se realizó un análisis físico, químico y bacteriológico en el laboratorio, del mes de noviembre del 2009 a octubre del 2010. Estos parámetros se determinaron por medio de un laboratorio portátil del programa conjunto completándolos con los análisis realizados en el laboratorio Unificado de Agua en la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Con estos parámetros se determinó si el agua es apta para el consumo humano o riego.

Para los índices de calidad de agua se tomaron las muestras en los meses de la época de lluvia (abril, mayo, junio, agosto, octubre). Y se incluyó en los puntos de muestreo el tanque de captación de agua, los análisis de estos parámetros se realizaron en el laboratorio Unificado de Agua en la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Se compararon los resultados con la norma de calidad de agua potable COGUANOR.

Cuadro 3. Conductividad eléctrica

Conductividad eléctrica		Contenido en sales disueltas
CE $\mu\text{S/cm}$	Riesgo	mg/Lo ppm
0-250	Bajo	160
250-750	Medio	160 - 480
750-2250	Alto	480 - 1440
más de 2250	Muy alto	mayor de 1440

Fuente: propia.

11.5.1.1. Clasificación de la DBO5

Cálculos:

$$\text{DBO}_5, \text{ mg/L} = (D_1 - D_2)/P$$

Donde:

D_1 = OD de la muestra diluida inmediatamente después de la preparación, mg/L,

D_2 = OD de la muestra diluida después de 5 d de incubación a 20°C, mg/L,

P = fracción volumétrica decimal de la muestra empleada

Cuadro 4. Clasificación de la DBO

CRITERIO	CLASIFICACIÓN
$DBO_5 \leq 3$	EXCELENTE No contaminada
$3 < DBO_5 \leq 6$	BUENA CALIDAD Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable
$6 < DBO_5 \leq 30$	ACEPTABLE Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente
$30 < DBO_5 \leq 120$	CONTAMINADA Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal
$DBO_5 > 120$	FUERTEMENTE CONTAMINADA Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales

Fuente: http://www2.ine.gob.mx/emapas/download/lch_calidad_del_agua.pdf

Cuadro 5. Clasificación de la DQO

CRITERIO	CLASIFICACIÓN
$DQO \leq 10$	EXCELENTE No contaminada
$10 < DQO \leq 20$	BUENA CALIDAD Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable
$20 < DQO \leq 40$	ACEPTABLE Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente
$40 < DQO \leq 200$	CONTAMINADA Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal
$DQO > 200$	FUERTEMENTE CONTAMINADA Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales

Fuente: http://www2.ine.gob.mx/emapas/download/lch_calidad_del_agua.pdf

Cuadro 6. Clasificación de dureza

Concentración (Ca + Mg)	Características
0 – 75 mg/L	Blanda
75 – 200 mg/L	Moderadamente dura
200 – 300 mg/L	Dura
> 300 mg/L	Muy dura

http://www.scielo.org.mx/scielo.pHp?pid=S1405-77432010000200004&script=sci_arttext

11.5.1.2. Dureza

Determinación de la dureza total

- Medir 50 cm³ de una muestra de agua y colocarlos en un Erlenmeyer
- Agregar 1 mililitro de hidróxido de amonio, para tener un pH de 10
- Agregar 3 gotas de indicador ericromo negro 7, dando un color morado
- Titular con EDTA, con lo cual variará el color a azul oscuro, que es el punto final de la titulación
- Se calcula multiplicando por un factor

Volumen de la muestra cm ³	Multiplicar los cm ³ de EDTA por
50	20
25	40
10	100

- Medir 50 cm³ de una muestra de agua y colocarlos en un Erlenmeyer
- Agregar 2 cm³ de NaOH 1.0N
- Agregar 3 gotas de indicador murexida, dando un color fucsia
- Titular con EDTA, con lo cual variará el color a lila, que es el punto final de la titulación
- Se calcula multiplicando por un factor:
MI usados de EDTA * (8.016) = Dato

Constante

Dato * (2.497)= dureza de calcio

Constante

Determinación de magnesio

Calcular: Dureza total = dureza de calcio + dureza de magnesio
Dureza total – dureza de calcio = dureza de magnesio
Magnesio = $\frac{\text{Dureza de magnesio}}{4.196}$ = Mg
4.196 (constante)

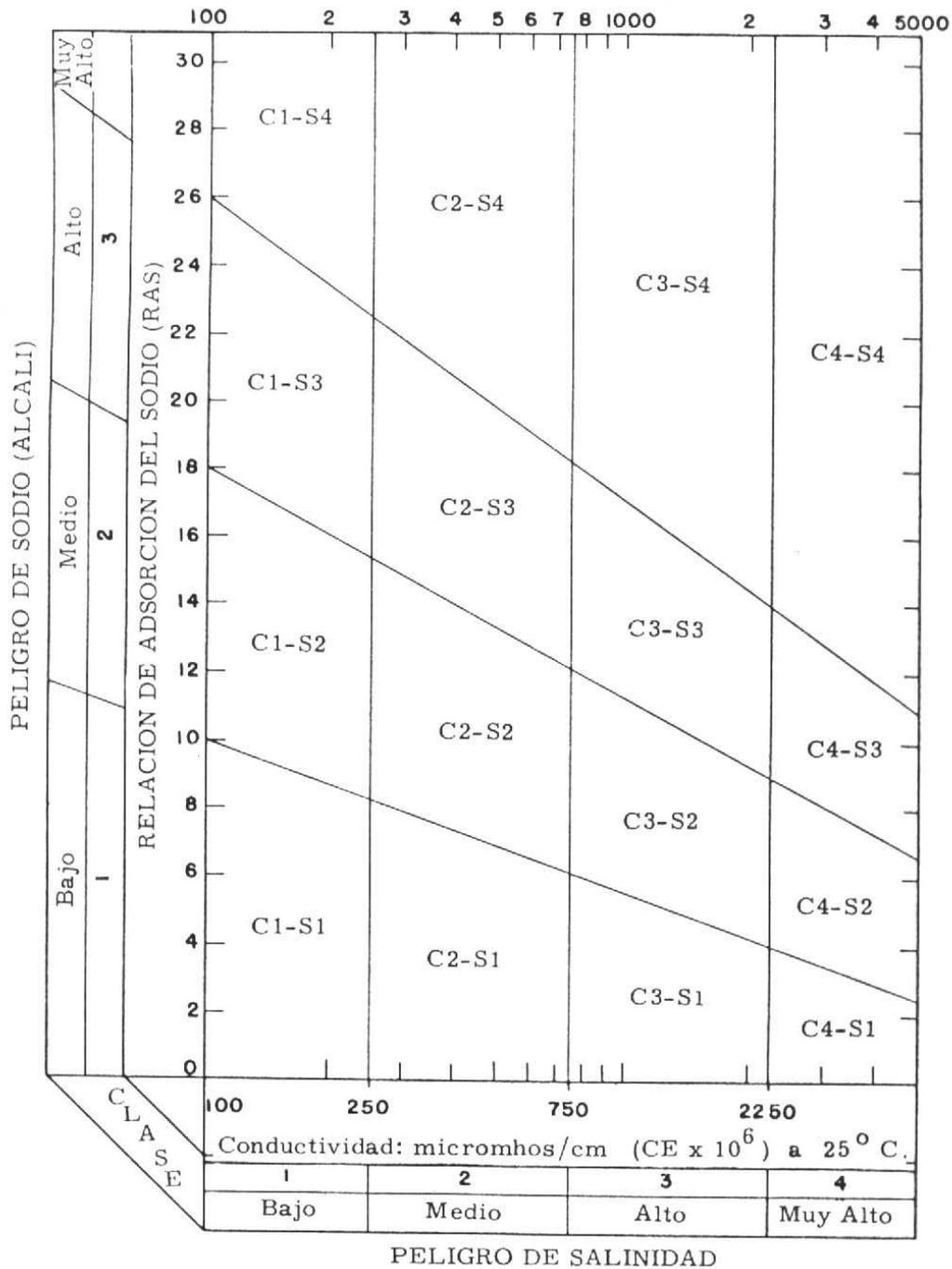
Cuadro 7. Clasificación de dureza

Cuadro indicativo de valores de dureza Los iones se expresan en mg/L.	
Tipo de agua	Grados hidrométricos franceses
Muy blanda	Menos de 7
Blanda	7-14
Medianamente blanda	14-22
Medianamente dura	22-32
Dura	32-54
Muy dura	>54

11.6. Clasificación de agua para riego

RAS: Relación de Adsorción de Sodio

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}; \quad \text{donde los cationes se expresan en meq/l.}$$



Normas Riverside: Diagrama para clasificar las aguas de riego según el U.S. Salinity Laboratory Staff (1954)

11.7. Índices de calidad del agua

Para el estimar el índice de calidad, WQI_{NSF} , se asignaron factores de ponderación a cada una de las variables en las que se fundamenta, de tal forma que este índice pueda determinarse como: (Krendel y Novontny, 1980):

$$WQI = \sum_{i=1}^9 W_i \times Q_i$$

Dónde:

W_i : denota el factor de importancia o ponderación de la variable (i) respecto a las restantes variables que conforman el índice. Y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

Q_i : la calidad del parámetro (i), en función de su concentración y cuya calificación oscila entre 0 y 100. (28)

En función de esta clasificación se establecieron los criterios que a continuación se presentan, dependiendo del uso al que se destina el agua indicándose las medidas o límites aconsejables. Es importante mencionar que dichos criterios no deben tomarse como dogma y deberán ser analizados para cada caso en particular. (28)

11.7.1. Uso como agua potable

90-100 E - No requiere purificación para consumo

80-90 A - Purificación menor requerida

70-80 LC- Dudoso su consumo sin purificación

50-70 C - Tratamiento potabilizador necesario

40-50 FC- Dudosa para consumo

0-40 EC- Inaceptable para consumo

11.7.2 Uso en Agricultura

90-100 E - No requiere purificación para riego

70-90A - Purificación menor para cultivos que requieran de alta calidad de agua

50-70 LC- Utilizable en mayoría de cultivos

30-50 C - Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos

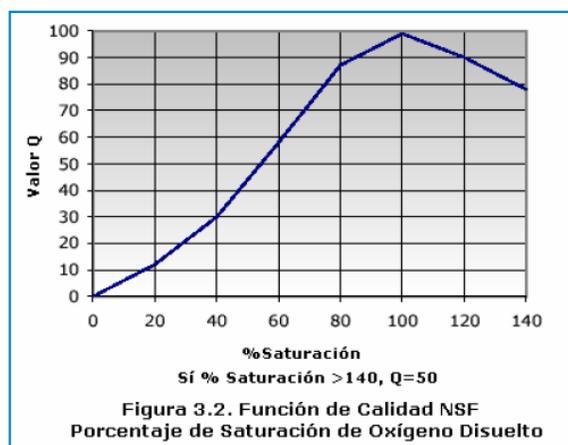
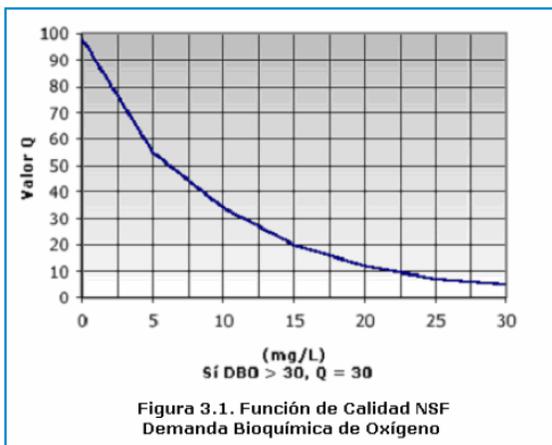
20-30 FC- Uso solo en cultivos muy resistentes

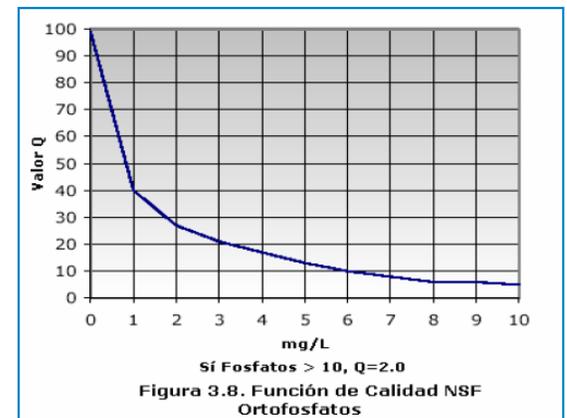
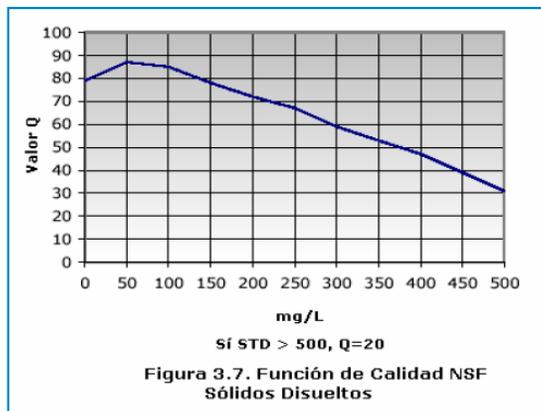
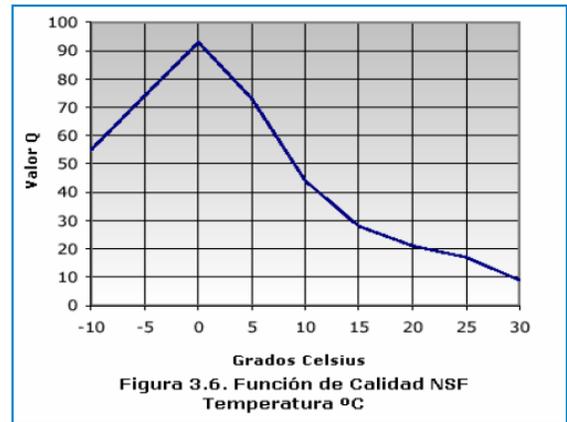
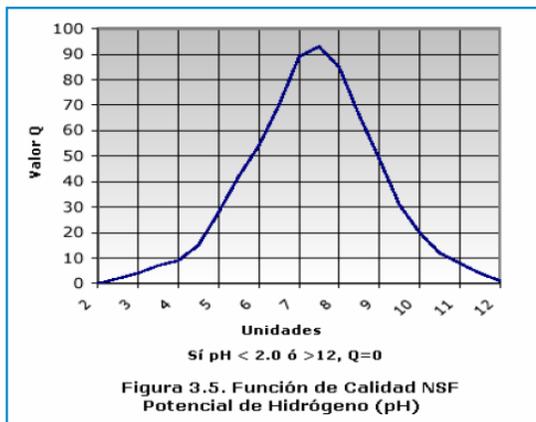
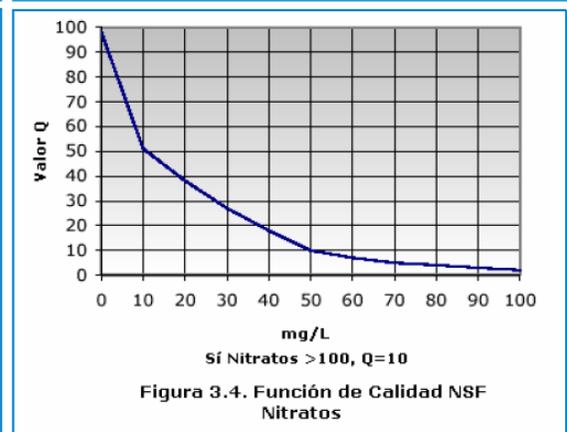
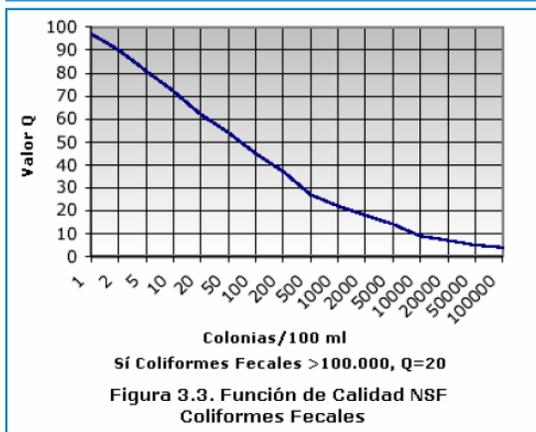
0-20 EC- Inaceptable para riego

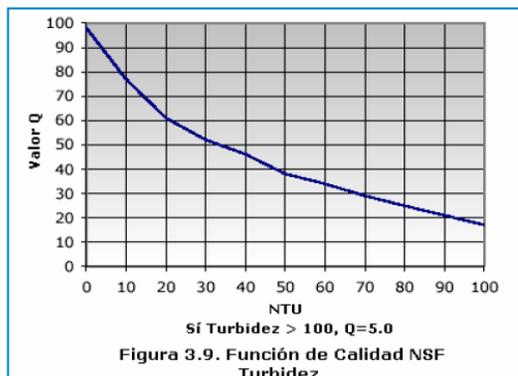
11.7.3. Curvas de función

Los investigadores promediaron todas las curvas para producir, de la misma manera una curva promedio para cada contaminante. Las curvas fueron graficadas a través del uso de la media aritmética con un límite de confianza del 80% sobre este valor medio. Y con ella podemos estimar la ponderación de los parámetros. (28)

Figura 11. Factores de escala de los parámetros involucrados, con su respectivo valor de Q (valor de calidad). (28)







Fuente: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf

Cuadro 8. Clasificación de la calidad de agua en función del índice WQI_{NSF}

VALOR DEL ÍNDICE	CLASIFICACIÓN
0 - 25	Calidad muy mala (MM)
26 - 50	Calidad mala (M)
51 - 70	Calidad media (R)
71 - 90	Calidad buena (B)
91 - 100	Calidad excelente (E)

Fuente: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.pHp/arh/article/viewFile/9331/9974>

Cuadro 9. Ponderación de los parámetros de calidad de agua (28)

Parámetro	Factor
Porcentaje de saturación de oxígeno	0.17
Coliformes fecales	0.16
pH	0.11
Demanda bioquímica de oxígeno	0.11
Nitratos	0.10
Fosfatos	0.10
Temperaturas	0.10
Turbiedad	0.08
Sólidos totales	0.07

11.8. Indicadores de cuenca

Indicador de hidrología

Estado = W_a que corresponde a la disponibilidad de agua, es la división entre el caudal y la población de la cuenca (26)

Q Caudal
Wa= Población de la cuenca

Indicador de ambiente

Presión = EPI describe la presión del ambiente sobre las actividades humanas
(26)

$$EPI = \frac{\% \text{ de variación de área agropecuaria} + \% \text{ de variación área poblada}}{2}$$

Indicador de Ambiente

Estado = Av hace referencia al porcentaje de vegetación natural remanente en la microcuenca (26)

$$Av = \frac{\text{Superficie de vegetación natural en la microcuenca}}{\text{Superficie total de la microcuenca}}$$

XII. Resultados

12.1 Morfometría de la cuenca

Cuadro 10. Aspectos morfométricos de la microcuenca del río Cachil

Aspecto	Medición	Valor
Lineales	Perímetro de la cuenca	42.05 km ²
Superficie	Área de la cuenca	62.8187 km ²
	Relación de forma	0.29619
	Densidad de drenaje	1.2254 km/km ²
	Frecuencia de densidad de corrientes	1.1143/km ²
Relieve	Pendiente media de la cuenca	43.21 %
	Pendiente del cauce principal	5.724 %

- **Hidrografía:** se digitalizó un mapa de corrientes de la microcuenca con el software ArcGis. (Figura 12)
- **Hidrometría**

Cuadro 11. Caudales del río Cachil noviembre 2009 a octubre 2010

Mes/Año*	Caudal Llano Largo m ³ /s	Caudal El Carmen m ³ /s	Caudal Cachil m ³ /s
nov-09	0.11	0.22	0.12
dic-09	0.09	0.22	0.01
ene-10	0.22	0.48	0.26
feb-10	0.05	0.16	0.001
mar-10	0.07	0.13	0.01
abr-10	0.07	0.13	0.02
may-10	0.29	0.72	0.68
jun-10	0.09	0.26	0.13
jul-10	0.19	0.23	0.17
ago-10	0.52	2.31	1.96
sep-10	0.40	1.34	1.43
oct-10	0.20	0.56	0.75

*Fuente: Programa Conjunto Salamá y propia.

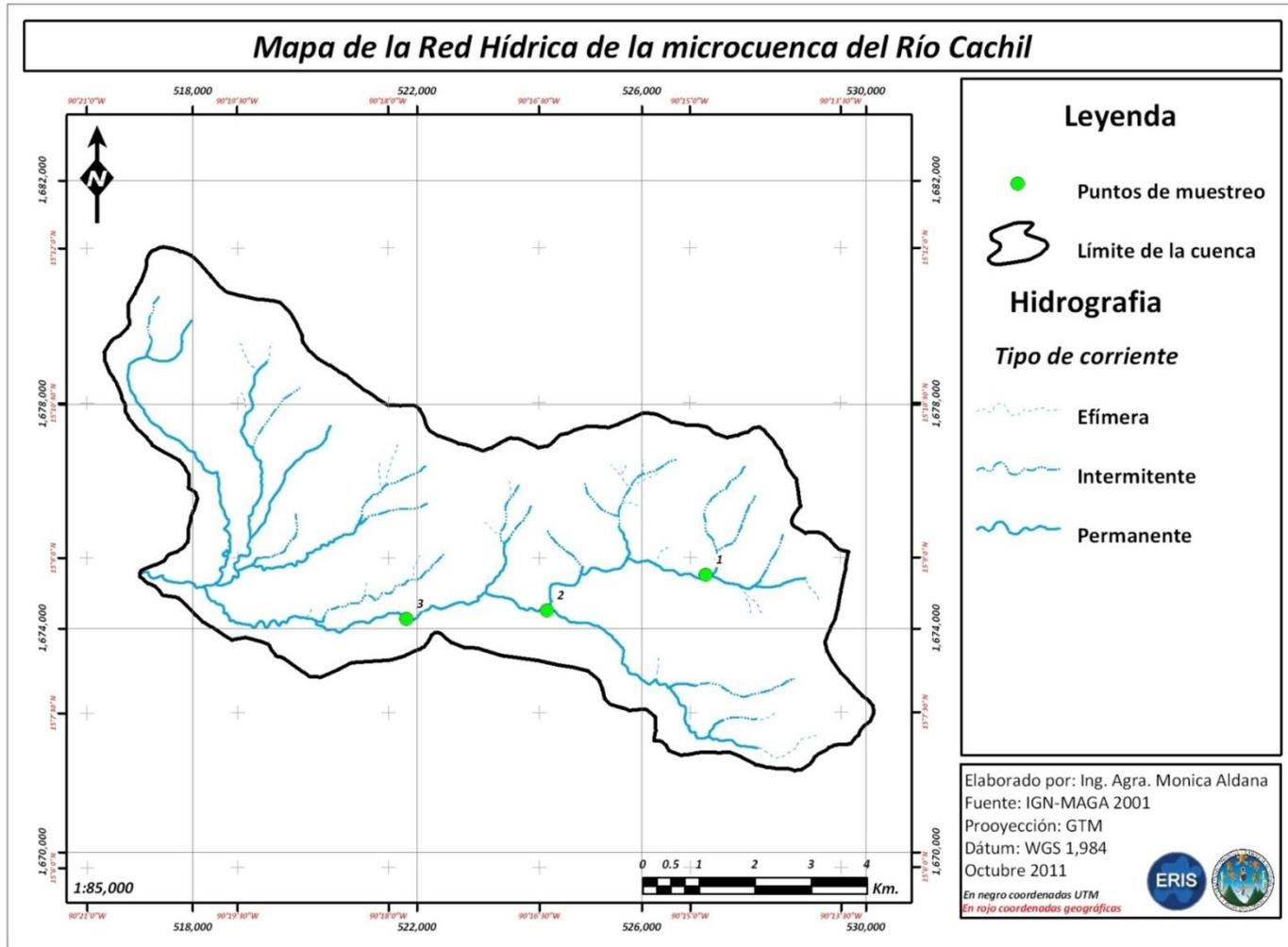


Figura 12. Mapa de la red hídrica de la microcuenca del río Cachil. Fuente: propia.

