

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO “IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE RECARGA  
HÍDRICA NATURAL EN LA SUBCUENCA DEL RÍO QUISCAB, CUENCA DEL LAGO DE  
ATITLÀN”

VICTOR POLICARPO BARRENO ROSALES

GUATEMALA, SEPTIEMBRE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ÁREA INTEGRADA