Cuadro 12. Datos obtenidos en los monitoreos del 2009-2010 del río Cachil

Análisis de agua del río Cachil 2009-2010													
Parámetro	Lugar	nov-09	dic-09	ene-10	feb-10	mar-10	abr-10	may-10	jun-10	jul-10	ago-10	sep-10	oct-10
Temperatura °C*	Llano Largo	18.5	17.3	14.6	19.6	18	20.25	19.2	19.8	19.6	19.4	19.5	18.3
Temperatura °C*	El Carmen	19.5	18.45	15.2	20.9	19.3	22.65	21.5	21.6	21.3	20.8	21.4	19.9
Temperatura °C*	Cachil	20.5	20.5	15.1	21.9	22.6	23.55	23.2	22.8	22	21.5	22.2	21.2
Conductividad Eléctrica CE µS/cm *	Llano Largo	205	256	176	253	255	245	135	218	184	150	192	290
Conductividad Eléctrica CE µS/cm *	El Carmen	242	322	235	318	330	319	161	285	226	165	299	412
Conductividad Eléctrica CE µS/cm *	Cachil	303	498	299	500	514	512	188	450	320	187	315	441
Sólidos Disueltos Totales TDS mg/L*	Llano Largo	102	128	89	126	126	128	67	108	92	75	96	144
Sólidos Disueltos Totales TDS mg/L*	El Carmen	121	161	117	159	165	160	80	143	113	82	149	205
Sólidos Disueltos Totales TDS mg/L*	Cachil	152	249	149	250	257	257	93	225	160	94	158	220
Potencial Hidrogeno pH *	Llano Largo	7.8	8.0	8.0	8.8	8.4	7.9	11.5	10.4	10.2	10.2	9.5	9
Potencial Hidrogeno pH *	El Carmen	8.7	8.7	8.5	8.9	8.6	8.5	10.1	10	10.4	10.7	9.3	9.2
Potencial Hidrogeno pH *	Cachil	8.6	8.7	8.0	8.9	8.4	8.3	10.4	10	10	9.9	9.1	9.3
Fosfato PO4 3- mg/L *	Llano Largo	0.12	0.39	0.49	0.6	0.1	0.08	0.4	0.32	0.355	0.39	0.42	0.43
Fosfato PO4 3- mg/L *	El Carmen	0.52	0.37	0.9	0.38	0.08	0.9	1.65	1.7	1.74	1.78	0.35	0.83
Fosfato PO4 3- mg/L *	Cachil	0.5	0.9	0.89	0.23	0.98	0.62	2.9	3.35	4.2	8.4	0.46	2.13
Nitrito NO ² mg/L *	Llano Largo	0.008	0.009	0.015	0	0.11	0.004	0.006	0.004	0.007	0.004	0.003	0.009
Nitrito NO ² mg/L *	El Carmen	0.01	0.005	0.006	0.003	0	0.002	0.008	0.005	0.003	0.005	0.003	0.005
Nitrito NO ² mg/L *	Cachil	0.009	0.009	0.004	0.004	0.02	0.003	0.01	0.004	0.006	0.007	0.004	0.008
Nitrato NO ³ mg/L *	Llano Largo	1.1	0.0	1.6	0.7	0.9	0	3.5	1.1	1.5	1.9	1.6	6.1
Nitrato NO ³ mg/L *	El Carmen	1.6	0.3	1.3	0	0.9	0	4.55	1.54	1.72	1.9	1.6	2.3
Nitrato NO ³ mg/L *	Cachil	0.0	1.2	1.2	0	1.1	0.6	2.3	1.98	2.25	2	1.8	3.3
Dureza CaCO ₃ mg/L *	Llano Largo	170	187	136	170	170	170	158	126	106	86	153	178
Dureza CaCO ₃ mg/L *	El Carmen	204	238	170	221	221	238	202	162	126	90	238	270
Dureza CaCO ₃ mg/L *	Cachil	255	374	204	340	391	391	340	276	192	108	221	264

*Fuente: Programa Conjunto Salamá y propia

Cuadro 13. Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del punto 1 Llano Largo

Parámetro/mes*	Abril-10	Mayo-10	Junio-10	Agosto-10	Octubre-10
Temperatura °C	20.25	19.2	19.8	19.4	18.3
Color (Unid. Pt-Co)	5.00	50.00	6.00	36.00	6.00
Turbiedad NTU	1.01	8.58	1.21	9.05	0.28
Oxígeno Disuelto(mg/L)	5.80	6.70	6.50	6.20	6.06
% de Saturación de oxígeno	68	72	76	68	64
DBO(mg/L)	18.0	29.7	26.3	21.0	27.0
DQO(mg/L)	4	16.90	0.30	1.90	3.00
Sodio (mg/L)	0.90	3.30	2.50	2.30	0.50
Potasio (mg/L)	0.20	0.80	0.50	0.60	0.10
Nitritos (mg/L)	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
Nitratos (mg/L)	2.30	3.50	1.10	1.90	6.10
Fosfatos (mg/L)	0.20	0.40	0.32	0.39	0.43
Sólidos Suspendidos(mg/L)	4.33	10.00	1.66	48.00	1.20
Sólidos Totales(mg/L)	132.33	77.00	109.67	123.00	145.20
Dureza(mg/L)	160.00	158.00	126.00	86.00	178.00
Calcio (mg/L)	9.62	6.41	8.02	7.21	6.41
Dureza de Calcio(mg/L)	24.02	16.01	20.02	18.01	16.01
Magnesio (mg/L)	33.02	34.48	25.74	16.51	39.34
Dureza de Magnesio(mg/L)	135.98	141.99	105.98	67.99	161.99
Coliformes totales NMP/100ml	≥2400	≥2400	1100	290.5	>2419.6
Coliformes fecales NMP/100ml	350	210	40	98.5	410.6

Cuadro 14. Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del punto 2 El Carmen

Parámetro/mes*	Abril-10	Mayo-10	Junio-10	Agosto-10	Octubre-10
Temperatura °C	22.65	21.5	21.6	20.8	19.9
Color (Unid. Pt-Co)	8.00	94.00	7.00	86.00	9.00
Turbiedad NTU	0.90	37.60	1.34	28.80	1.37
Oxígeno Disuelto(mg/L)	72	76	80	68	74
% de Saturación de oxígeno	6.00	7.40	7.30	7.00	6.80
DBO(mg/L)	7.7	16.0	3.3	8.3	32.7
DQO(mg/L)	8	26.70	0.90	2.50	2.00
Sodio (mg/L)	1.20	3.80	4.00	5.20	0.70
Potasio (mg/L)	0.10	1.00	0.70	1.70	0.00
Nitritos (mg/L)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Nitratos (mg/L)	3.00	4.55	1.54	1.90	2.30
Fosfatos (mg/L)	0.70	1.65	1.70	1.78	0.83
Sólidos Suspendidos(mg/L)	8.67	25.50	1.33	36.67	1780.40
Sólidos Totales(mg/L)	168.67	105.50	144.33	118.67	1985.40
Dureza(mg/L)	210.00	202.00	162.00	90.00	270.00
Calcio (mg/L)	13.63	10.42	11.22	8.02	10.42
Dureza de Calcio(mg/L)	34.03	26.02	28.02	20.02	26.02
Magnesio (mg/L)	42.73	42.73	32.53	16.99	59.25
Dureza de Magnesio(mg/L)	175.97	175.98	133.98	69.98	243.98
Coliformes totales NMP/100ml	≥2400	≥2400	≥2400	>2419.6	>2419.6
Coliformes fecales NMP/100ml	≥2400	≥2400	1100	461.1	344.8

Cuadro 15. Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del punto 3 Cachil

Parámetro/mes*	Abril-10	Mayo-10	Junio-10	Agosto-10	Octubre-10
Temperatura °C	23.55	23.2	22.8	21.5	21.2
Color (Unid. Pt-Co)	15.00	92.00	8.00	108.00	9.00
Turbiedad NTU	1.22	28.40	1.16	38.90	1.65
Oxígeno Disuelto(mg/L)	5.50	7.60	7.50	7.10	6.94
% de Saturación de oxígeno	75	79	81	69	77
DBO(mg/L)	22.0	10.3	41.7	25.7	21.3
DQO(mg/L)	3	22.00	2.80	2.90	3.00
Sodio (mg/L)	3.50	5.30	4.50	5.50	0.80
Potasio (mg/L)	0.10	1.10	0.70	1.80	0.00
Nitritos (mg/L)	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01
Nitratos (mg/L)	2.90	2.30	1.98	2.00	3.30
Fosfatos (mg/L)	0.10	2.90	3.35	8.40	2.13
Sólidos Suspendidos(mg/L)	7.33	2.50	0.67	0.03	1730.20
Sólidos Totales(mg/L)	264.33	95.50	225.67	94.03	1950.20
Dureza(mg/L)	280.00	340.00	276.00	108.00	264.00
Calcio (mg/L)	20.84	9.62	15.23	7.21	11.22
Dureza de Calcio(mg/L)	52.04	24.02	38.03	18.01	28.02
Magnesio (mg/L)	55.36	76.73	57.79	21.85	57.30
Dureza de Magnesio(mg/L)	227.96	315.98	237.97	89.99	235.98
Coliformes totales NMP/100ml	≥2400	≥2400	≥2400	691.0	>2419.6
Coliformes fecales NMP/100ml	350	≥2400	≥2400	185.0	365.4

Cuadro 16. Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del punto 4 Tanque

Parámetro/mes*	Abril-10	Mayo-10	Junio-10	Agosto-10	Octubre-10
Temperatura °C	23	22.8	22	21	21.5
Color (Unid. Pt-Co)	9.00	175.00	6.00	130.00	10.00
Turbiedad NTU	2.41	52.00	0.74	50.20	0.64
Oxígeno Disuelto(mg/L)	6.20	7.30	7.20	6.90	7.70
% de Saturación de oxígeno	76	79	81	70	86
DBO(mg/L)	15.0	16.0	23.3	26.0	27.3
DQO(mg/L)	3	24.20	0.60	2.00	1.00
Sodio (mg/L)	2.00	3.50	4.80	5.50	4.20
Potasio (mg/L)	0.00	0.90	0.70	1.70	0.10
Nitritos (mg/L)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
Nitratos (mg/L)	2.70	2.50	1.54	1.70	6.60
Fosfatos (mg/L)	0.50	1.00	1.22	0.54	1.78
Sólidos Suspendidos(mg/L)	2.00	6.00	1.00	0.01	3.33
Sólidos Totales(mg/L)	227	94	201	79.01	203.33
Dureza(mg/L)	210.00	204.00	162.00	92.00	280.00
Calcio (mg/L)	13.63	9.62	12.02	8.82	6.41
Dureza de Calcio(mg/L)	34.03	24.02	30.02	22.02	16.01
Magnesio (mg/L)	42.73	43.71	32.05	16.99	64.11
Dureza de Magnesio(mg/L)	175.97	179.98	131.98	69.98	263.99
Coliformes totales NMP/100ml	350	1100	1100	691.0	>2419.6
Coliformes fecales NMP/100ml	240	240	460	137.4	275.5

*Fuente propia

Cuadro 17. Análisis de agua para riego, punto 1 Llano Largo

Llano Largo*	Abril-10	Mayo-10	Junio-10	Agosto-10	Octubre-10
Conductividad Eléctrica $\mu\text{S/cm}$	245	135	218	150	290
RAS	0.0309	0.1143	0.0970	0.1080	0.0163
Clasificación de agua de riego	C1-S1	C1-S1	C1-S1	C1-S1	C2-S1
Descripción	Agua baja salinidad y bajo contenido de sodio	Agua baja salinidad y bajo contenido de sodio	Agua baja salinidad y bajo contenido de sodio	Agua baja salinidad y bajo contenido de sodio	Agua media salinidad y bajo contenido de sodio
Dureza	160	158	126	86	178
Clasificación de dureza	Dura	Dura	Media	Media	Dura

Fuente: propia.

Cuadro 18. Análisis de agua para riego, punto 2 El Carmen

El Carmen*	Abril-10	Mayo-10	Junio-10	Agosto-10	Octubre-10
Conductividad Eléctrica $\mu\text{S/cm}$	319	161	285	165	412
RAS	0.0360	0.1164	0.1368	0.2387	0.0185
Clasificación de agua de riego	C2-S1	C1-S1	C2-S1	C1-S1	C2-S1
Descripción	Agua media salinidad y bajo contenido de sodio	Agua baja salinidad y bajo contenido de sodio	Agua media salinidad y bajo contenido de sodio	Agua baja salinidad y bajo contenido de sodio	Agua media salinidad y bajo contenido de sodio
Dureza	210	202	162	90	270
Clasificación de dureza	Dura	Dura	Dura	Media	Dura

Fuente: propia.

Cuadro 19. Análisis de agua para riego, punto 3 Cachil

Cachil*	Abril-10	Mayo-10	Junio-10	Agosto-10	Octubre-10
Conductividad Eléctrica $\mu\text{S/cm}$	512	188	450	187	441
RAS	0.0911	0.1252	0.1180	0.2305	0.0214
Clasificación de agua de riego	C2-S1	C1-S1	C2-S1	C1-S1	C2-S1
Descripción	Agua media salinidad y bajo contenido de sodio	Agua baja salinidad y bajo contenido de sodio	Agua media salinidad y bajo contenido de sodio	Agua baja salinidad y bajo contenido de sodio	Agua media salinidad y bajo contenido de sodio
Dureza	280	340	276	108	264
Clasificación de dureza	Dura	Muy dura	Dura	Media	Dura

*Fuente propia

Cuadro20. Índices de calidad de agua para la parte alta del río Cachil

Llano Largo*	Abril	Mayo	Junio	Agosto	Octubre
Total ICA	60.21	49.19	56.98	52.66	50.23
Rango de calidad	media	mala	media	media	media
Uso en agua potable	Tratamiento potabilizador necesario.	Dudosa para consumo.	Tratamiento potabilizador necesario.	Tratamiento potabilizador necesario.	Tratamiento potabilizador necesario.
Uso en agricultura	Utilizable en mayoría de cultivos.	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Utilizable en mayoría de cultivos.	Utilizable en mayoría de cultivos.	Utilizable en mayoría de cultivos.

Cuadro 21. Índice de calidad de agua para la parte media del río Cachil

El Carmen*	Abril	Mayo	Junio	Agosto	Octubre
Total ICA	53.51	41.21	53.4	45.13	53.1
Rango de calidad	media	malo	media	mala	media
Uso en agua potable	Tratamiento potabilizador necesario.	Dudosa para consumo.	Tratamiento potabilizador necesario.	Dudosa para consumo.	Tratamiento potabilizador necesario.
Uso en agricultura	Utilizable en mayoría de cultivos.	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Utilizable en mayoría de cultivos.	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Utilizable en mayoría de cultivos.

Cuadro 22. Índice de calidad de agua de la parte baja del río Cachil

Cachil*	Abril	Mayo	Junio	Agosto	Octubre
Total ICA	59.09	43.64	45.75	41.77	50
Rango de calidad	medio	malo	malo	malo	medio
Uso en agua potable	Tratamiento potabilizador necesario.	Dudosa para consumo.	Dudosa para consumo.	Dudosa para consumo.	Tratamiento potabilizador necesario.
Uso en agricultura	Utilizable en mayoría de cultivos.	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Utilizable en mayoría de cultivos

Cuadro 23. Índice de calidad de agua tanque de captación en el río Cachil

Tanque*	Abril	Mayo	Junio	Agosto	Octubre
Total ICA	57.78	45.88	49.05	48.63	50.23
Rango de calidad	media	mala	mala	mala	media
Uso en agua potable	Tratamiento potabilizador necesario.	Dudosa para consumo.	Dudosa para consumo.	Dudosa para consumo.	Tratamiento potabilizador necesario.
Uso en agricultura	Utilizable en mayoría de cultivos	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Utilizable en mayoría de cultivos

*Fuente propia.

XII. Análisis de resultado:

La morfometría de cuenca indica a través de la relación de forma que es una cuenca larga debido a que tiene relación de forma menor de 0.3. La forma de la cuenca tiene fundamental importancia en la cantidad de esorrentía para una misma área y una misma intensidad de lluvia. Con una densidad de drenajes baja que refleja un área pobremente drenada con respuesta hidrológica muy lenta. En sitios permeables y donde el relieve es bajo, ocurren densidades de drenaje bajos y cuenta con una pendiente media de la cuenca de 43.21% siendo la pendiente del cauce principal de 5.724 %.

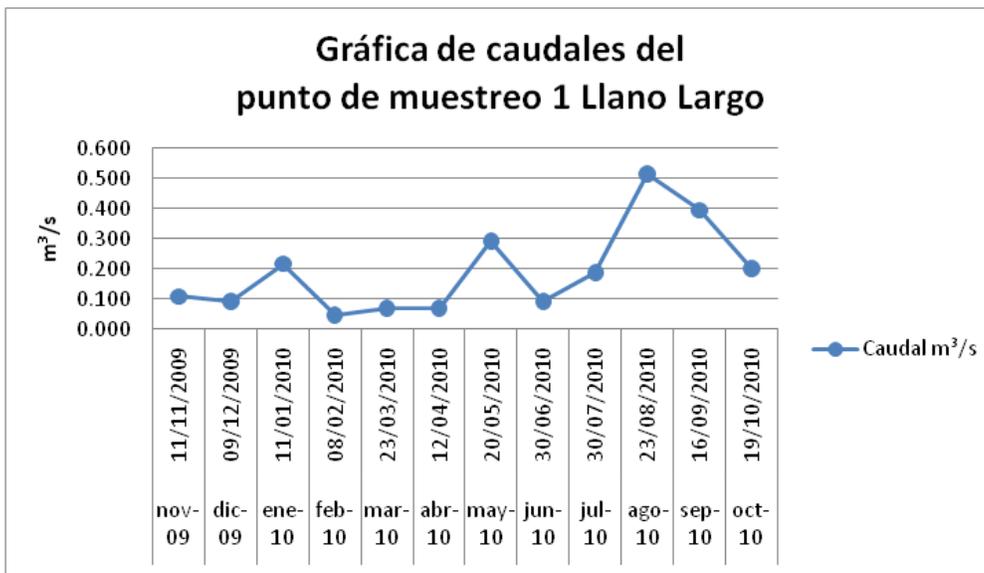


Figura 13. Gráfica de caudales Llano Largo.

El caudal en la parte alta de de la microcuenca se encuentra dentro de 0.05 y 0.52 m³/s, es importante resaltar que los cuadales más bajos se dan en los meses de febrero a abril y el más alto en el mes de agosto.

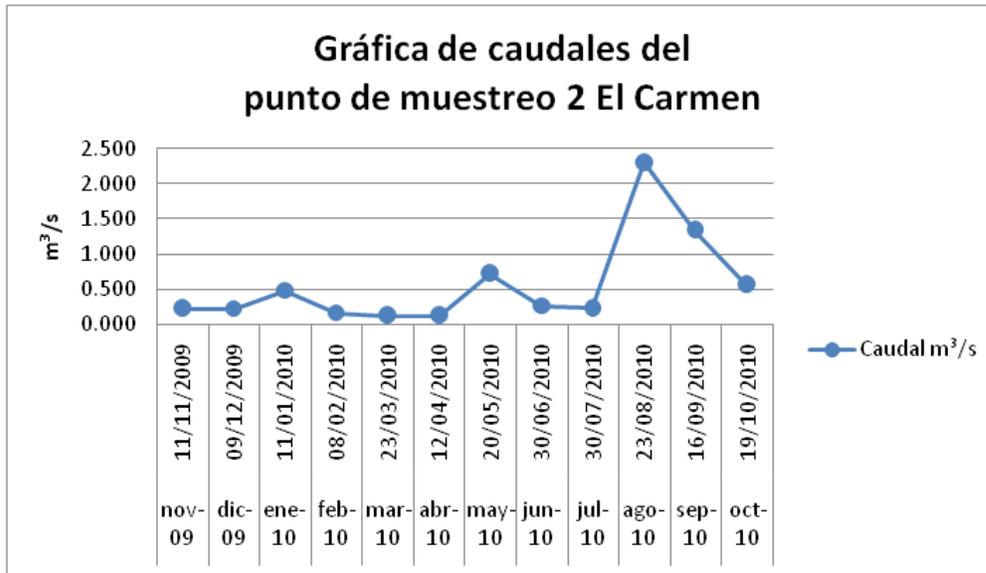


Figura 14. Gráfica de caudales El Carmen.

El caudal en la parte media de la microcuenca se encuentra dentro de 0.13 y 2.31 m³/s; es importante resaltar que los caudales más bajos se reportan en los meses de febrero a abril y el más alto en el mes de agosto. En este punto ha crecido considerablemente el caudal debido a que ahí existen mayor cantidad de ramales de la red de drenajes.

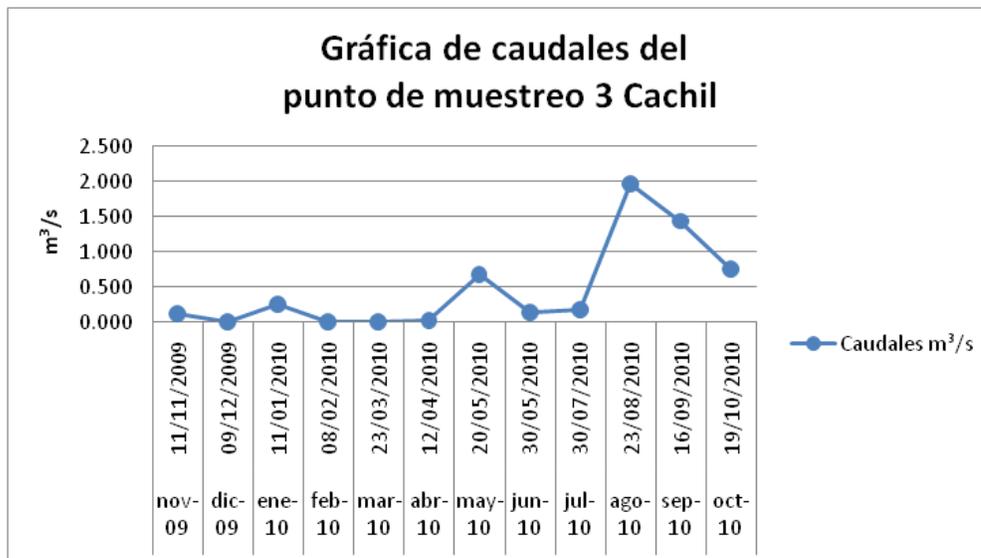


Figura 15. Gráfica de caudales Cachil.

El caudal en la parte baja de la microcuenca se encuentra dentro de 0.001 y 1.96 m³/s; es importante resaltar que los caudales más bajos se dan en los meses de diciembre y de febrero hasta abril y el más alto en el mes de agosto. En este punto el caudal ha disminuido considerablemente debido a que entre el punto 2 (El Carmen) y el punto 3 (Cachil) se encuentra ubicado el tanque de captación que conduce el agua hacia la planta de tratamiento de Salamá.

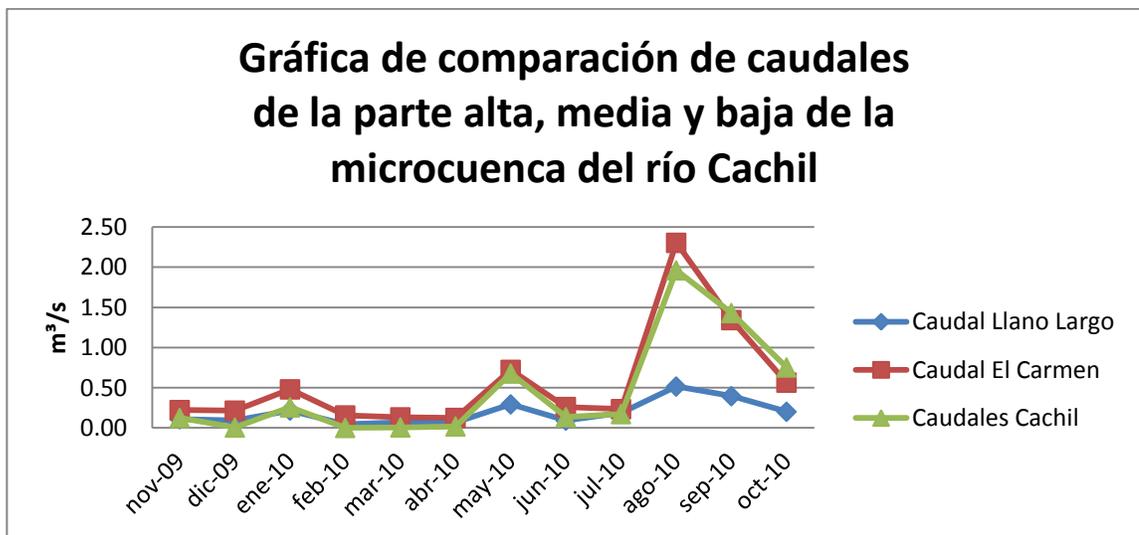


Figura 16. Gráfica de comparación de caudales de la parte alta, media y baja de la microcuenca

Se observa en la figura 16, que los meses en que el caudal disminuye considerablemente son de febrero hasta abril y que los meses que reportan mayor caudal son: agosto a octubre, mayo y enero, los primeros influenciados por la época lluviosa, el mes de mayo influenciado por la tormenta tropical Ágatha que afectó el país. En el mes de enero podemos ver un pequeño aumento de caudal que podría deberse a precipitaciones en la parte alta de la microcuenca.

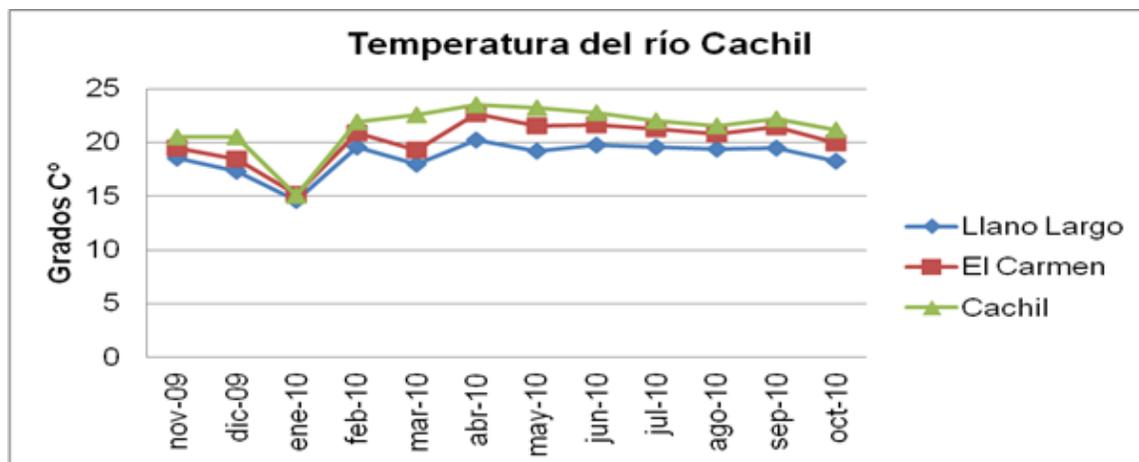


Figura 17. Temperatura del río Cachil .

La temperatura del río Cachil durante el estudio se encuentra entre 14.6 y 23.55 grados centígrados, reportando la menor temperatura en el mes de enero y la más alta en abril. Las temperaturas más bajas se dan en la parte alta de la microcuenca, esto influenciado por la altura a la que se encuentra ubicado dicho punto de muestreo.

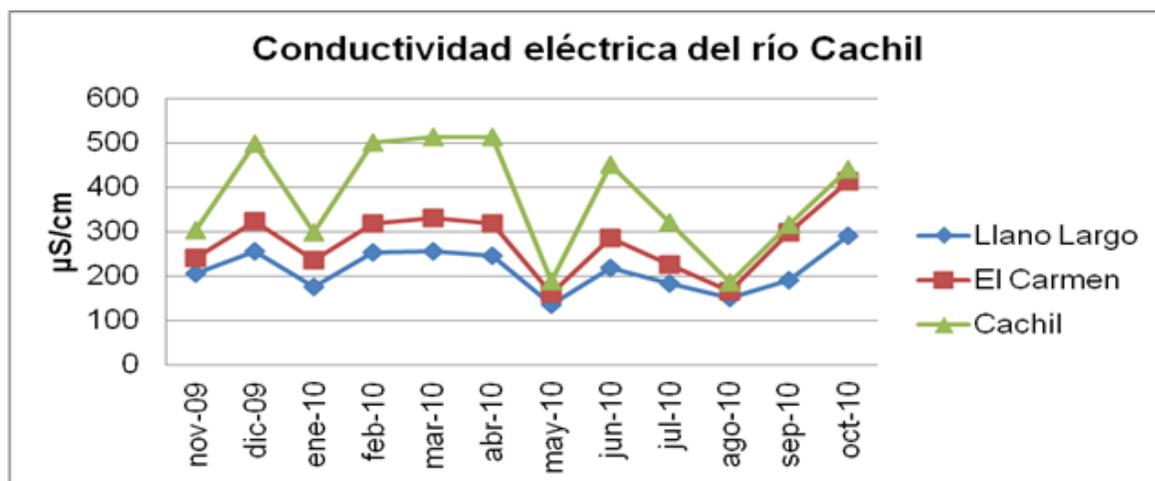


Figura 18. Conductividad eléctrica del río Cachil. Fuente: propia.

Durante el estudio, la conductividad eléctrica del río Cachil se encuentra entre 135 y 514 $\mu\text{S}/\text{cm}$ reportando la menor conductividad en el mes de mayo,

el aumento de los valores de conductividad se dan considerablemente en el punto 3 (Cachil) debido a que es el punto de muestreo más bajo y donde se encuentra una mayor concentración de sólidos disueltos debido al arrastre que se da y la disminución de caudal del mismo. La estacionalidad indica que en los meses secos de febrero al mes de abril, los valores de conductividad aumentan y en los meses lluviosos de mayo, julio y agosto disminuyen.

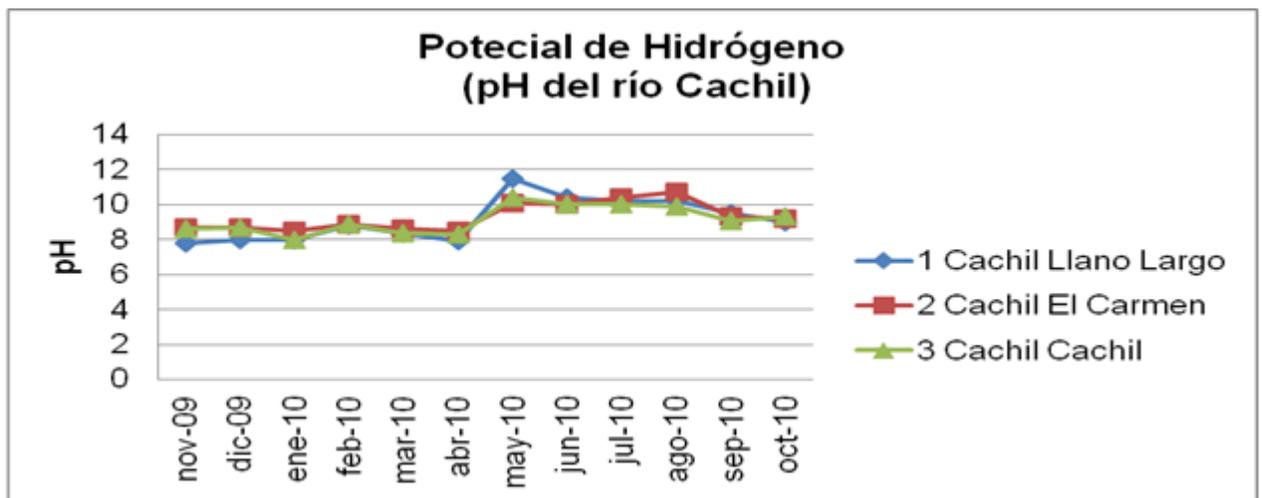


Figura 19. Potencial de Hidrogeno del río Cachil. Fuente: propia.

El pH del río Cachil se encuentra entre 7.8 y 11.5 reportándose los valores más altos en el mes de mayo y los más bajos en noviembre, estos son valores de pH altos que reflejan aguas alcalinas y las cuales podrían provocar obstrucciones en líneas de riego.

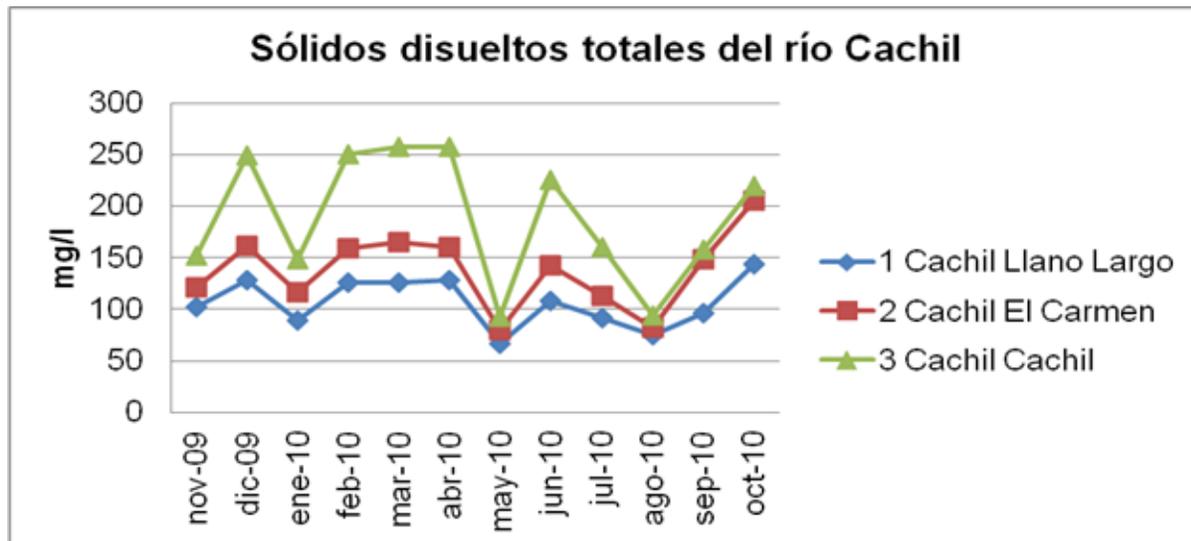


Figura 20. Sólidos disueltos del río Cachil. Fuente: propia.

Los sólidos disueltos durante el estudio en el río Cachil se encuentra entre 67 y 257 mg/L reportando la menor concentración en los meses de mayo, agosto y enero, los datos más altos se dan en los meses de febrero, marzo y abril; el aumento de los valores de sólidos disueltos se da considerablemente en el punto 3 (Cachil) debido a que es el punto donde se da la disminución de caudal. La estacionalidad indica en los meses secos, de febrero a abril, los sólidos disueltos aumentan un en los meses lluviosos de mayo, julio y agosto disminuyen. Esto debido a bajos flujos, el agua se obtiene de las reservas con una relativa alta concentración de sólidos disueltos debido a encontrarse durante mucho tiempo dentro del suelo y las rocas. En contraste, si el caudal es elevado, la mayoría de agua se traslada rápidamente por el río y tienen menos oportunidad para que el soluto se incorpore a la disolución. La máxima concentración de sólidos se produce tras una tormenta cuando la superficie moviliza material soluble acumulado de lluvia o evaporización en períodos secos precedentes.

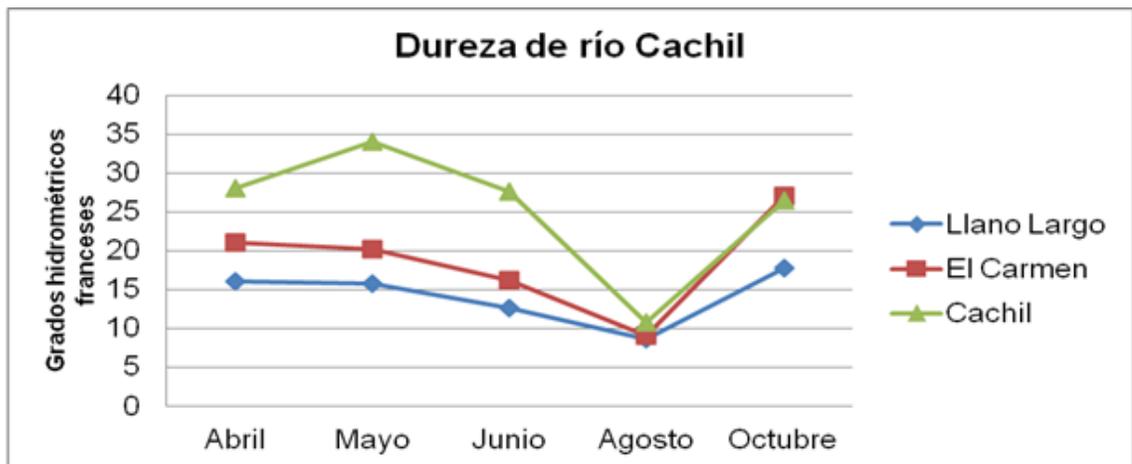
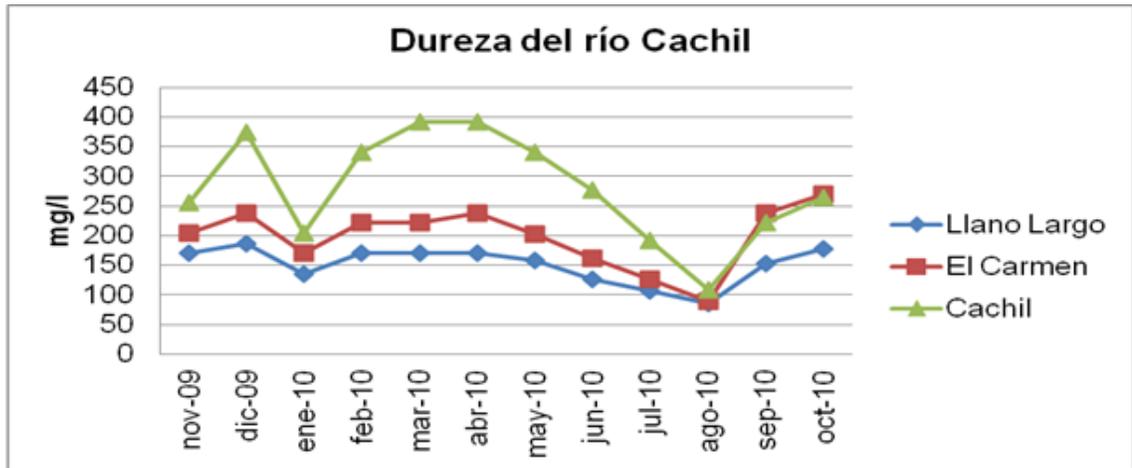


Figura 21. Dureza del río Cachil. Fuente: propia.

La dureza dentro de la microcuenca del río Cachil se puede observar que disminuye considerablemente en los meses de agosto, enero, junio, julio, presentado el dato más bajo de 86, los meses que presentan los valores más altos de dureza son diciembre, marzo, abril, y octubre. La mayor concentración de dureza está en el punto más bajo de la microcuenca siendo el valor más alto de 391. Con frecuencia se piensa que la alcalinidad y la dureza con cualidades similares que el agua dura son comúnmente alcalinas; sin embargo, son conceptos diferentes la dureza total es la suma de iones metálicos disueltos en el agua, mientras que la alcalinidad total es la habilidad de neutralizar el ácido

en una solución, de fuente la razón de la confusión radica en el hecho de que como el agua se filtra lentamente hacia abajo a través de la piedra caliza, el carbonato de calcio y de magnesio (mgCo_3 y CaCO_3) se disuelven en el agua. Los iones de magnesio y de calcio forman la dureza del agua, mientras que el carbonato constituye la alcalinidad.

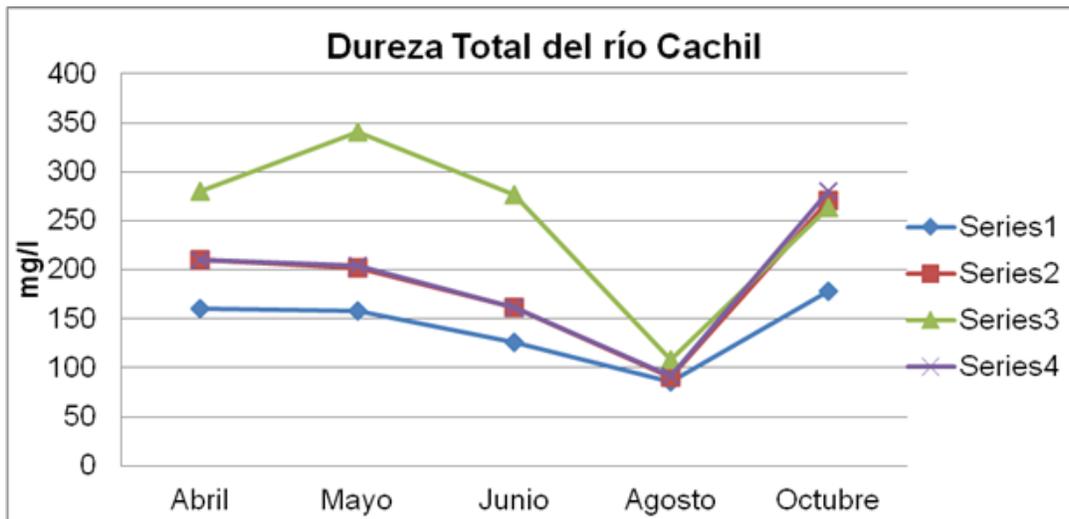


Figura 22. Dureza total del río Cachil. Fuente: propia.

La dureza calculada en la época de lluvia dentro de la microcuenca del río Cachil se puede observar que los datos disminuyen considerablemente en el mes de agosto, el mes que presenta el valor más alto de dureza es mayo, la mayor concentración de dureza está en el punto más bajo de la microcuenca. Con frecuencia se piensa que la alcalinidad y la dureza son cualidades similares, que el agua dura es comúnmente alcalina. Sin embargo, son conceptos diferentes la dureza total es la suma de iones metálicos disueltos en el agua, mientras que la alcalinidad total es la habilidad de neutralizar el ácido en una solución de fuente la razón de la confusión radica en el hecho de que como el agua se filtra lentamente hacia abajo a través de la piedra caliza, el carbonato de calcio y el magnesio (mgCo_3 y CaCO_3) se disuelven en el agua.

Los iones de magnesio y de calcio forman la dureza del agua mientras, que el carbonato constituye la alcalinidad.

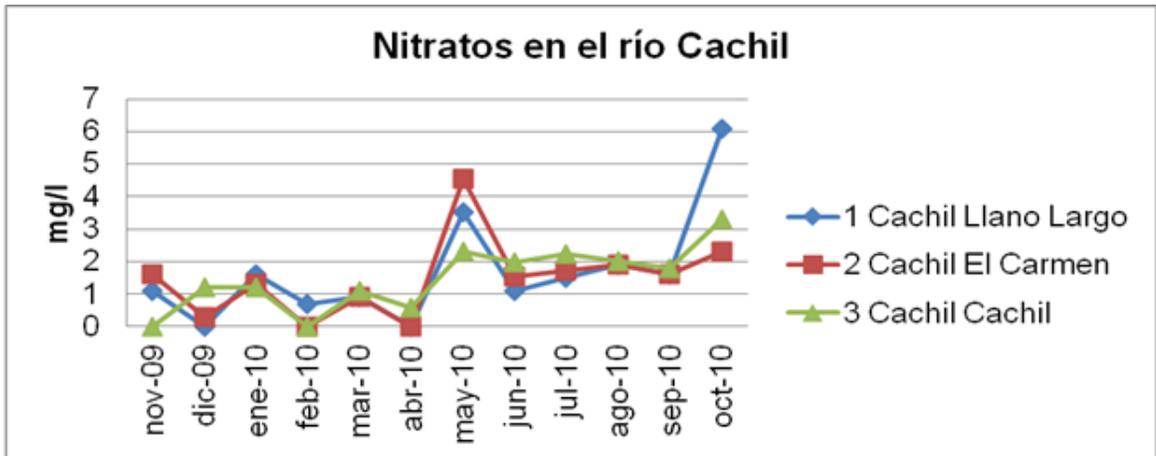


Figura 23. Nitratos del río Cachil. Fuente: propia.

Como se observa en la figura 22 las mayores concentraciones de nitratos se dan en los meses de mayo y octubre, esto derivado de la fertilización que se pueda dar en dicha región, principalmente en el cultivo del tomate. El valor más bajo reportado es de 0 y el más alto es de 6.1 mg/L.

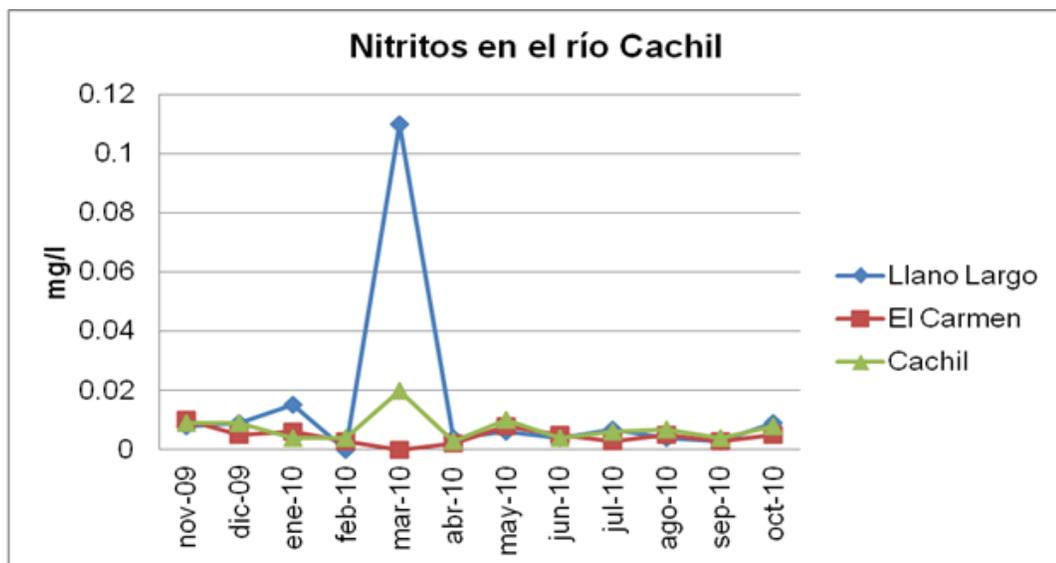


Figura 24. Nitritos del río Cachil. Fuente: propia.

En el río Cachil las concentraciones de nitritos se mantienen en los meses de junio a octubre, pero muestran una alza en sus valores en el mes de marzo, reportando el valor más bajo de 0 y el más alto de 0.11 mg/L.

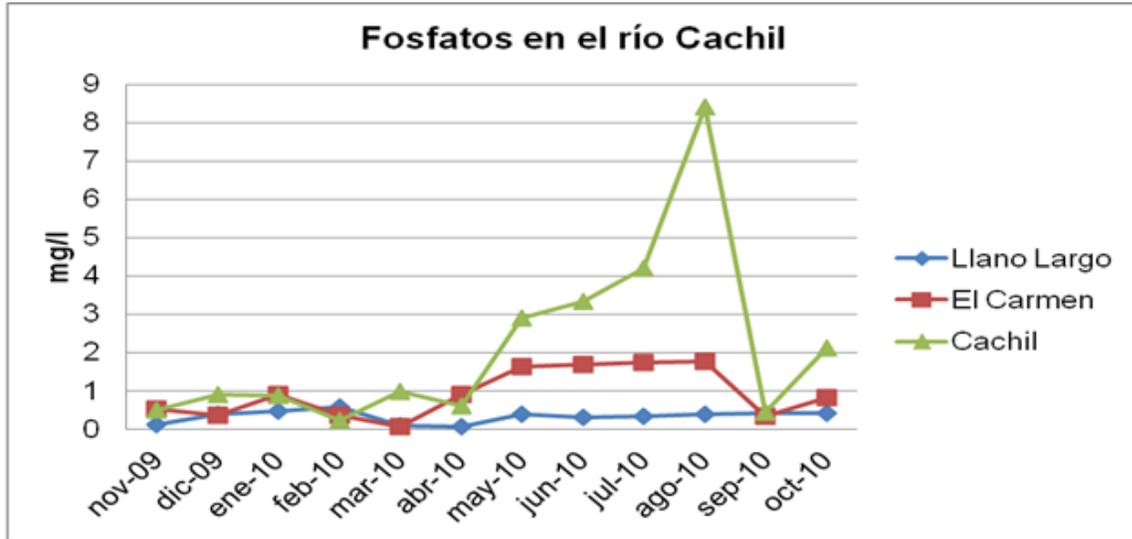


Figura 25. Fosfatos del río Cachil. Fuente: propia.

En la figura 25 se puede observar que el valor más alto fue registrado en el punto de muestreo de Cachil y es en el mes de agosto. Los valores de fosfatos para este estudio están entre: 0.08 y 8.4 mg/L.

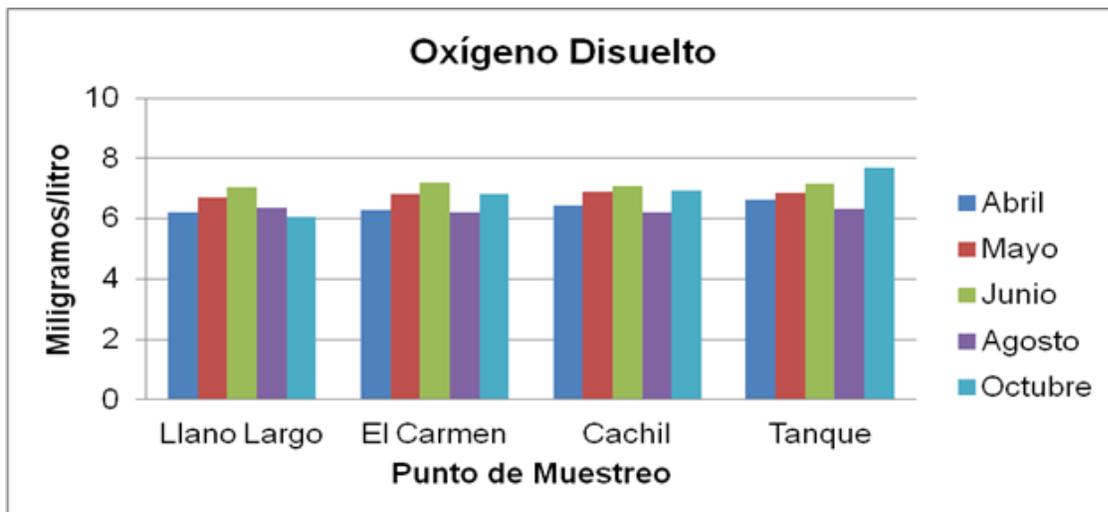


Figura 26. Oxígeno disuelto del río Cachil. Fuente: propia.

El oxígeno constituye uno de los elementos de mayor importancia en los ecosistemas acuáticos, ya que su presencia y concentración definen el tipo de especies y es condición fundamental para el desarrollo de vida acuática, establece toda la estructura y funcionamiento biótico. El oxígeno disuelto en el río Cachil se encuentra entre 5.50 y 7.70 mg/L.

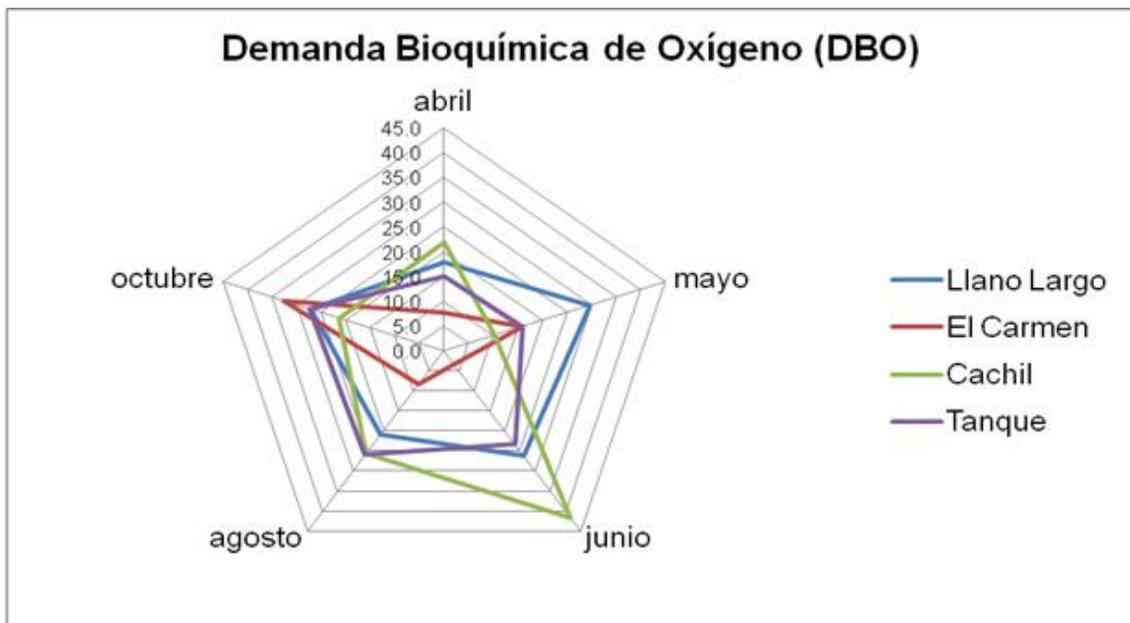


Figura 27. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Fuente: propia.

La distribución de este parámetro dentro de la cuenca indica que la mayoría de los datos se encuentra dentro del rango de aceptable (aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas) solo a excepción del mes de junio en el punto de muestreo, El Carmen con una categoría de buena calidad de aguas con un bajo contenido de materia orgánica y en el mismo mes, sólo que en el punto Cachil se da el valor más alto, el cual refleja un agua contaminada por aguas residuales.

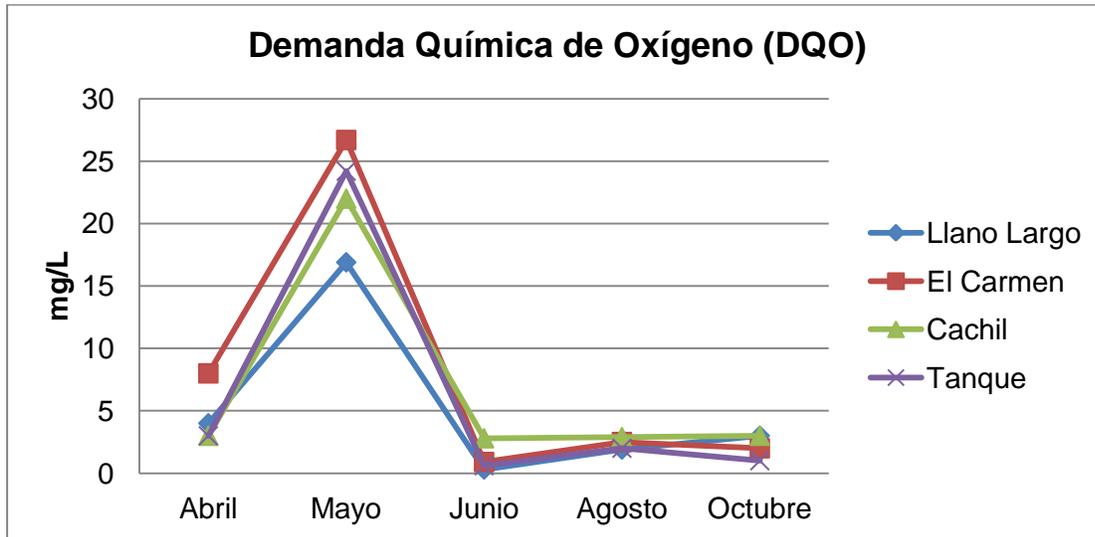


Figura 28. Demanda química de oxígeno (DQO). Fuente: propia.

Como se observa en la gráfica anterior en todos los meses según la DQO el agua del río se clasifica como excelente a excepción del mes de mayo en el cual el punto de muestreo ubicado en Llano Largo se clasifica como agua de buena calidad, que tiene bajo contenido de materia orgánica biodegradable, y en los otros tres puntos se clasifica aceptable, agua con indicios de contaminación pero que tienen capacidad de autodepurarse.

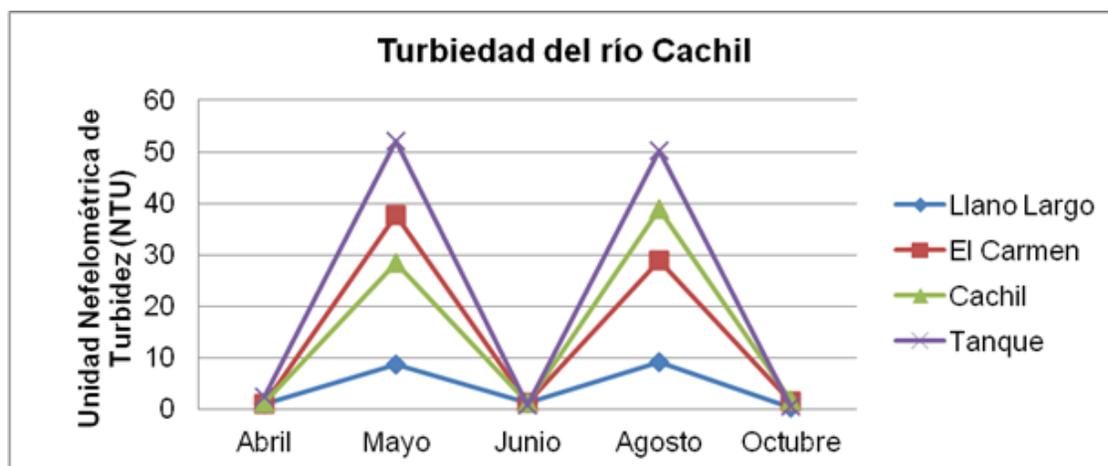


Figura 29. Gráfica de turbiedad del río Cachil. Fuente: propia.

Durante el estudio los meses que reportan los valores más altos de turbiedad son mayo y agosto y el que tiene el menor valor es el mes de octubre los valores de turbiedad del río Cachil se encuentran entre 0.64 y 37.6 unidades nefelométricas de turbiedad.

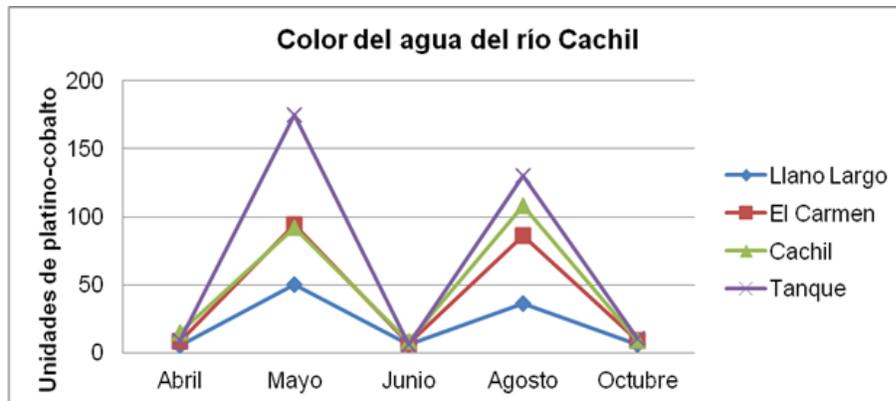


Figura 30. Gráfica de color del río Cachil. Fuente: propia.

El color en el agua puede estar asociado a sustancias en solución (color verdadero) o a sustancias en suspensión (color aparente) este último se utilizó en el presente estudio. Los valores de color se encuentran dentro de 5 y 175 unidades de platino cobalto. El valor más bajo registrado en la parte alta para el mes de abril y la más alta en el tanque de captación en el mes de mayo.



Figura 31. Sólidos suspendidos del río Cachil. Fuente: propia.

Los sólidos suspendidos en el río Cachil la menor concentración observada es de 0.01 mg/L en el tanque de captación correspondiente al mes de agosto y la mayor concentración es el mes de octubre en El Carmen y Cachil con 1780.40 y 1730.20 mg/L.

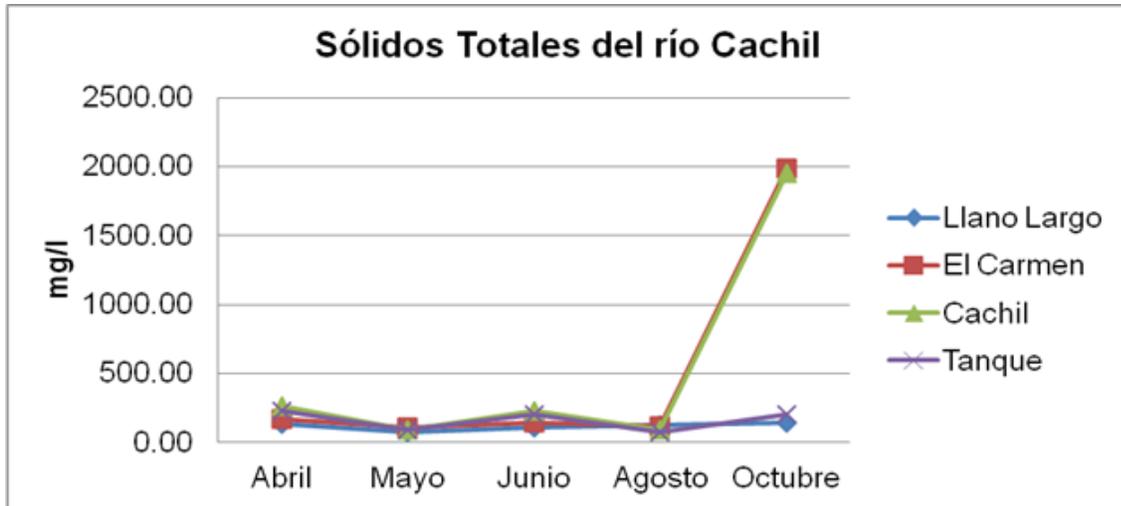


Figura 32. Sólidos totales del río Cachil. Fuente: propia.

Como se observa en la figura 32 los sólidos se mantienen durante los meses de la época lluviosa en valores menores a los 500 mg/L, a excepción del mes de octubre que los puntos de muestreo El Carmen y Cachil alcanzan una concentración de 2000 mg/L.

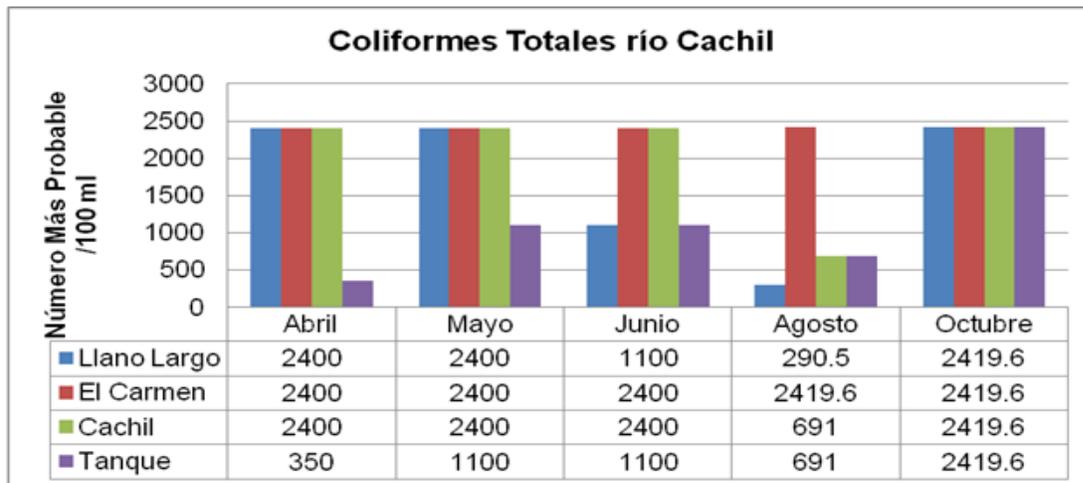


Figura 33. Coliformes Totales del río Cachil. Fuente: propia.

Otro indicador de contaminación de las aguas y de la presencia de organismos patógenos es el recuento del número más probable (NMP) de bacterias coliformes totales en 100 mL. En la gráfica 33 se observa que el valor más alto de coliformes es de 2419.6 coliformes por 100 ml y la menor concentración de coliformes se registró en Llano Largo en el mes de agosto reportando 290.5; el punto y la fecha donde existe menos concentración de coliformes totales podría deberse al aumento de caudal por la época lluviosa. Y la Norma Cooguanor indica que la presencia del número más probables de bacterias no debe ser mayor a 2/100ml.

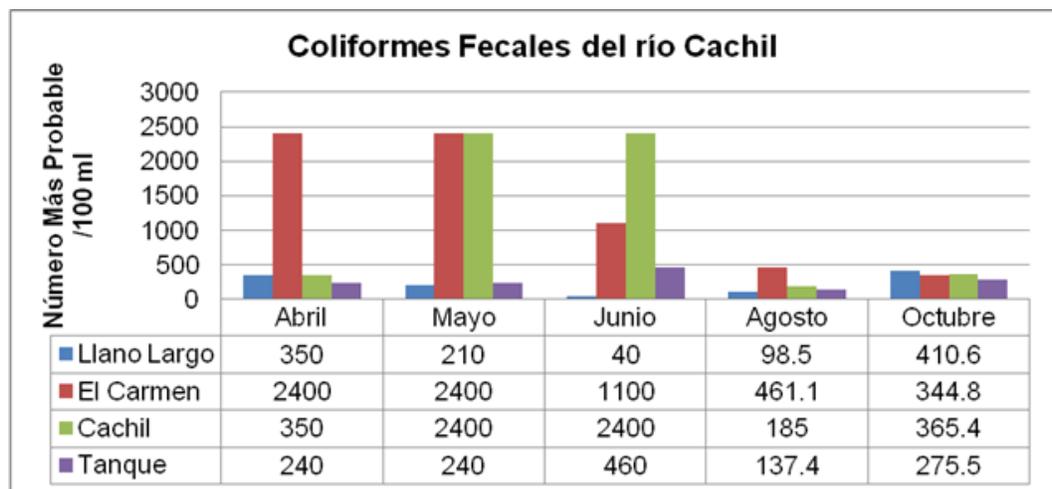


Figura 34. Coliformes fecales del río Cachil. Fuente: propia.

El número más probable de coliformes fecales tiene los niveles más bajos en el mes de agosto (40 NMP) y los más altos en el mes de mayo (>2400 NMP) este es un indicador de los tratamientos a aplicar en la potabilización del recurso.

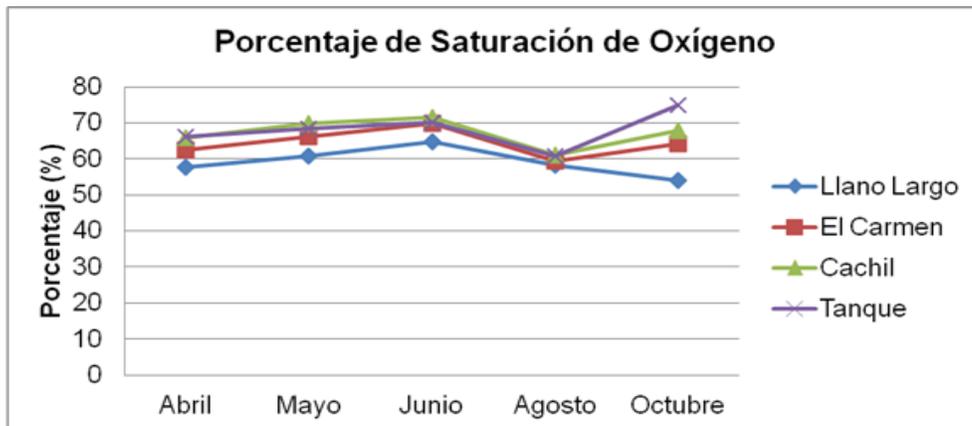


Figura 35. Porcentaje de saturación de oxígeno del ríoCachil. Fuente: propia.

La concentración de oxígeno se ve afectada por la temperatura. El nivel de saturación es la máxima concentración de oxígeno disuelto que puede presentarse en el agua a una temperatura específica en ausencia de otros factores. Los porcentajes más bajos se dan en el mes de agosto y los más altos en mayo y octubre.

La calidad de agua para riego: según la RAS indica que el río se encuentra entre la clasificación C1-S1 y C2-S1

C1 S1 Aguas de baja salinidad y bajo contenido de sodio: pueden utilizarse en la mayoría de los suelos y cultivos, las lluvias de las regiones lavan fácilmente las pocas sales que llevan tales aguas. Sin embargo, en regiones con mediana a baja precipitación y en donde los suelos presentan una mediana permeabilidad pueden provocar salinidad a muy largo plazo, pero si se controla es fácilmente lavada con un adecuado riego.

C2 S1 Aguas de mediana salinidad y bajo contenido de sodio: presentan cierto grado de restricciones, puede ser usadas en suelos con buen drenaje con cultivos tolerantes a cierta salinidad. Su uso es permitido en regiones con lluvias apreciables ya que éstas provocan el lavado de las sales depositadas.

Índices de Calidad del agua: en la Microcuenca del río Cachil la asociación de indicadores se simplificó con una expresión numérica las características positivas y negativas del río Cachil, en la cual se determinó que el índice de calidad de agua se encuentra dentro de un rango de medio a malo el cual, con fines de uso humano debe de tratarse para su consumo y en agricultura se puede utilizar para la mayoría de los cultivos.

Es importante resaltar que en las cercanías del río existen varias carreteras y accesos que son fuente importante de contaminación, además de degradación de los recursos asociados al río además de la presión antropogénica que se da en el recurso debido a los diversos usos para la agricultura (principalmente cultivo de tomate) y abastecimiento humano debido a que del mismo se abastece en gran parte la cabecera municipal de Salamá. En el área se encuentran 13 asentamientos humanos con un total de 2,308 personas y 456 hogares que en parte se abastecen de él. (División política administrativa de la microcuenca).

Índices de clasificación de cuencas:

Indicador hidrológico: estado $4950.37\text{m}^3/\text{habitante}$ *

Esta cantidad nos da un valor de 0.50 regular lo que nos indica que la disponibilidad del agua para consumo, riego y otras actividades es regular.

*Calculado con datos del programa conjunto balance hídrico y esorrentía neta

Indicador hidrológico: estado $66542.59\text{m}^3/\text{habitante}$ *

Aquí la disponibilidad sería muy buena pero se está tomando en cuenta la totalidad del agua de esorrentía, la cual no se utiliza sino que se vierte al mar por posibles inundaciones debido a fuertes aguaceros.

*Cálculo datos obtenidos en el monitoreo del caudal del río Cachil esorrentía total/año

Indicador de ambiente, presión (EPI) describe la presión del ambiente sobre las actividades humanas. Para calcularlo se utilizó la cobertura vegetal y el uso del suelo obteniendo un valor de 18.2728% con una puntuación de 0.25 que indica una gran presión sobre la vegetación remanente de la microcuenca relacionadas con el cambio de uso de la tierra. (Datos de cobertura de 1999 y 2006).

Indicador de ambiente, estado = Av hace referencia al porcentaje de vegetación natural remanente en la microcuenca, 63.37 % este valor refleja un buen estado de la cobertura vegetal remanente, hay que resaltar que la mayoría de la vegetación del lugar son matorrales, arbustos y en menor cantidad bosque latifoliado y conífero. (Datos de cobertura 2006).

XIII. Conclusiones

1. Los cambios de calidad de agua en el río Cachil están influenciados, principalmente por el cambio de caudal de éste, debido a que las concentraciones de los elementos físicos, químicos y bacteriológicos varían a lo largo de la trayectoria del río; La variación de calidad del agua de la microcuenca se ve afectada según la época climática mostrando cambios en los parámetros en la época seca y en la lluviosa.
2. Debido al uso que se le da al río en época seca, además de minimizar la cantidad de agua por condiciones ambientales la presión sobre el recurso es mayor por la demanda, principalmente para uso humano y riego; por el contrario, en la época lluviosa el caudal aumenta, pero con él también se ve afectada la calidad a consecuencia del deterioro de áreas aledañas y de la vegetación cercana a la ribera del río provocando el aumento en el arrastre de materiales orgánicos e inorgánicos por la escorrentía influyendo en su calidad.
3. En general, la calidad del río es media según los índices de calidad de agua la cual debe recibir ciertos tratamientos para su uso, además de presentar variación en la calidad física, química y bacteriológica en la parte alta, media y baja de la microcuenca determinando que el punto más contaminado es el que se encuentra en la aldea Cachil parte baja y el que presenta mejor calidad es el punto ubicado en la aldea Llano Largo parte alta.
4. La morfometría de la microcuenca indica que su forma es larga. La cual tiene relación con la cantidad de escorrentía que se da en el área. Con una densidad de drenajes baja que refleja un área pobremente drenada

con respuesta hidrológica muy lenta. La pendiente media de la microcuenca es de 43.21% y la pendiente del cauce principal de 5.72 %.

5. El caudal disminuye considerablemente de febrero al mes de abril (caudal mínimo reportado es 0.001 m³/s en el mes de febrero en la parte baja) y los meses que reportan mayor cantidad de caudal son de agosto a octubre (caudal máximo reportado es de 2.33 m³/s en el mes de agosto en El Carmen), existiendo un aumento en el caudal en el mes de mayo influenciado por la tormenta tropical Ágatha.
6. La calidad del agua según la norma de agua potable COGUANOR define que algunos parámetros, se encuentran fuera del límite máximo permisible, razón por la cual la utilización del agua del río Cachil debe recibir tratamientos de potabilización antes de su consumo.
7. El río Cachil, según la clasificación de dureza es de media a muy dura.
8. La calidad de agua con fines de riego, según la RAS es aceptable, pero debe de considerarse el factor de pH del río el cual se encuentra entre 7.8 a 11.5 estos valores reflejan aguas alcalinas que podrían incidir en la obstrucción de los sistemas de riego.
9. Los índices de calidad de agua de río Cachil en época de lluvia para consumo se encuentran entre el rango de calidad media a mala, la cual se podría utilizar con tratamientos de potabilización. Y para uso agrícola se encuentra dentro del rango de calidad media a mala, la cual podría utilizarse para la mayoría de los cultivos y en algunos meses se debe de realizar tratamientos para la utilización en el riego.

10. Según los índices de clasificación de cuencas, ésta cuenta con una disponibilidad del recurso regular con una gran presión sobre los recursos vegetales remanentes y un buen estado de la cobertura vegetal actual considerando que por las características de bosque seco la mayoría de las especies son matorrales y arbustos.

XIV. Recomendaciones

1. El agua de la microcuenca del río Cachil debe de tratarse para el consumo humano.
2. Debe generarse información constante realizando estudios de índices de calidad en la época seca. Además de realizarlos periódicamente para las dos épocas.
3. Continuar con los monitoreos de calidad del agua en el río Cachil, para evaluar el comportamiento del sistema en el tiempo y poder detectar cambios que podrían afectar el equilibrio.
4. Ampliar el análisis de agua al estudio de carbonatos y bicarbonatos con el fin de identificar posibles problemas en los sistemas de riego.
5. El agua del río se encuentra dentro de la calidad media y puede utilizarse para consumo, para riego, pero propenso a la contaminación, por lo que se deben tomar consideraciones de prevención para su conservación y uso sostenible. Debido a que el código de salud en su artículo 90 determina que queda prohibido utilizar agua contaminada, para el cultivo de vegetales alimentarios para el consumo humano.

XV. Bibliografía

1. Aguinaga, S. (1996). Manual de procedimientos analíticos de aguas y efluentes. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio y Ambiente. Extraído el 15 de enero del 2011 desde: http://www.google.com.gt/#hl=es&sugexp=kjrnc&cp=16&gs_id=1p&xhr=t&q=dinama+manual&pf=p&sclient=psy-ab&source=hp&pbx=1&oq=dinama+manual+de&aq=f&aqi=&aql=&gs_sm=&gs_upl=&bav=on.2,or.r_gc.r_pw.,cf.osb&fp=c6e5e95adbd1824d&biw=948&bih=453
2. Avalos, O. (2007). Informe del Aporte del Bosque Nuboso en las Microcuencas: El Carmen y Las Delicias, San Agustín Acasaguastlán, El Progreso. Fundación Defensores de la Naturaleza. Fondo del Agua. Guatemala.
3. Basterrechea, M. (2009). Línea base sobre el estado de los recursos naturales en 6 microcuencas en los municipios del Corredor Seco de Baja Verapaz, Guatemala. Asesoría Manuel Basterrechea y Asociados, S.A. 412pp.
4. Castillo, S. (1989). Análisis y calidad del agua con fines de riego. Instituto de Investigaciones Agronómicas. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 108 pp.
5. Centro de estudios ambientales. (2007). Proyecto Institucionalidad local para el manejo de bosque y agua en comunidades indígenas Sitio Finca Pacalaj y Sitio bosque El Gigante Guatemala. Universidad del Valle de Guatemala. 164 pp.
6. Chadde J. (2004). *La Escorrentía de las aguas de tormenta: Entendiendo los impactos ecológicos de cambiar los usos del suelo*. Universidad de Michigan. Extraído el 10 de octubre de 2011 desde <http://www.greenteacher.com/articles/stormwaterespanol.pdf>
7. Colom, E. (2005). *Estudio de los Cambios Legales en el Marco de la Privatización del Agua en Guatemala*. Extraído el 10 de octubre de 2011 desde [http://www.infoiarna.org.gt/media/file/areas/agua/documentos/nac/\(3\)%20Situación_Legal_del_Agua_en_Guatemala.pdf](http://www.infoiarna.org.gt/media/file/areas/agua/documentos/nac/(3)%20Situación_Legal_del_Agua_en_Guatemala.pdf).
8. Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza. (2007). Diagnóstico de la Problemática del Agua en la Cuenca del Río Bravo dentro de la Región Fronteriza y Prioridades para su Atención. Serie 2. México.

9. Consejo Económico y Social de Aragón. (2003). *Uso y gestión del agua en Aragón*. España.
10. Consejo Nacional de Áreas Protegidas. Departamento de vida silvestre. (2007). *Monitoreo de calidad de agua. Procedimiento operativo*. Extraído el 14 de octubre de 2011 desde <http://www.chmguatemala.gob.gt/informacion/monitoreo-de-biodiversidad/automatizado/Procedimiento%20Operativo%20Calidad%20de%20Agua.pdf>
11. CONAP-ZOOTROPIC-CDC-TNC. (2009). Plan de Conservación de las Regiones Secas de Guatemala. Editores: D. Ariano, E. Secaira, B. García y M. Flores. TNC, Guatemala. 60pp.
12. Córdoba Núñez, A. (2002). *Calidad de agua y su relación con los usos actuales en la Subcuenca del río Jucuapa. Magalpa, Nicaragua*. Trabajo de grado de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. CATIE. Turrialba. Costa Rica. Extraído el 12 de octubre de 2011 desde http://www.portalcuencas.net/Virtual_Library/Files/198.pdf
13. Fundación Defensores de la Naturaleza. (2003). *Plan de Monitoreo biológico Sistema Motagua-Polochic*. Extraído el 14 de octubre de 2011 desde http://www.parksinperil.org/files/monitoreobiologico_fdn.pdf
14. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Subcoordinación de Calidad e Hidráulica Industrial. (2007). *Muestreo y preservación de grasas y aceites, y determinación en campo de pH, Temperatura y Materia Flotante*. Extraído el 15 de octubre de 2011 desde http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Parametros_en_campo.pdf
15. Jiménez, M. (2006) *Análisis comparativo de Indicadores de calidad de agua Superficial*. Escuela de Geociencia y Medio Ambiente. Número 14. Medellín. Colombia. Extraído el 15 de octubre del 2011 desde <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/arh/article/viewFile/9331/9974>
16. Medina, B. (2009). Capacitan a personal de las OMP sobre cambio climático. Cerigua-El periódico. Guatemala.
17. Mejía, E. Rosales, F. Evaluación de la Calidad del Agua. Atlas de la cuenca Lerma-Chapala. México. Pag. 101-102. Extraído el 15 de mayo

del 2011 desde: http://www2.ine.gob.mx/emapas/download/lch_calidad_del_agua.pdf

18. Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación. (1991). *El manejo de cuencas en el proyecto de desarrollo agrícola de Guatemala*. USAID-Guatemala. Guatemala. 92pag.
19. Moraña, L., Salusso, M. García, M. (2002) *Evaluación de la calidad del agua en la cuenca del rio Grande(Alta Cuenca Del Bermejo, Jujuy)*. Rev. Biol. Trop. Universidad Nacional de Salta. Buenos Aires, Argentina.
20. Plan de desarrollo municipal, Salamá, Baja Verapaz. (2008). Programa de descentralización y fortalecimiento municipal. Convenio de cooperación: Secretaria de coordinación Ejecutiva de la Presidencia de la república de Guatemala, Comunidad europea, Mancomunidad de municipios del valle (Mancovalle). Baja Verapaz, Guatemala.
21. Porcentaje de saturación de oxígeno. Extraído el 15 de enero del 2011 desde: <http://selobu.blogspot.com/2010/10/porcentaje-de-saturacion-de-oxigeno-en.html>
22. Ramírez, J. (2003). *Línea base en calidad de agua para la cuenca del rio Valdivia*. Trabajo de grado de Licenciatura, Universidad de Santiago de Chile. Chile. Extraído el 25 de septiembre de 2011 desde http://www.digeo.cl/doc/Ramirez_Pavez_Jeanett.pdf
23. Ramírez y Viña. (1998). *Limnología Colombiana* Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. Cap 4.
24. Recursos hídricos. Lección 5.La escorrentía. Universidad Jaime I de Castellón.Extraído el 15 de enero del 2010 desde: <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionRH05.pdf>
25. Reynoso, L. Andriulo, A. (2009). Estado actual de la calidad del agua en la cuenca del arroyo pergamino.Extraído el 15 de enero del 2010 desde http://www.inta.gov.ar/pergamino/info/documentos/2009/Calidad_agua_Cuenca_APerg_jun09.pdf
26. Saravia, P. (2009). Contaminación del agua. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 95pp.

27. Tobías, H. Lira, E. (2000). Primera Aproximación al Mapa de Clasificación Taxonómica de los Suelos de la República de Guatemala, a escala 1:250,000. Memoria Técnica. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
28. Topografía e inclinaciones. (n.d). Extraído el 15 de enero del 2010 desde <http://www.planning.org/planificacion/2/1.htm>
29. Torres. F. (2009). *Desarrollo y Aplicación de un Índice de Calidad de Agua para ríos en Puerto Rico*. Trabajo de grado de maestría. Universidad de Puerto Rico. Puerto Rico
30. UICN-ORMA. (2001). Inventario Nacional de los Humedales de Guatemala / Editores Margareth Dix, Juan F. Fernández. – San José, CR.: UICN-Mesoamérica: CONAP: USAC. 176 p.
31. Unesco.(2008). Evaluación objetiva de la aplicación y cálculo de índices de sostenibilidad de cuenca en la cuenca hidrográfica del canal de Panamá. Documento técnico de PHI-LAC No. 12.
32. Unión Mundial para la Naturaleza (UICN). (2005). *Plan de monitoreo para sistemas de abastecimiento del río o nacimiento en el sur de Ahuchapan, El Salvador, C.A.* Extraído el 25 de septiembre de 2011 desde eco-book.net/action/file/download?file_guid=885.
33. Universidad de Pamplona. Colombia. (n.d.) *Índices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia Mundial. Capítulo III.* Extraído el 10 de octubre de 2011 desde http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf
34. Universidad Jaume I de Castellón. (n.d). *Recursos hídricos. Lección 5. La escorrentía.* Extraído el 25 de septiembre del 2011 desde <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionRH05.pdf>
35. Universidad Rafael Landívar, IARNA. (2009). Perfil Ambiental de Guatemala. Universidad Rafael Landívar. Guatemala.
36. “Uso y gestión del agua en Aragón” (2003). Ed.: Consejo económico y social de Aragón.
37. Valencia.J.L. (2007). Estudio Estadístico de la calidad del agua en la cuenca hidrográfica del río Ebro. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica

de Madrid. 338 pag.Extraído el 15 de enero del 2011 desde en:
http://oa.upm.es/454/1/JOSE_LUIS_VALENCIA_DELFA.pdf

38. Vilela, E. (2003). *Usos predominantes de la tierra y la calidad del agua en la cuenca del río Gama, Distrito Federal, Brasil*. Trabajo de grado de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. CATIE. Turrialba. Extraído el 8 de octubre de 2011 desde <http://orton.catie.ac.cr/REPDOC/A0147E/A0147E.PDF>
39. Wild, E.J. Russell. 1992. *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell*. Madrid. Extraído el 15 de enero del 2010 desde en:
http://books.google.com.gt/books?id=gE6x5iluhGYC&printsec=frontcover&dq=condiciones+del+suelo&source=bl&ots=byoaVBRDvq&sig=_YeH76EulW-0ukmgdD_rU6VirAI&hl=es&ei=tk6DS8GUDMGXtgf-67zcAg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=5&ved=0CBIQ6AEwBA#v=onepage&q=&f=false

ANEXO 1
RESULTADOS DE LABORATORÍO DE AGUA

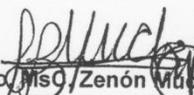


Guatemala, 23 de Noviembre 2010

Análisis de Laboratorio de las características físicas, químicas y bacteriológicas de Llano Largo (punto 1)

Parámetro/mes	Abril-10	Mayo-10	Junio-10	Agosto-10	Octubre-10
Temperatura °C	20.25	19.2	19.8	19.4	18.3
Color (Unid. Pt-Co)	5.00	50.00	6.00	36.00	6.00
Turbiedad NTU	1.01	8.58	1.21	9.05	0.28
Oxígeno Disuelto (mg/L)	5.80	6.70	6.50	6.20	6.06
% de Saturación de oxígeno	68	72	76	68	64
DBO(mg/L)	18.0	29.7	26.3	21.0	27.0
DQO(mg/L)	4	16.90	0.30	1.90	3.00
Sodio (mg/L)	0.90	3.30	2.50	2.30	0.50
Potasio (mg/L)	0.20	0.80	0.50	0.60	0.10
Nitritos (mg/L)	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
Nitratos (mg/L)	2.30	3.50	1.10	1.90	6.10
Fosfatos (mg/L)	0.20	0.40	0.32	0.39	0.43
Sólidos Suspendidos(mg/L)	4.33	10.00	1.66	48.00	1.20
Sólidos Totales(mg/L)	132.33	77.00	109.67	123.00	145.20
Dureza(mg/L)	160.00	158.00	126.00	86.00	178.00
Calcio (mg/L)	9.62	6.41	8.02	7.21	6.41
Dureza de Calcio(mg/L)	24.02	16.01	20.02	18.01	16.01
Magnesio (mg/L)	33.02	34.48	25.74	16.51	39.34
Dureza de Magnesio(mg/L)	135.98	141.99	105.98	67.99	161.99
Coliformes totales NMP/100ml	≥2400	≥2400	1100	290.5	>2419.6
Coliformes fecales NMP/100ml	350	210	40	98.5	410.6

Estudiante que realizo los análisis Inga. Agra. Monica Lisett Aldana Aguilar


 Vo. Bco. **Zenón Muñoz Santos**
 Jefe del Laboratorio Unificado
 De Química y Microbiología





Guatemala, 23 de Noviembre 2010

FACULTAD DE INGENIERIA

Análisis de Laboratorio de las características físicas, químicas y bacteriológicas de El Carmen (punto 2)

Parámetro/mes	Abril-10	Mayo-10	Junio-10	Agosto-10	Octubre-10
Temperatura °C	22.65	21.5	21.6	20.8	19.9
Color (Unid. Pt-Co)	8.00	94.00	7.00	86.00	9.00
Turbiedad NTU	0.90	37.60	1.34	28.80	1.37
Oxígeno Disuelto (mg/L)	72	76	80	68	74
% de Saturación de oxígeno	6.00	7.40	7.30	7.00	6.80
DBO(mg/L)	7.7	16.0	3.3	8.3	32.7
DQO(mg/L)	8	26.70	0.90	2.50	2.00
Sodio (mg/L)	1.20	3.80	4.00	5.20	0.70
Potasio (mg/L)	0.10	1.00	0.70	1.70	0.00
Nitritos (mg/L)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Nitratos (mg/L)	3.00	4.55	1.54	1.90	2.30
Fosfatos (mg/L)	0.70	1.65	1.70	1.78	0.83
Sólidos Suspendidos(mg/L)	8.67	25.50	1.33	36.67	1780.40
Sólidos Totales(mg/L)	168.67	105.50	144.33	118.67	1985.40
Dureza(mg/L)	210.00	202.00	162.00	90.00	270.00
Calcio (mg/L)	13.63	10.42	11.22	8.02	10.42
Dureza de Calcio(mg/L)	34.03	26.02	28.02	20.02	26.02
Magnesio (mg/L)	42.73	42.73	32.53	16.99	59.25
Dureza de Magnesio(mg/L)	175.97	175.98	133.98	69.98	243.98
Coliformes totales NMP/100ml	≥2400	≥2400	≥2400	>2419.6	>2419.6
Coliformes fecales NMP/100ml	≥2400	≥2400	1100	461.1	344.8

Estudiante que realizo los análisis Inga. Agra. Monica Lisett Aldana Aguilar

Vo. Bo. *[Firma]*
Msc. Zenón Muñoz Santos
Jefe del Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria





Guatemala, 23 de Noviembre 2010

FACULTAD DE INGENIERIA

Análisis de Laboratorio de las características físicas, químicas y bacteriológicas de Cachil (punto 3)

Parámetro/mes	Abril-10	Mayo-10	Junio-10	Agosto-10	Octubre-10
Temperatura °C	23.55	23.2	22.8	21.5	21.2
Color (Unid. Pt-Co)	15.00	92.00	8.00	108.00	9.00
Turbiedad NTU	1.22	28.40	1.16	38.90	1.65
Oxígeno Disuelto (mg/L)	5.50	7.60	7.50	7.10	6.94
% de Saturación de oxígeno	75	79	81	69	77
DBO(mg/L)	22.0	10.3	41.7	25.7	21.3
DQO(mg/L)	3	22.00	2.80	2.90	3.00
Sodio (mg/L)	3.50	5.30	4.50	5.50	0.80
Potasio (mg/L)	0.10	1.10	0.70	1.80	0.00
Nitritos (mg/L)	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01
Nitratos (mg/L)	2.90	2.30	1.98	2.00	3.30
Fosfatos (mg/L)	0.10	2.90	3.35	8.40	2.13
Sólidos Suspendidos(mg/L)	7.33	2.50	0.67	0.03	1730.20
Sólidos Totales(mg/L)	264.33	95.50	225.67	94.03	1950.20
Dureza(mg/L)	280.00	340.00	276.00	108.00	264.00
Calcio (mg/L)	20.84	9.62	15.23	7.21	11.22
Dureza de Calcio(mg/L)	52.04	24.02	38.03	18.01	28.02
Magnesio (mg/L)	55.36	76.73	57.79	21.85	57.30
Dureza de Magnesio(mg/L)	227.96	315.98	237.97	89.99	235.98
Coliformes totales NMP/100ml	≥2400	≥2400	≥2400	691.0	>2419.6
Coliformes fecales NMP/100ml	350	≥2400	≥2400	185.0	365.4

Estudiante que realizo los análisis Inga. Agra. Monica Lisett Aldana Aguilar

Vo. Bo. MSc. Zenon Muchi Santos
Jefe del Laboratorio Unificado
de Química y Microbiología Sanitaria

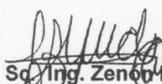




Análisis de Laboratorio de las características físicas, químicas y bacteriológicas del área de captación (punto 4)

Parámetro/mes	Abril-10	Mayo-10	Junio-10	Agosto-10	Octubre-10
Temperatura °C	23	22.8	22	21	21.5
Color (Unid. Pt-Co)	9.00	175.00	6.00	130.00	10.00
Turbiedad NTU	2.41	52.00	0.74	50.20	0.64
Oxígeno Disuelto (mg/L)	6.20	7.30	7.20	6.90	7.70
% de Saturación de oxígeno	76	79	81	70	86
DBO(mg/L)	15.0	16.0	23.3	26.0	27.3
DQO(mg/L)	3	24.20	0.60	2.00	1.00
Sodio (mg/L)	2.00	3.50	4.80	5.50	4.20
Potasio (mg/L)	0.00	0.90	0.70	1.70	0.10
Nitritos (mg/L)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
Nitratos (mg/L)	2.70	2.50	1.54	1.70	6.60
Fosfatos (mg/L)	0.50	1.00	1.22	0.54	1.78
Sólidos Suspendidos(mg/L)	2.00	6.00	1.00	0.01	3.33
Sólidos Totales(mg/L)	227	94	201	79.01	203.33
Dureza(mg/L)	210.00	204.00	162.00	92.00	280.00
Calcio (mg/L)	13.63	9.62	12.02	8.82	6.41
Dureza de Calcio(mg/L)	34.03	24.02	30.02	22.02	16.01
Magnesio (mg/L)	42.73	43.71	32.05	16.99	64.11
Dureza de Magnesio(mg/L)	175.97	179.98	131.98	69.98	263.99
Coliformes totales NMP/100ml	350	1100	1100	691.0	>2419.6
Coliformes fecales NMP/100ml	240	240	460	137.4	275.5

Estudiante que realizo los análisis Inga. Agra. Monica Lisett Aldana Aguilar


Vo. Bo. M. Sc. Ing. Zenón Muñoz Sánchez
 Jefe del Laboratorio Unificado de Microbiología
 De Química y Microbiología Sanitaria



ANEXO 2

CUADROS EXTENDIDOS DE ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE CALIDAD

Cuadro 24. Análisis de agua para riego punto 1 Llano Largo

Llano Largo	Abril-10	Mayo-10	Junio-10	Agosto-10	Octubre-10
Calcio meq/l	0.4809	0.3206	0.4008	0.3607	0.3206
Magnesio meq/l	2.7066	2.8262	2.1095	1.3532	3.2242
Potasio meq/l	0.0051	0.0204	0.0127	0.0153	0.0025
Sodio meq/l	0.0391	0.1434	0.1086	0.1	0.0217
Conductividad Eléctrica CE μS/cm	245	135	218	150	290
RAS	0.0309	0.1143	0.0970	0.1080	0.0163
Clasificación de agua de riego	C1-S1	C1-S1	C1-S1	C1-S1	C2-S1
Dureza	160	158	126	86	178
Clasificación de dureza	Dura	Dura	Media	Media	Dura

Fuente: propia.

Cuadro 25. Análisis de agua para riego punto 2 El Carmen

El Carmen	Abril-10	Mayo-10	Junio-10	Agosto-10	Octubre-10
Calcio meq/l	0.6813	0.5210	0.5611	0.4008	0.5210
Magnesio meq/l	3.5026	3.5027	2.6667	1.3930	4.8563
Potasio meq/l	0.0025	0.0255	0.0179	0.0434	0
Sodio meq/l	0.0521	0.1652	0.1739	0.2260	0.0304
Conductividad Eléctrica CE μS/cm	319	161	285	165	412
RAS	0.0360	0.1164	0.1368	0.2387	0.0185
Clasificación de agua de riego	C2-S1	C1-S1	C2-S1	C1-S1	C2-S1
Dureza	210	202	162	90	270
Clasificación de dureza	Dura	Dura	Dura	Media	Dura

Fuente: propia.

Cuadro 26. Análisis de agua para riego punto 3 Cachil

Cachil	Abril-10	Mayo-10	Junio-10	Agosto-10	Octubre-10
Calcio meq/l	1.0420	0.4809	0.7615	0.3607	0.5611
Magnesio meq/l	4.5374	6.2894	4.7366	1.7911	4.6970
Potasio meq/l	0.0025	0.0281	0.0179	0.0460	0
Sodio meq/l	0.1521	0.2304	0.1956	0.2391	0.0347
Conductividad Eléctrica CE μS/cm	512	188	450	187	441
RAS	0.0911	0.1252	0.1180	0.2305	0.0214
Clasificación de agua de riego	C2-S1	C1-S1	C2-S1	C1-S1	C2-S1
Dureza	280	340	276	108	264
Clasificación de dureza	Dura	Muy dura	Dura	Media	Dura

Fuente: propia.

Cuadro 27. Índices de Calidad para la parte alta del río Cachil

Llano Largo	Subtotal abril	Subtotal mayo	Subtotal junio	Subtotal agosto	Subtotal octubre
Porcentaje de saturación de oxígeno	9.86	10.37	10.88	10.03	8.33
Coliformes fecales	6.4	7.04	10.08	8.48	6.24
PH	9.24	0.33	2.09	2.09	5.28
Demanda bioquímica de oxígeno	1.65	0.66	0.77	1.1	0.66
Nitratos	8.6	8.1	9	8.5	6
Fosfatos	9	8	8.5	8	7.9
Temperaturas	2.1	2.2	2.1	2.2	2.3
Turbiedad	7.76	6.4	7.68	6.24	7.92
Sólidos totales	5.6	6.09	5.88	6.02	5.6
Total ICA	60.21	49.19	56.98	52.66	50.23
Uso en agua potable	Tratamiento potabilizador necesario.	Dudosa para consumo.	Tratamiento potabilizador necesario.	Tratamiento potabilizador necesario.	Tratamiento potabilizador necesario.
Uso en agricultura	Utilizable en mayoría de cultivos.	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Utilizable en mayoría de cultivos.	Utilizable en mayoría de cultivos.	Utilizable en mayoría de cultivos.

Fuente: propia.

Cuadro 28. Índice de calidad de agua para la parte media del río Cachil

El Carmen	Subtotal abril	Subtotal mayo	Subtotal junio	Subtotal agosto	Subtotal octubre
Porcentaje de saturación de oxígeno	10.2	11.56	11.9	10.03	10.54
Coliformes fecales	3.2	3.2	4.32	6.24	6.4
PH	7.37	2.2	2.2	1.1	5.28
Demanda bioquímica de oxígeno	4.62	2.09	7.7	4.18	3.3
Nitratos	8	7.3	9	8.5	8.6
Fosfatos	5	3	3	2.9	4.3
Temperaturas	1.9	2	2	2	2.1
Turbiedad	7.76	3.84	7.68	4.16	7.68
Sólidos totales	5.46	6.02	5.6	6.02	4.9
Total ICA	53.51	41.21	53.4	45.13	53.1
Uso en agua potable	Tratamiento potabilizador necesario.	Dudosa para consumo.	Tratamiento potabilizador necesario.	Dudosa para consumo.	Tratamiento potabilizador necesario.
Uso en agricultura	Utilizable en mayoría de cultivos.	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Utilizable en mayoría de cultivos.	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Utilizable en mayoría de cultivos.

Fuente: propia.

Cuadro 29. Índice de calidad de agua de la parte baja del río Cachil

Cachil	Subtotal abril	Subtotal mayo	Subtotal junio	Subtotal agosto	Subtotal octubre
Porcentaje de saturación de oxígeno	11.56	11.9	12.07	10.2	11.9
Coliformes fecales	6.4	3.2	3.2	7.68	6.4
PH	8.36	2.31	2.2	2.2	5.06
Demanda bioquímica de oxígeno	1.1	3.52	3.3	0.88	1.1
Nitratos	8	8.6	8.5	8.5	8.1
Fosfatos	9.5	2.1	2	0.6	2.7
Temperaturas	1.8	1.9	1.9	2	2
Turbiedad	7.68	4.16	7.68	3.76	7.6
Sólidos totales	4.69	5.95	4.9	5.95	4.9
Total ICA	59.09	43.64	45.75	41.77	50
Uso en agua potable	Tratamiento potabilizador necesario.	Dudosa para consumo.	Dudosa para consumo.	Dudosa para consumo.	Tratamiento potabilizador necesario.
Uso en agricultura	Utilizable en mayoría de cultivos.	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Utilizable en mayoría de cultivos

Fuente: propia.

Cuadro 30. Índice de calidad de agua tanque de captación de agua en el río Cachil

Tanque	Subtotal abril	Subtotal mayo	Subtotal junio	Subtotal agosto	Subtotal octubre
Porcentaje de saturación de oxígeno	11.56	11.73	11.9	10.2	13.6
Coliformes fecales	6.88	6.88	6.24	8.32	6.88
PH	7.7	2.09	2.31	2.2	5.28
Demanda bioquímica de oxígeno	2.2	2.09	0.99	0.77	0.66
Nitratos	8.2	8.2	9	9	6
Fosfatos	7	4	3.8	7	3
Temperaturas	1.9	1.9	2	2	2
Turbiedad	7.44	3.04	7.84	3.12	7.84
Sólidos totales	4.9	5.95	4.97	6.02	4.97
Total ICA	57.78	45.88	49.05	48.63	50.23
Uso en agua potable	Tratamiento potabilizador necesario.	Dudosa para consumo.	Dudosa para consumo.	Dudosa para consumo.	Tratamiento potabilizador necesario.
Uso en agricultura	Utilizable en mayoría de cultivos	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Utilizable en mayoría de cultivos

Fuente: propia.

ANEXO 3

CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA Y SOCIOECONÓMICA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CACHIL

A. Cobertura vegetal y uso del suelo año 2006:

La agricultura anual abarca alrededor del 10% del área de la microcuenca (690 hectáreas). La producción agrícola se da en su mayoría en la parte baja de la microcuenca, en dos fincas grandes, y es intensiva (producción de tomate); el resto son pequeñas parcelas en la parte media y alta. Al comparar con el mapa de susceptibilidad a la erosión, la agricultura intensiva se lleva a cabo en tierras con baja susceptibilidad a la erosión, en las dos grandes fincas, y la agricultura de los pequeños propietarios se da en tierras con susceptibilidad a la erosión media a alta, en las cuales se deberían de realizar prácticas de conservación de suelos y aguas.

El bosque abarca alrededor de un 20% del área total de la microcuenca y los arbustos otro 20%, existe la mitad de cobertura boscosa y arbustal, de lo que debería haber dentro de la microcuenca. Los arbustos y matorrales (2%) y los matorrales (22%), abarcan el 24% del área, y los pastos 25%, aunque la ganadería es extensiva. (Cuadro 38)

Cuadro 31 Cobertura vegetal y uso del suelo

Parámetro	Área (Ha)	Porcentaje
Agricultura	689.39	10.98%
Agricultura perenne	3.98	0.06%
Arbustos	1,232.00	19.62%
Arbustos y matorrales	105.48	1.68%
Banco de material	5.53	0.09%
Bosque	1,261.53	20.09%
Matorrales	1,381.99	22.00%
Pasto	1,586.48	25.26%
Suelo erosionado	10.23	0.16%
Vivienda	4.00	0.06%
Total	6,280.61	100%

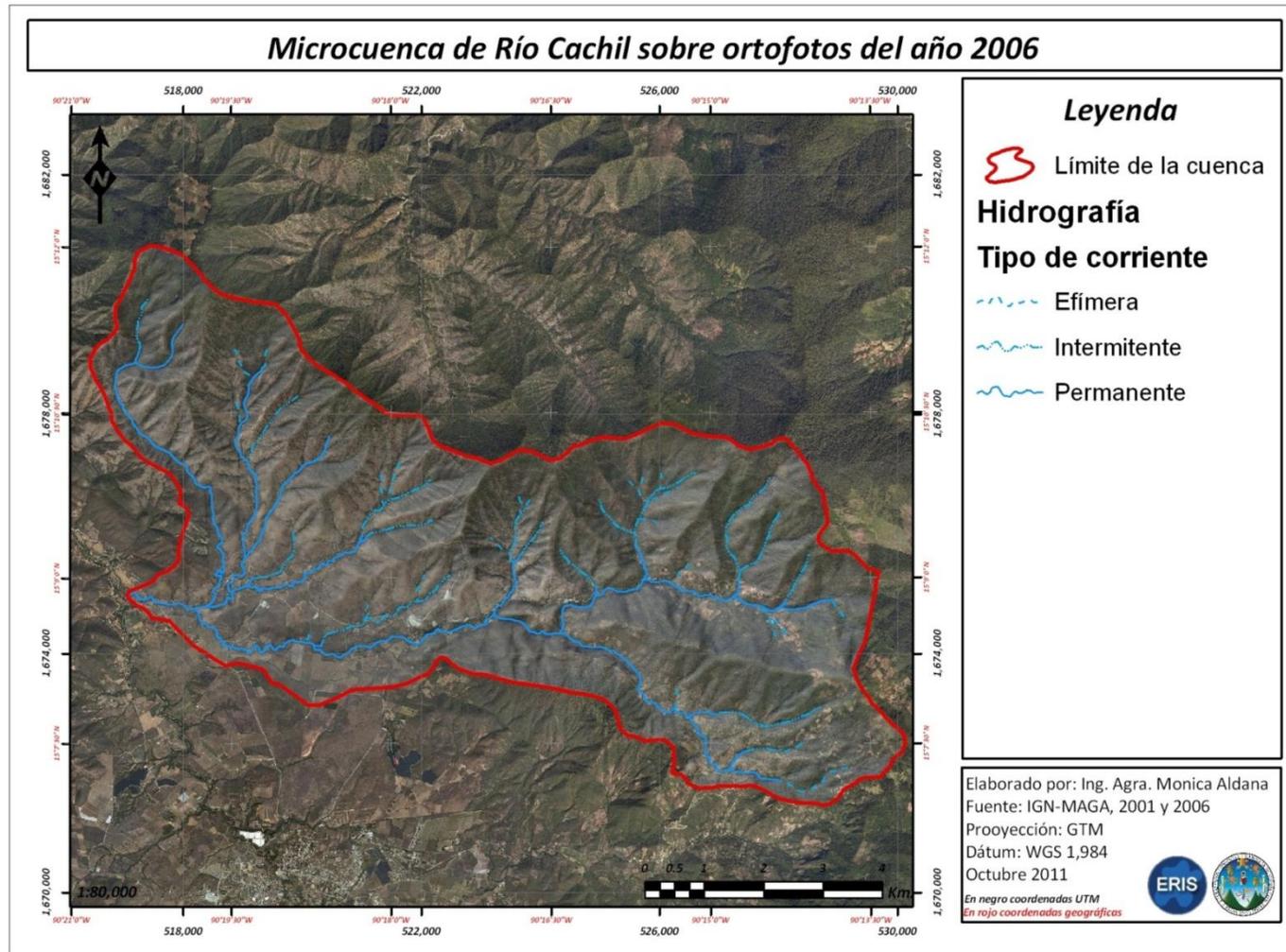


Figura36. Mapa de la microcuenca del río Cachil sobre ortofotos 2006. Fuente: propia.

B. Cobertura forestal:

La cobertura forestal, se muestran las áreas de bosque, ubicadas todas en la parte alta y con pendientes altas, y los arbustos se ubican contiguos a las áreas de bosque y vecinas a las comunidades, aunque se ha perdido la conectividad entre los parches de bosque. (Cuadro 32)

Cuadro 32. Cobertura forestal

Parámetro	Área (Ha)	Porcentaje
Bosque	1,261.53	20.09%
Bosque arbustal	1,232.01	19.62%
Otros usos	3,783.07	60.23%
Vivienda	4.00	0.06%
Total	6,280.61	100.00%

C. Deforestación en los últimos diez años:

La tasa de deforestación en los últimos diez años ha sido de alrededor de 35 hectáreas por año, y que representó el 5.5% del área total de la microcuenca (Cuadro 33). Dentro de las áreas que han perdido cobertura forestal se ubican en la microcuenca, en fincas particulares, en terrenos comunales y de pequeños productores.

Cuadro 33. Deforestación en los últimos 10 años

Parámetro	Área (Ha)	Porcentaje
Agricultura	693.37	11.04%
Arbustos	1,232.00	19.62%
Bosque	1,261.53	20.09%
Deforestado	348.03	5.54%
Pasto o matorrales	2,741.68	43.65%
Vivienda	4.00	0.06%
Total	6,280.61	100.00%

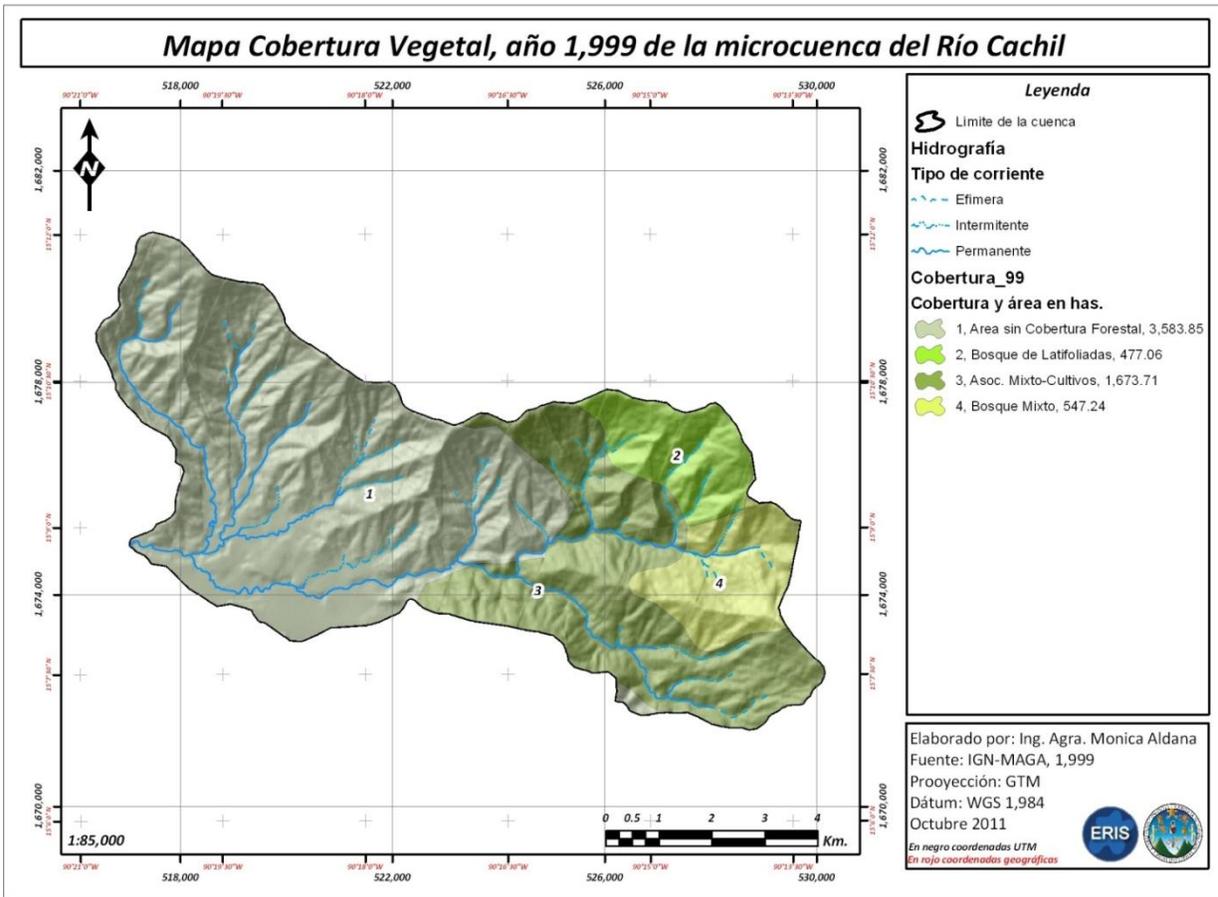


Figura 37. Mapa de cobertura vegetal 1999 de la microcuenca del río Cachil. Fuente: propia.

D. Influencia de la vegetación en la dinámica hídrica del suelo

Los bosques pueden afectar el patrón de redistribución del agua a través de los compartimientos en el suelo, y la cantidad de agua que deja el sistema en forma de corriente fluvial.

Hewlett 1982, establece un balance hídrico anual en cuencas hidrográficas con cobertura de bosque natural en condiciones de clima templado, en donde la evapotranspiración representa cerca del 2/3 del balance, es decir, cerca del 70% de la precipitación anual retorna a la atmósfera por transpiración, intercepción y evaporación directa de agua.

El papel hidrológico desempeñado por la protección forestal, se evidencia en los altos porcentajes de infiltración (91%). Descontando la cantidad de esta agua infiltrada que es absorbida por las raíces (60%), la mayor parte de la fracción restante percola hasta el nivel freático (23%) que a su vez, alimenta el escurrimiento base.

E. Susceptibilidad a la erosión:

Alrededor del 77% del área de la microcuenca tiene un grado de alto a severo de susceptibilidad a la erosión, es decir, la capacidad de uso de estos suelos son de protección y no de uso agrícola, y deberían tomarse serias consideraciones en el manejo forestal. Un 7% (395 ha) tienen baja susceptibilidad, por lo que podrían ser utilizados en agricultura con prácticas de conservación de suelos y aguas para minimizar la erosión. El restante 16% del área tiene un grado medio de susceptibilidad a la erosión, por lo que sería adecuada para actividades de manejo agroforestal.

Cuadro 34. Susceptibilidad a erosión

Grado de susceptibilidad	Área (Ha)	Porcentaje
Laminar - Surcos (Baja - Media)	394.23	6.28%
Surcos – Cárcavas (Media - Alta)	1,029.51	16.39%
Cárcavas (Alta - Severa)	4,856.87	77.33%
Total	6,280.61	100%

F. Incendios forestales:

En la microcuenca se reportaron 6 incendios entre el 2005 y el 2009; varios de éstos cercanos al camino de terracería que conduce hacia Tactic. Otros se dieron en los bosques comunales de San Vicente o Las Canoas. El área que abarcaron los incendios fue aproximadamente de 17.8 hectáreas

G. Áreas protegidas:

La parte alta al este de la microcuenca colinda con el Biotopo El Quetzal.

Cuadro 35. Control de la escorrentía, mejores prácticas de gestión

Uso del suelo	Posibles contaminantes	Mejores Prácticas de Gestión (MPGs)
Urbano/ Comercial (Parqueos, calles de la ciudad)	Sedimentos Fluidos de automóvil Aceite de motor calentamiento del agua de escorrentía	-Utilizar asfalto poroso o cemento permeable -Construir estanques de retención del agua de escorrentía para recolectar esta agua y dar tiempo a la infiltración de la misma -No pavimentar los parqueos -Crear canales de desagüe con vegetación o rocas alineadas para que la escorrentía pueda filtrarse al suelo lentamente
Bosques gestionados (calles de saca de madera)	Sedimentos	-Mantener la vegetación tampón a lo largo de los ríos para filtrar los sedimentos -No localizar las calles de saca justo adyacentes a los ríos
Residencial (céspedes, caminos de entrada)	Pesticidas Fertilizantes (nutrientes) Residuos de mascotas (bacterias) Detergentes	-Utilizar cantidades mínimas de pesticidas y fertilizantes en céspedes - Mantener áreas de vegetación natural para promover la infiltración - Regar los céspedes con moderación
Agricultura (ganado pastando)	Residuos animales (bacterias, nutrientes)	-Mantener la vegetación tampón a lo largo de los ríos para frenar y filtrar la escorrentía -Poner vallas a lo largo de los ríos para limitar o prevenir el acceso -Proporcionar depósitos de agua para el ganado
Agricultura (tierra de cultivo)	Sedimentos Fertilizantes Pesticidas	-Mantener la vegetación tampón a lo largo de los ríos para frenar y filtrar la escorrentía
Nuevas obras	Sedimentos	-Utilizar una estructura para el control de la erosión

Cuadro 36. Porcentaje de escorrentía para diferentes tipos de cubiertas del suelo

Uso del suelo	Descripción de la cubierta del suelo	Escorrentía (%)
1. Agricultura	Cultivos en hileras y cubierta de residuos de cultivos	30%
2. Comercial	Edificios, aceras, aparcamientos pavimentados	95-100%
3. Bosque	Árboles y arbustos	20-30%
4. Pasto/campos para ganado o fauna	Praderas, leguminosas	10-30%
5. Residencial con alta densidad	Tamaño de la parcela menor de 0.2 ha (2,000 m ²)	80%
6. Residencial con baja densidad	Tamaño de la parcela igual o mayor de 0.2 ha (2,000 m ²)	50%
7. Industrial	Edificios y aparcamientos pavimentados	70-90%
8. Espacio abierto/sin bosque	Céspedes, parques, campos de golf	20-40%
9. Humedal	Agua estancada, con vegetación	5%

Fuente: Hidrología urbana para pequeñas cuencas, USDA Servicio de Conservación de los Recursos Naturales, 1986.

H. Nacimientos:

La microcuenca Cachil cuenta con cuatro nacimientos y tres tanques de distribución que abastecen a las comunidades de San Vicente, Pacaláj, Llano Largo y El Carmen. En el estudio de línea base del estado de los recursos naturales de la microcuenca del río Cachil (Basterrechea 2009.), el pH, sólidos totales disueltos, conductividad y temperatura estuvieron dentro de los límites máximos permisibles (LMP) de la Norma COGUANOR para agua potable. Sin embargo, los coliformes fecales, totales y E. coli estuvieron por arriba de los LMP. Los caudales de los nacimientos se encuentran entre 0.60 y 0.90 L/s; para una dotación de 75 litros/habitante/día, podrían abastecer a 3,214 habitantes. La población de las cuatro comunidades que se abastecen de estos nacimientos es de 1,107 habitantes; es decir, el caudal actual podría abastecer tres veces la población actual. Estos resultados se obtuvieron en la época de lluvia, en dicho estudio se recomienda aforarse en la época seca, para cuantificar el caudal crítico de estos nacimientos.

I. Estudios anteriores en calidad de agua en la microcuenca del río Cachil:

La calidad del agua del río Cachil parte media y baja, los valores de color, sólidos suspendidos y coliformes se encuentran dentro de los límites máximos permisibles y se recomienda que debiera determinarse residuos de agroquímicos en el agua y suelo, debido a la agricultura intensiva en la microcuenca. (Cuadro 37)

Cuadro 37. Calidad del agua en la parte alta y baja del río Cachil

Parámetros analizados	Norma COGUANOR		Parte Alta	Parte Baja
	LMA	LMP	El Carmen	Paso Ancho
Aceites y Grasas(mg/L)	----	----	N.D.	N.D.
pH (unidades) (Laboratorio)	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5	8.42	8.26
Sulfatos (mg/L)	100.0	250.0	N.D.	N.D.
Cloruros (mg/L)	100.0	250.0	N.D.	N.D.
Nitratos (mg/L)	No presente	10	1.6	3.7
Cianuros(mg/L)	----	0.07	N.D.	N.D.
Color aparente (UC HZ equiv. Unid. Pt-Co)	5	35	35	94
Color real (UC HZ equiv. Unid. Pt-Co)	----	----	15	27
Turbiedad(NTU)	5.0	15.0	1.5	13
DQOmg/L	----	----	< 25	< 25
DBO ₅ mg/L	----	----	< 5	< 5
RAS	----	----	0.09	0.44
Fluoruros (mg/L)	----	----	N.D.	N.D.
Sólidos disueltos (mg/L)	500.00	1000.00	222	73
Sólidos suspendidos (mg/L)	----	----	< 10	16
Boro (B)mg/L	----	0.3	N.D.	N.D.
Mercurio (Hg) (mg/L)	----	0.001	N.D.	N.D.
Cobre(Cu)(mg/L)	0.05	1.5	N.D.	N.D.
Calcio (Ca) (mg/L)	75.0	150.0	24	7
Sodio(Na)(mg/L)	----	----	3.1	6.5
Cadmio(Cd)(mg/L)	----	0.003	N.D.	N.D.
Arsénico(As)(mg/L)	----	0.01	N.D.	N.D.
Níquel(Ni)(mg/L)	----	----	N.D.	N.D.
Cromo(Cr)(mg/L)	----	0.05	N.D.	N.D.
Plomo(Pb) (mg/L)	----	0.01	N.D.	N.D.
Magnesio(Mg)(mg/L)	50.0	100.0	35 *	5.9
Selenio (Se) (mg/L)	----	0.01	N.D.	N.D.
Coliformes fecales(NMP/100mL)	----	< 2	< 2 **	240

J. Características demográficas de la microcuenca:

El 52.17% de la población es femenina, frente a un 47.83% masculina, teniendo un índice de masculinidad de 0.917. La población preproductiva (<14 años) representa el 46.81% de la población; la posproductiva (>65 años) representa el 4.79%, mientras que la población en edad productiva es el 48.40%.

La mayoría de la población (58.02%) es de origen indígena, principalmente en las comunidades de San Nicolás y San Vicente. La región forma parte de los pueblos mayas de origen Kiché Achí.

La tasa de natalidad en el municipio es de 30.1 por mil y la mortalidad infantil en el municipio de 15.05 por mil y a nivel departamental es de 19.8 por mil. No hay registros disponibles de las tasas de natalidad y mortalidad por comunidades.

K. Principal actividad económica:

La principal actividad económica de la población es la agricultura. En el municipio de Salamá el 99.3% de las fincas agrarias son de propietarios individuales. El 95.62% de los productores que controlan las fincas son varones, mientras que apenas el 4.38% de las fincas son controladas por mujeres. La edad de los productores/as agrícolas es de 35 a 44 años. (Censo agropecuario 2003).

L. Ingresos y pobreza:

El mapa de pobreza expresa que en el municipio de Salamá el 54.2% de la población es pobre, 11% está en pobreza extrema (SEGEPLAN, INE y URL). En la microcuenca se puede indicar que la mayor parte de la población es pobre. Los ingresos mensuales promedio es de Q. 947.22 (de Q. 600.00 a Q.1,642.00), cantidad que no llega al costo de la canasta básica alimentaria que

registra el INE (Q. 2,138.40 a noviembre 2010), menos aún al costo de la canasta básica vital (Q. 3,902.19).

El salario agrícola promedio en la microcuenca oscila entre Q.40.00 y Q.60.00/día.

M. Índice de desarrollo humano

El índice de desarrollo humano (IDH) es un indicador que expresa tres dimensiones básicas del desarrollo humano: salud, educación y nivel de vida. En Salamá el índice está en 0.62-0.63.

N. Pobreza y pobreza extrema:

La realidad de los distintos departamentos del país. Aun cuando la pobreza es un fenómeno palpable en toda Guatemala (16 de los 22 departamentos tienen más del 50% de su población en esta situación), los presentes resultados indican que los lugares con mayor incidencia son: Quiché y Alta Verapaz, en donde el consumo estimado de 8 de cada 10 pobladores está por debajo de la línea de pobreza general. En otros departamentos (Huehuetenango, Sololá, Totonicapán, Baja Verapaz y San Marcos) del “cinturón de pobreza” del norte y noroeste del país (Banco Mundial, 2002), alrededor de 3/4 partes de la población padece este flagelo.

En cuanto a la pobreza extrema, cabe destacar que Alta Verapaz es el departamento con mayor incidencia (41%) seguido por Quiché (33%), Huehuetenango (30%), Jalapa (30%) y Sololá (29%), con valores muy por encima del nivel promedio nacional. En la mayoría de casos, aquellos departamentos con altos porcentajes de pobreza general también cuentan con importantes problemas de pobreza extrema, Baja Verapaz se encuentra en un (23.5%)

O. Características de las viviendas y sus servicios:

Para el 2002, el censo de población reportaba, para los lugares poblados de la microcuenca, la existencia de 356 viviendas, de las cuales el 12.36% (44) estaban desocupadas. El 98.88% de las viviendas eran consideradas de tipo formal. La tenencia del local de vivienda en su mayoría es en propiedad, 93.6%, existiendo pocas en alquiler, cedidas o prestadas o en otra condición de posesión.

Datos sobre el servicio de agua para los hogares en la microcuenca. Se tiene que Pacaláj, El Carmen y Cachil el 100% de hogares tienen acceso a agua por tubería proveniente del nacimiento cercano. En San Vicente el 80% de hogares tiene acceso a agua por tubería, el resto de hogares accede a agua por medio de pozos. En Llano Largo el 65% de hogares tiene acceso a agua por tubería, el resto se abastece por su medio directamente de los riachuelos y nacimientos cercanos.

La cantidad de agua consumida diariamente por familia va de 230 litros diarios a 1,000 litros diarios con un valor medio de 446 litros. Se nota que el consumo es mayor en Cachil, Pacaláj y El Carmen, lugares que son abastecidos por tubería casi en un 100% y el dato menor de consumo familiar está en Llano Largo, lugar en que la cobertura por tubería es menor y una buena parte de los hogares se autoabastecen de riachuelos y nacimientos cercanos.

La continuidad del servicio de agua para aquellos que tienen agua por tubería, aseguran continuidad todo el día en Cachil y Llano Largo y se raciona en Pacaláj, mientras que en San Vicente y El Carmen la mayoría de hogares tiene continuidad en el servicio.

Respecto al recurso energético para la elaboración de alimentos, en la microcuenca se utiliza leña; sin embargo, en algunos hogares de Cachil, también utilizan otras fuentes de energía como gas propano (50% de hogares). El consumo de leña/familia/mes va de 1 a 2m³ de leña (1 a 1.9 tareas)

El 37% de hogares de la microcuenca tienen acceso al servicio de energía eléctrica domiciliar, en las comunidades localizadas en la parte baja de la microcuenca. En Pacaláj (100%), San Vicente (88%) y El Carmen (67%) no cuentan con este servicio (El censo de población y habitación 2002). Las tarifas para acceder al servicio de agua por tubería van desde Q. 0.00 (sin costo) hasta Q. 5.00/mes. Y la mayoría de los hogares cuentan con servicio sanitario tipo letrina.

P. Uso del agua para riego:

En estudios anteriores reportan que para el 2009 los usuarios de agua para riego en agricultura son en Pacaláj (0.5 hectáreas), San Vicente (0.1 hectáreas) y El Carmen (0.5 hectáreas) en la parte alta y media de la microcuenca, respectivamente, así como en Cachil en la parte baja de la microcuenca (20 hectáreas). En Llano Largo nadie riega.

Se utiliza principalmente riego por aspersión, especialmente en tomate.

Q. Pérdidas por desastres

En agricultura han sido afectados por sequía, lluvia, deslaves, erosión, granizo y viento. En el tema forestal han sido afectados por incendios. Llano largo ha reportado sequía e incendios; Pacaláj, sequía y exceso de lluvia; San Vicente, deslave sobre todo durante el Mitch; El Carmen, sequía, mucha lluvia e incendios; y Cachil, granizo y viento.

R. Planes de acción y ordenanzas municipales:

No existen localmente planes de manejo de la microcuenca, ni de ordenamiento territorial y de manejo local de agua, ya sea comunitario o del agua que llega a la cabecera municipal de Salamá. Hay preocupación de las autoridades municipales por el abastecimiento de agua en la época de verano en la ciudad de Salamá, ya que hay competencia entre usuarios por el uso del agua que se capta en la microcuenca, dado que en tiempos anteriores se requirió de agua por derecho de paso, cuyo derecho toman agricultores para regar sus cultivos y reducir el volumen de agua que llega para el servicio doméstico; no obstante, aún no se llega a una negociación o plan de acción para resolver esta problemática.

S. La adjudicación de tierras en Salamá

Salamá es uno de los pocos municipios de Guatemala que tiene como característica particular, la adjudicación de tierra en grandes extensiones a grupos de vecinos que se hicieron acreedores a ella en pago a servicios prestados a la patria.

Por Acuerdo Gubernativo del 20 de octubre 1874 se dispuso que el erario nacional se hiciese cargo de dichos gastos; por Acuerdo Gubernativo del 24 abril de 1880 se dispuso notificar los terrenos que se denominaron Cerro Verde, Repollal, San Vicente, Guadalupe Panimá, Sinajá y El Espinera, perteneciente a Salamá, así como solicitar sus lotes.

Cuadro 38. Relación de las comunidades con el bosque en la microcuenca del río Cachil

Finca	Relación con el bosque
<p>Finca Pacalaj:</p> <p>La referencias más cercana sobre la constitución de esta finca comunitaria, es la que manejan los propios pobladores al establecer que la fundación de la aldea data del 6 de marzo de 1906, ya que por Acuerdo Gubernativo. En la finca Pacalaj están asentadas tres aldeas: Llano Largo, El Carmen y Pacalaj. Cada una de ellas es independiente y cuenta con su propio sistema de organización comunitaria, predominando la forma del Consejo Comunitario de Desarrollo –COCODE- y Alcalde Auxiliar, designado por el Alcalde Municipal</p> <p>De las tres aldeas que están asentadas dentro de la finca, Pacalaj puede considerarse la más activa en términos de producción agrícola, la siembra de maíz y frijol, seis familias están trabajando en un invernadero, en el cual siembran ejote chino. Este invernadero cuenta con riego (mangueras) y lo venden a San Juan Sacatepéquez. También hay algunas familias que cuentan con árboles de naranja, la cual es comercializada en el mercado de Salamá.</p> <p>En relación con los cultivos básicos, según los pobladores, la cosecha del maíz alcanza para la mayor parte del año, lo consumen de septiembre a junio y durante dos o tres meses del año tienen que comprarlo. No venden maíz, la producción es sólo para consumo familiar; aunque se presentan los casos que cuando necesitan de algún ingreso monetario extra, sacan a vender parte de</p>	<p>Los vecinos de Pacalaj tienen una estrecha relación con el bosque que poseen. Derivado de esta relación se puede apreciar un gran conocimiento del mismo, tanto por parte de los hombres como de las mujeres. Este aspecto es importante resaltarlo, ya que se pudo establecer que las mujeres participan de manera activa en actividades relacionadas al uso de los diversos productos que proporciona el bosque, especialmente los no maderables.</p> <p>Además de la flora abundante, el bosque de Pacalaj se caracteriza por las fuentes de agua que existen en él. Si bien es cierto, no todas las fuentes de agua nacen dentro del bosque, si se encuentran algunos nacimientos que provienen de la cuenca alta.</p> <p>A decir de los pobladores, los nacimientos de agua que proveen a Salamá, no están en Pacalaj sino fuera de la finca. Las captaciones sí están en la finca. El agua que llega a Salamá pasa por la aldea Llano Largo, pero no nace de ahí (10 a 25 metros de distancia del lindero), aunque sí hay nacimientos en dicha aldea. Todos los</p>

<p>su reserva.</p> <p>También se han tenido experiencias con la siembra de tomate y otras hortalizas, los cuales les han permitido no sólo mejorar la dieta de las familias, sino que también tienen la oportunidad de llevar al mercado parte de la cosecha.</p>	<p>vecinos de Pacalaj hacen uso del bosque y los productos más frecuentes que obtienen de él, son maderables y no maderables; en orden de importancia son los siguientes: leña, madera, agua; orquídeas, hoja de pino, musgo y gallitos.</p>
<p>Aldea el Carmen o Rincón Judío:</p> <p>La ubicación de la aldea dentro de la finca es en el lindero de la montaña Quisis con la Sierra de las Minas, río Cachil de por medio. Se ubica a una altura de 1,120 msnm, Latitud de 15°08'55" y una Longitud de 90°16'05" a 11 kilómetros de la cabecera departamental.</p> <p>En la aldea no existe centro de salud ocasionalmente los visitan enfermeras del centro de salud de Salamá. Cuenta con una población total de 187 personas 85 hombres y 102 mujeres. Actualmente cuenta con 39 viviendas y 42 familias, las cuales se dedican a tiempo completo a la agricultura.</p> <p>Las principales actividades productivas de los pobladores de la aldea El Carmen están relacionadas con la agricultura de subsistencia, principalmente el cultivo del maíz y frijol. En menor proporción se han presentado iniciativas de algunas familias de sembrar tomate, el cual es destinado a la venta; un porcentaje bajo de aproximadamente 10% se destina al consumo familiar.</p> <p>El uso de la tierra, generalmente es para el cultivo y siembra de maíz, frijol y</p>	<p>La aldea El Carmen es la que está más retirada del área boscosa, comparada con las aldeas Pacalaj y Llano Largo, que cuentan con bosque a sus alrededores. Por lo tanto la relación hacia éste es menos estrecha. Si bien hacen uso de leña y madera para construcción de vivienda, los pobladores indican que estos productos los van a traer a los bosques de Pacalaj o de Llano Largo.</p> <p>La aldea El Carmen no cuenta con un abundante bosque; desde que se asentó la comunidad según comentan las personas, no había mucho bosque en los alrededores. De forma dispersa se ven especies de árboles frutales como: mango, naranja, limón. Y especies forestales como pino, ciprés, encino, etc.</p> <p>Esto se agudizó con el hecho de que entre los años 2004-2006 ocurrieron algunos incendios forestales en los</p>

<p>tomate la mayoría de productos son de consumo familiar.</p> <p>Servicios: un 83.72% de la población tiene agua domiciliar, y un 88.37% de las viviendas tiene letrinas. No cuentan con servicio de energía eléctrica.</p>	<p>remanentes de bosque que se tenían cerca de la comunidad; es por esto que las actividades relacionadas con el bosque son reducidas, a diferencia de las otras comunidades en la finca. En el Carmen, ni hombres ni mujeres extraen productos no maderables para la venta, tal como sucede en Pacalaj, debido a que para obtener dichos productos tienen que caminar largas distancias y en cuestión de ingresos monetarios no compensa.</p>
<p>Llano largo:</p> <p>La economía de las y los habitantes de Llano Largo depende de las actividades agrícolas. Los principales cultivos son frijol, maíz, hortalizas; y cuenta con crianza de animales domésticos. Todas las familias cuentan con terreno para sembrar y las tierras son comunales. Alimentos como especias, azúcar, sal, arroz, cereales, etc; son adquiridos en las tiendas de la comunidad o en el mercado de Salamá. Las fuentes de ingresos se fundamentan en tres actividades laborales, el jornaleo en fincas de Unión Barrios y en Salamá, en los meses de marzo y abril y noviembre y diciembre; en la venta de maíz, frijol, café, crianza de animales domésticos como cerdos y gallinas; leña y frutas. La venta de productos no maderables extraídos del bosque, tal como las orquídeas y plantas ornamentales.</p> <p>Debido al carácter temporal de las actividades laborales, la comunidad presenta un comportamiento de estabilidad económica, al menos para</p>	<p>Poseen un bosque comunal, en el cual predominan las especies de pino, y encino, del cual se proveen de leña para consumo familiar así como madera para cuando sus casas necesitan el cambio respectivo, o la construcción de nuevas casas.</p> <p>En Llano Largo, según comentan pobladores de la comunidad y de las aldeas vecinas, hay familias que tienen como fuente de ingresos permanentes la extracción y venta de leña y madera.</p>

subsistencia, en los meses de noviembre a abril, siendo los meses restantes críticos para la economía familiar. Durante esos meses compran maíz, porque lo que cosechan no les cubre el consumo para todo el año, por lo que tienen que comprarlo en el mercado de Salamá. Llano Largo cuenta con los servicios de agua domiciliar entubada en el 97% de las casas, letrinización en un 95%, no tiene energía eléctrica. Cuenta con una escuela en la cual labora 1 maestro que cubre el nivel de pre-primaria y 1º de primaria. La comunidad cuenta con una fuente de agua que está en la montaña de Quisis, la cual se encuentra a 0.5 kilómetro de la comunidad, siendo de aquí donde se proveen del agua entubada que llega a las casas y a los chorros públicos. Cuentan con suficiente agua, pues según reportan, llueve durante 10 meses al año.

T. Clasificación de tierras forestales y de regulación y captación hidrológica según el mapa de (TFRCH) del Instituto Nacional de Bosques 2005.

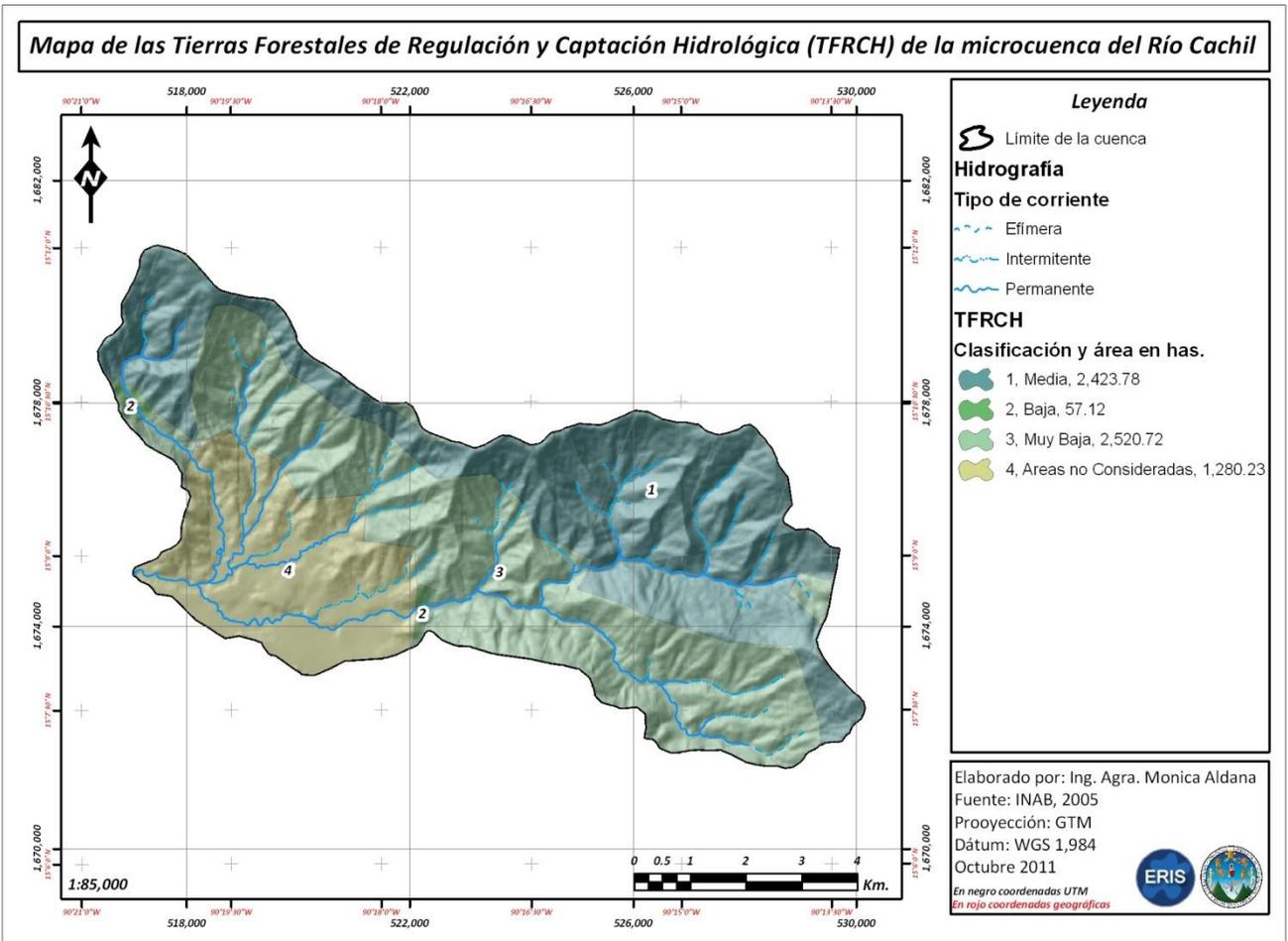


Figura 38. Tierras forestales de regulación y captación hidrológica. Fuente: propia.

Las tierras forestales de regulación y captación hidrológica son tierras con aptitud preferentemente forestal, para protección o para realizar manejo forestal o agroforestal sostenible, son de suma importancia por la cantidad y calidad de agua que incorporan a sistemas hidrológicos locales (cuencas de captación). Constituyen sitios de regulación y/o captación hídrica, con efectos en el comportamiento de sistemas de drenaje superficial o subterráneos. Como se observa en el mapa la mayor área de la microcuenca tiene una muy baja aptitud

(2,520.72 ha), seguido de la aptitud media (2,423.78 ha) y el (57.12 ha) se encuentran dentro de la clasificación de baja.

U. Fisiografía y geomorfología

a. Tierras altas cristalinas

Según IGN (1972), está constituida por serpentinitas, gneisses metamórficos y esquistos, apareciendo algunas pequeñas áreas de material plutónico, principalmente granito, que forman una región distinta tanto de los estratos sedimentarios del norte, como las regiones volcánicas del sur.

Esta área se ubica entre los dos principales sistemas de fallas que han estado en evolución desde el Paleozoico. El patrón de drenaje a través de la región es muy ilustrativo, ya que los cursos de los ríos Chixoy o Negro y Motagua.

b. Subregión Sierra de Chuacús:

Esta subregión se localiza a partir de los municipios de Cunén, San Andrés Sajcabajá del Departamento de Quiché, Purulhá, Salamá y Rabinal del Departamento de Baja Verapaz y parte del Departamento de El Progreso; tiene alturas que van desde los 800 a los 2,500 msnm. Se observa un drenaje superficial subdendrítico, paralelo y subparalelo; hay presencia de rocas más antiguas (del Paleozoico); otras intrusivas, metamórficas, sedimentarias y carbonatos.

- **Gran Paisaje: Superficies planas interiores de Chuacús**
- **Gran Paisaje: Sierra de Chuacús**

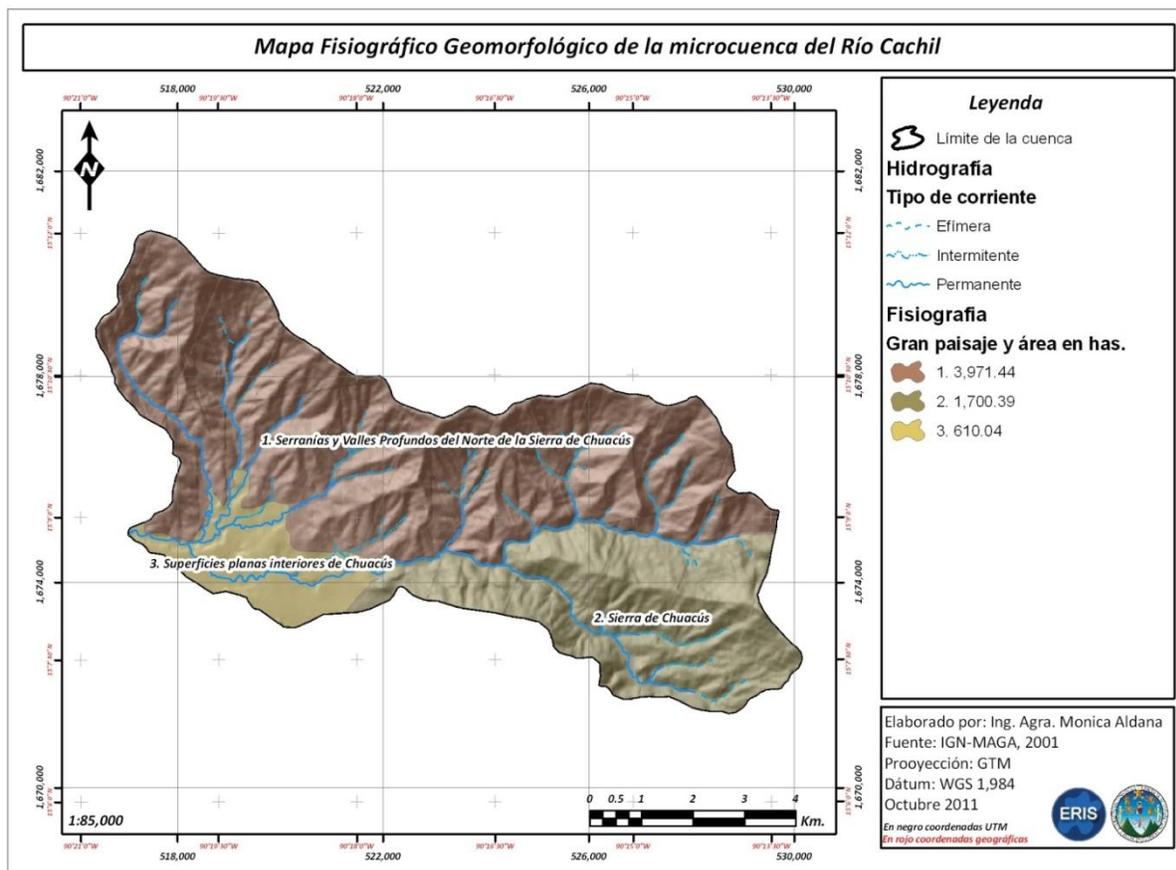


Figura39. Mapa fisiográfico geomorfológico de la microcuenca del río Cachil. Fuente: propia.

V. Geología:

La microcuenca Cachil presenta seis unidades geológicas (SIG – MAGA 2001), dividida en Rocas Sedimentarias e Ígneas y Metamórficas.

a. Rocas sedimentarias del Cretácico Ksd.

Esta rocas forman junto a la unidad CPsr las unidades más pequeñas de la microcuenca, se extiende de 23.78 ha, equivalentes al 0.38%; formada por carbonatos Neocomiano – Camapanianos, incluye las formaciones de Cobán, Ixcoy, Campur, Sierra Madre y Grupo Yojoa.

b. Rocas sedimentarias Jurásico Cretácico JKts.

Formación Todos Santos, Jurásico Superior – Neocamiano (capas rojas), incluye Formación San Ricardo, cubre un superficie de 572.46 ha equivalente a 9.11%.

c. Rocas sedimentarias del Carbonífero Pérmico CPsr.

Al igual que la unidad Ksd, estas rocas conforman las unidades más pequeñas del área de estudio; pertenecen al grupo Santa Rosa donde se presentan lutitas, areniscas, conglomerados y filitas; incluye formaciones Santa Rosa, Sacapulas, Tactic y Macal, ocupan solamente una extensión de 0.39% de la extensión de la microcuenca equivalente a 24.55 ha (unidad geológica no considerada).

d. Rocas ígneas y metamórficas del Cuaternario Qp.

Son rellenos gruesos y cubiertas gruesas de cenizas, además de tener pómez de origen diverso, se extienden 371.02 ha ocupando el 5.91% del área del estudio.

e. Rocas ígneas y metamórficas del Terciario Pi.

Ocupan la mayor extensión del área de estudio 3,819.36 ha equivalente al 60.81%, son rocas ultra básica de edad desconocida, donde predominan las serpentinitas. En parte tienen edad pre-Mestrichtiano.

f. Rocas ígneas y metamórficas del Paleozoico Pzm.

Rocas metamórficas sin dividir, presentes filitas, esquistos cloróticos y granatíferos, esquistos y gneisses de cuarzo–mica–feldespato, mármol y migmatitas; ocupan el 23.40% de la microcuenca, con una superficie de 1,469.34 ha.

Cuadro 39. Unidades geológicas microcuenca río Cachil.

Geología	Símbolo	%
Rocas Sedimentarias del Cretácico	Ksd	0.38
Rocas Sedimentarias Jurásico – Cretácico	Jkts	9.11
Rocas Sedimentarias del Carbonífero Pérmico	CPsr	0.39
Rocas Ígneas y Metamórficas del Cuaternario	Qp	5.91
Rocas Ígneas y Metamórficas del Terciario	Pi	60.81
Rocas Ígneas y Metamórficas del Paleozoico	Pzm	23.40
	TOTAL	100.00

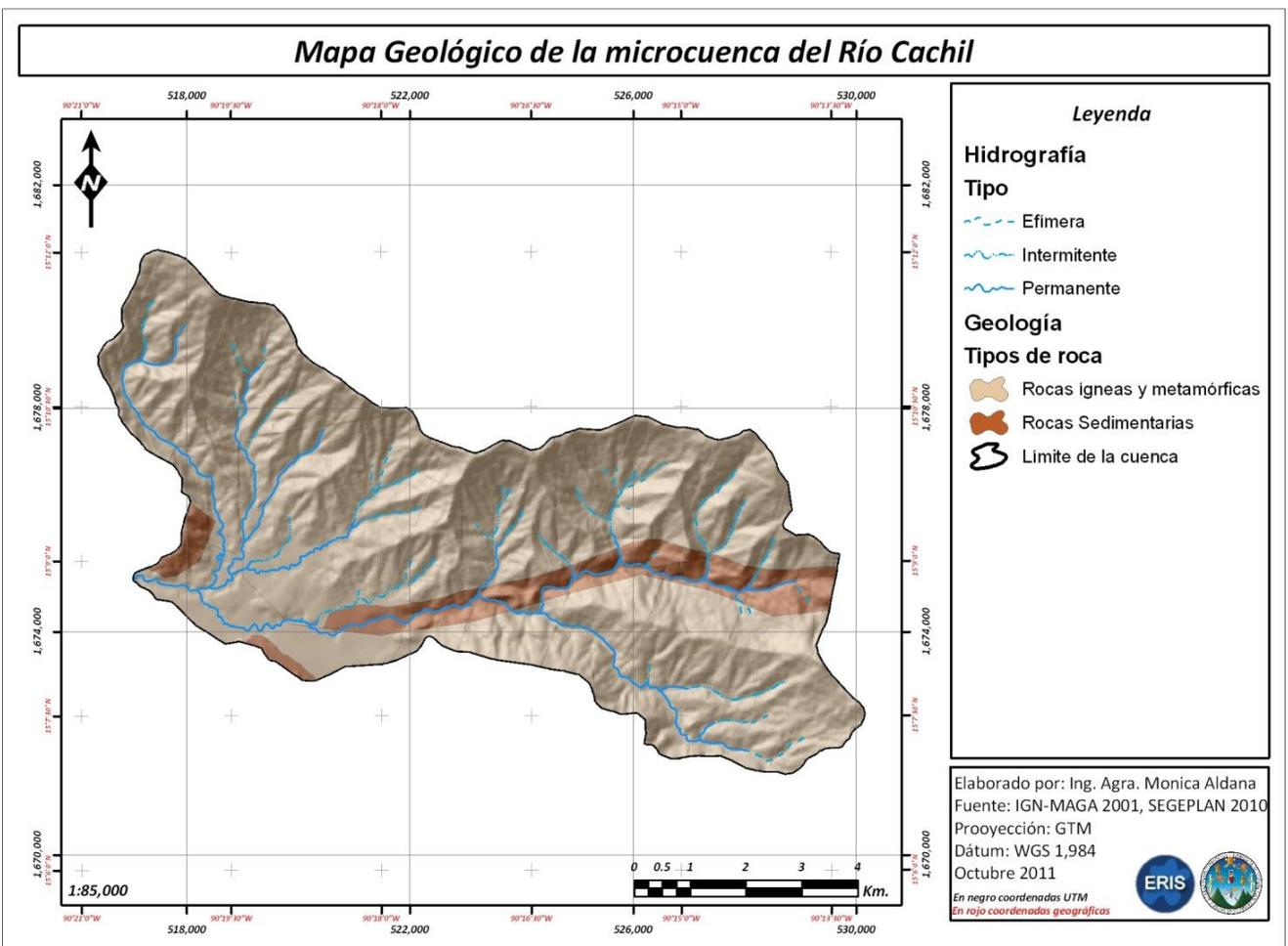


Figura40. Mapa geológico de la microcuenca del ríoCachil. Fuente: propia.

W. Taxonomía de suelos

Cuadro 40. Taxonomía de suelos:

No.	Orden	Suborden	Símbolo	Descripción orden	Descripción suborden	Lineamientos generales de manejo
1	Entisol	Orthents	Eo	Entisol (Ent): Suelos con poca o ninguna evidencia de desarrollo de su perfil y por consiguiente, de los horizontes genéticos. El poco desarrollo es debido a condiciones extremas, tales como el relieve (que incide en la erosión o, en su defecto, en la deposición superficial de materiales minerales y orgánicos) o el exceso de agua. De acuerdo al relieve, estos suelos están presentes en áreas muy accidentadas (simas de montañas y volcanes) o en partes planas. Este orden de suelos para el estudio se clasifica en dos subórdenes: Orthents (Eo) y Psamments (Ep).	Orthents Eo: Suelos de profundidad variable la mayoría son poco o muy poco profundos. Generalmente están ubicados en áreas de fuerte pendiente, existen también en áreas de pendientes moderadas a suave en donde se han originado a partir de deposiciones o coluviamientos gruesos o recientes.	Una gran cantidad de Orthents en Guatemala, no son apropiados para actividades agrícolas, sobre todo cuando están en superficies inclinadas. Entre sus limitaciones están: la poca profundidad efectiva, en muchos casos la pedregosidad interna y los afloramientos rocosos. Si han perdido su cubierta natural sus mejores usos serán para producción forestal o sistemas agroforestales.
2	Entisol	Psamments	Ep		Psamments Ep: Son los entisoles más arenosos que se encuentran en superficies poco inclinadas y con menos de 35% de fragmentos rocosos. Generalmente se encuentran en las áreas más cercanas a los ríos o en áreas de actividad volcánica muy reciente. A diferencia de los Fluvents, los Psamments no tienen capas deposicionales de materiales minerales en su interior. En muchas áreas, están cubiertos con bosques de galería, y en otros casos están cultivados y forman parte de lo que los agricultores llaman suelos de vega.	En los casos que se dispone de agua en abundancia pueden ser bastantes productivos puestos que tienen poca retención de humedad. La pedregosidad muchas veces en una limitante para la producción. Por su naturaleza arenosa en muchos casos su contenido orgánico es muy bajo en su fertilidad se ve afectado.
3	Inceptisol	Ustepts	Ps	Orden Inceptisol (ept): Son suelos incipientes o jóvenes, sin evidencia de fuerte desarrollo de sus horizontes, pero son más desarrollados que las entisoles. Son suelos muy abundantes en diferentes condiciones de clima y materiales originarios.	Ustepts Ps: Son inceptisoles que están secos en su interior entre 90 y 180 días del año presentan deficiencias de humedad.	Se les encuentra localizado en las regiones con menor lluvia. Para su manejo adecuado requieren de la aplicación de agua para producción de más de una cosecha de cultivos anuales

						o de ciclo corto.
4	Molisol	Ustolls	Ms	<p>Mollisol (oil): Suelos con su horizonte superficial grueso, oscuro generalmente con alto contenido de materia orgánica y una alta saturación de bases (mayor del 50%). Son suelos bastante fértiles, y por sus características físicas y químicas, generalmente son muy buenos suelos para la producción agrícola. Es común encontrarlos en relieves planos o casi planos, lo que favorece su mecanización. Sin embargo, se debe de planificar su aprovechamiento, para que este sea sostenible.</p>	<p>Ustolls Ms: molisoles que están secos entre 90 y 180 días del año en su interior presenta deficiencias de humedad.</p>	Al igual que los Udolls, estos suelos son muy buenos para la agricultura, sin embargo se ven limitados por la deficiencias de humedad, factor que se debe de considerar la suplementación del agua para actividades productivas en la mayor parte del año.
5	Alfisol	Ustalfs	Ls	<p>Alfisol (alf): Suelos con un horizonte interno con alto contenido de arcilla, con relación a los horizontes superficiales; además presentan alta saturación de bases (mayor de 35%). Los alfisoles son suelos maduros con un grado de desarrollo avanzado, pero que todavía tienen un alto contenido de bases en los horizontes interiores. Generalmente son suelos con buen potencial de fertilidad.</p>	<p>Ustalfs Ls: Alfisoles que están secos entre 90 y 180 días del año en su interior. Presentan déficit de humedad.</p>	Al igual que los udalfs, ofrecen buenas condiciones para la producción agropecuaria pero en caso de actividades agrícolas se requiere de la suplementación de agua, para tener cultivo con más de una cosecha por año.
6	Ultisol	Udult	Ud	<p>Orden Ultisol (ult): Estos son suelos que normalmente presentan una elevada alteración de sus materiales minerales. Presentan un horizonte interior con alto contenido de arcilla (argílico) que tiene baja saturación en las bases (menor de 35%). La mayor parte de los ultisoles son suelos pobres debido al lavado que han sufrido. Por sus bajos niveles de productividad demandan tecnologías no convencionales y ser manejados en forma extensiva, pero no con cultivos o actividades productivas exigentes en nutrientes.</p>	<p>Udult (Ud): suelos que están secos en su interior entre 90 y 180 días del año. Presentan déficit de humedad.</p>	Manejando convenientemente su fertilidad natural y con técnicas adecuadas para controlar la erosión, pueden desarrollarse actividades productivas, siempre que sean de naturaleza extensiva.

7	Inceptisol	Udepts	pd	<p>Orden Inceptisol (ept).: Son suelos incipientes o jóvenes, sin evidencia de fuerte desarrollo de sus horizontes, pero son más desarrollados que los entisoles. Son suelos muy abundantes en diferentes condiciones de clima y materiales originarios, están presentes dos subórdenes de suelo.</p>	<p>Suborden Udepts (Pd).:Suelos que no están secos en su interior por más de 90 días, tienen un adecuado contenido de humedad la mayor parte del año. Generalmente presentan buenas condiciones para actividades productivas, pero cuando se encuentran en regiones de alta pluviosidad, demanda reposición de nutrientes para hacerlos productivos.</p>
8	Vertisol	Usterts	Vs	<p>Orden Vertisol (ert).Estos presentan altos contenidos de arcilla expandible desde la superficie. Se caracterizan por formar grietas profundas en todo el perfil, las cuales se observan principalmente en la época seca. Cuando están húmedos o mojados se vuelven muy plásticos. Generalmente, son suelos con alto potencial de fertilidad en la producción agrícola, pero tienen limitantes en lo que se refiere a su labranza, porque cuando están secos son muy duros y como ya se indicó, cuando están mojadas son muy plásticos.</p>	<p>Usterts Vs: Secos entre 90 y 180 días del año en su interior, presentan deficiencia de humedad. Su principal problema es la falta de humedad la mayor parte del año, por lo que si se quieren manejar agronómicamente, se debe considerar este factor, lo que además implica que sean muy duros y difíciles de penetrar con instrumentos de labranza. Si se planifica la suplementación de agua con riego, debe estimarse convenientemente las láminas o volúmenes de riego, puesto si el riego es excesivo, se corre el riesgo de salinización.</p> <p>Son principal problema en la falta de humedad la mayor parte del año, por lo que si se quieren manejar agronómicamente, se debe considerar este factor, lo que además implica que sean muy duros y difíciles de penetrar con instrumentos de labranza. Si se planifica la suplementación de agua con riego. Debe estimarse convenientemente las láminas o volúmenes de riego, puesto si el riego es excesivo, se corre el riesgo de salinización.</p>

Cuadro 41. Taxonomía de suelos de la microcuenca del río Cachil.

No.	Orden	Suborden	Símbolo	%
1	Entisol	Orthents	Eo	25.82
2	Entisol – Inceptisol	Orthents – Ustepts	Eo Ps	15.52
3	Inceptisol - Entisol - Molisol	Ustepts – Orthents - Ustolls	Ps Eo Ms	1.73
4	Inceptisol – Alfisol	Ustepts - Ustalfs	Ps Ls	1.78
5	Ultisol – Inceptisol	Udult - Udepts	Ud Pd	45.99
6	Vertisol	Usterfs	Vs	9.16
			TOTAL	100.00

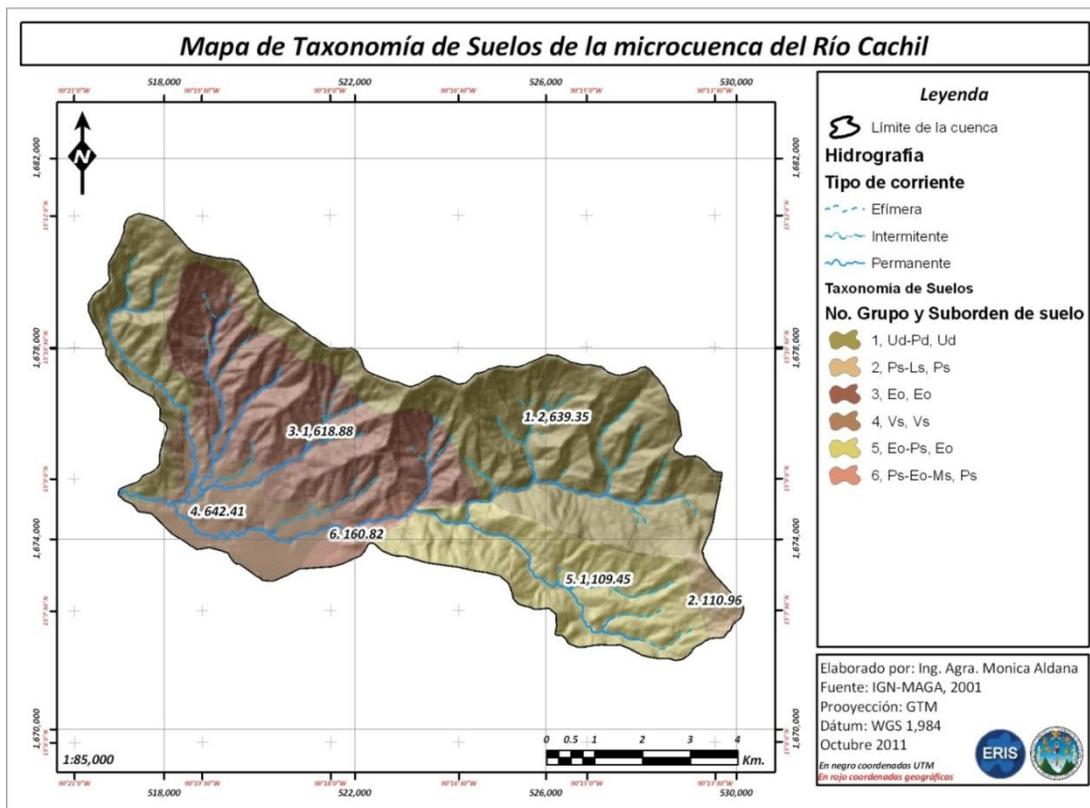


Figura 41. Mapa de taxonomía de suelos microcuenca del río Cachil. Fuente: propia.

X. Serie de Suelos:

Grupo de suelos semejantes en todos sus horizontes genéticos menos en la capa superior o arable y que tienen un material madre similar. Excluyendo la capa superior, los horizontes tienen el mismo, color, estructura, distribución, condiciones naturales de drenaje y las características importantes son iguales. (Simmons, 1959).

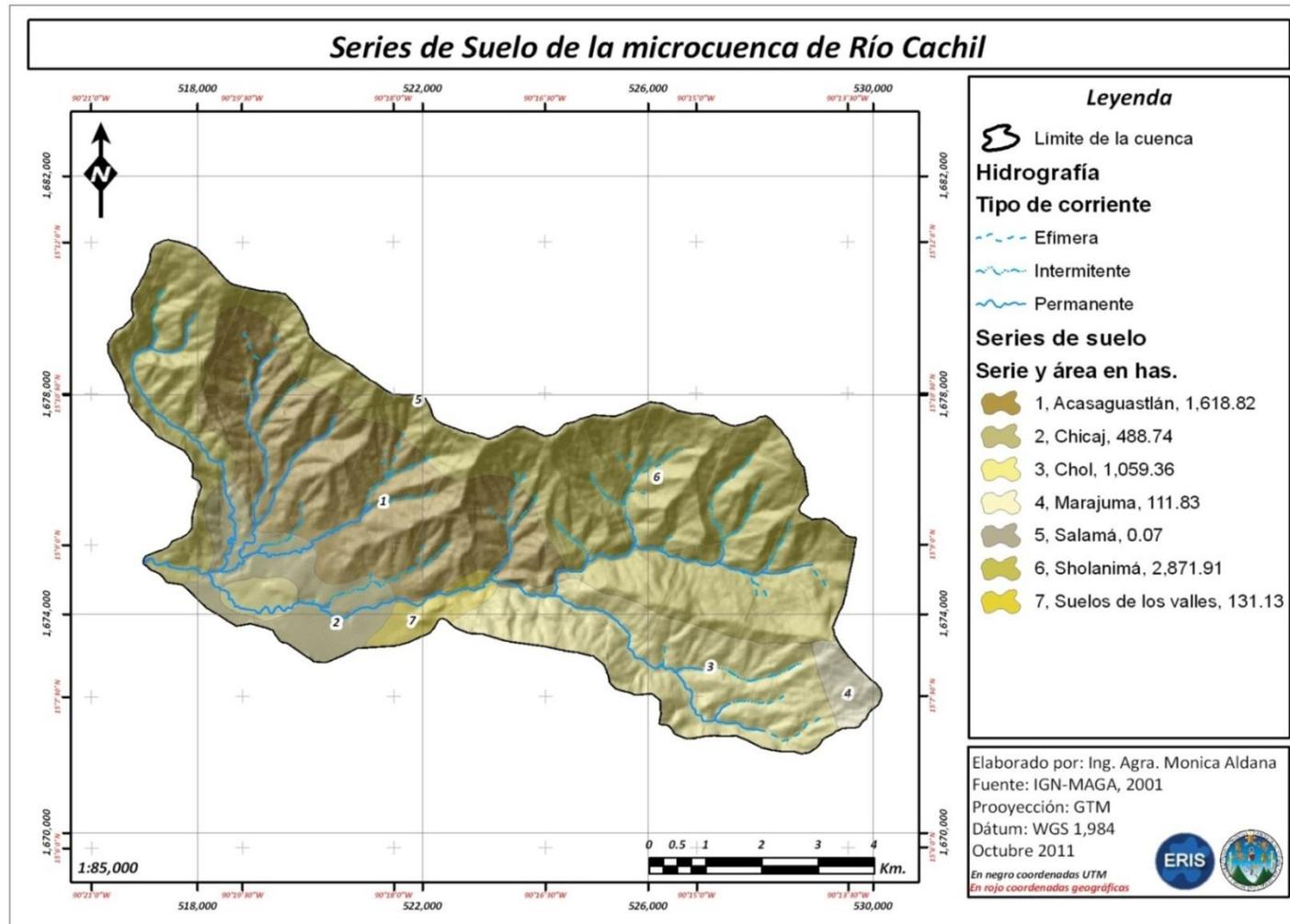


Figura 42. Serie de Suelos de la microcuenca del río Cachil. Fuente: propia.

Y. Red vial:

La infraestructura vial en la microcuenca es pobre siendo la principal vía de acceso la carretera departamental No. 5 que sale de la cabecera municipal de Salamá a la comunidad de Pantín y la ruta CA-14. De esta carretera departamental salen dos ramales; uno que va a la finca Concepción y otro que va a la comunidad de Llano Largo, y varios caminos de terracería hacia algunas comunidades.

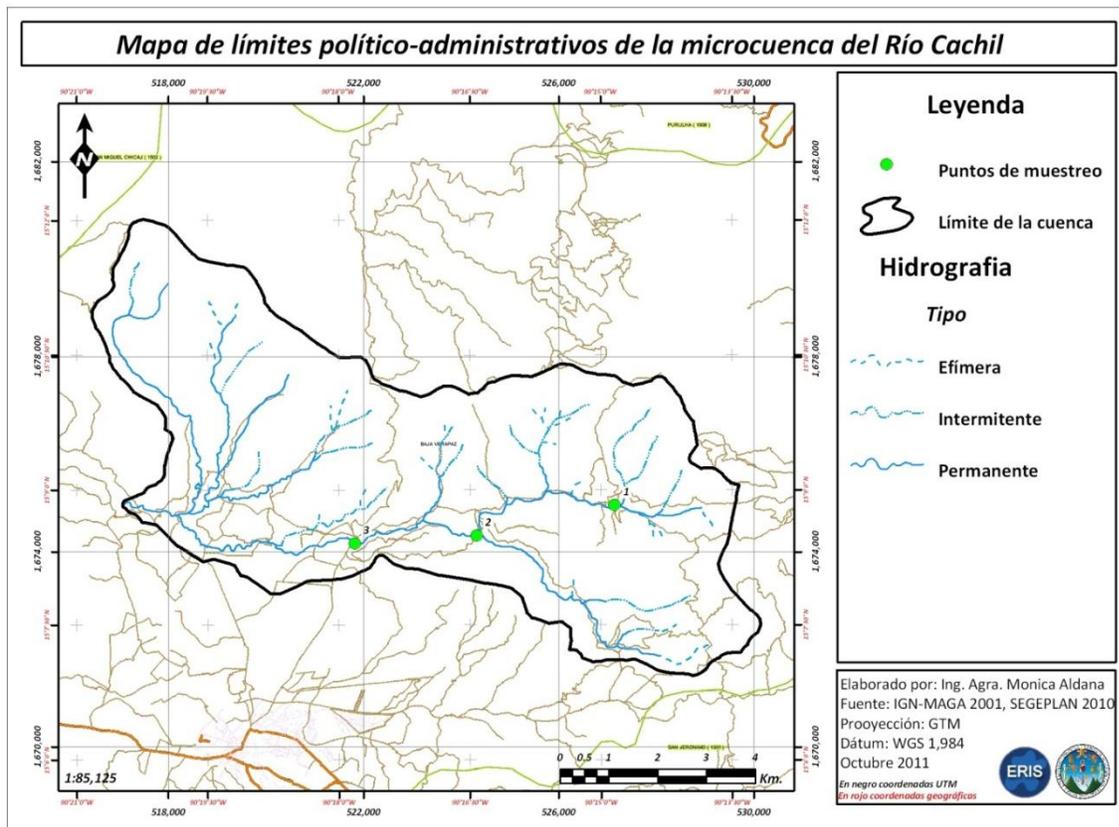


Figura 43. Mapa de límites político-administrativos de la microcuenca del río Cachil.
Fuente: propia.

ANEXO 4
FOTOGRAFÍAS DE LAS ETAPAS RELEVANTES DE LA INVESTIGACIÓN



Figuras 44 y 45. Uso de los recursos en la microcuenca (Minería y sistemas de riego).Fuente: propia



Figuras 46 y 47. Actividades de ganadería y agricultura dentro de la microcuenca. Fuente: propia.



Figuras 48 y 49. Actividades para las cuales se utiliza el recurso hídrico (agricultura y uso humano). Fuente: propia.



Figuras 50 y 51. Mediciones en campo. Fuente: propia.



Figuras 52 y 53. Aparatos utilizados para medición en campo. Fuente: propia.



Figuras 54 y 55. Rio en la parte alta de la microcuenca (Llano Largo). Fuente: propia.



Figuras 56 y 57. Rio en la parte media de la microcuenca. Fuente: propia.



Figuras 58 y 59. Tanque de captación hacia la planta de tratamiento. Fuente: propia.



Figuras 60 y 61. Rio en la parte baja de la cuenca, Cachil. Fuente: propia.



Figuras 62, 63, 64 y 65. Incubadoras portátiles para análisis bacteriológicos y equipos Multiparametricos portátiles para análisis Físicoquímicos. Fuente: propia.



Figuras 66 y 67. Realización de análisis en laboratorio portátil. Fuente: propia.



Figuras 68 y 69. Trayecto a tanque de captación de agua. Fuente: propia.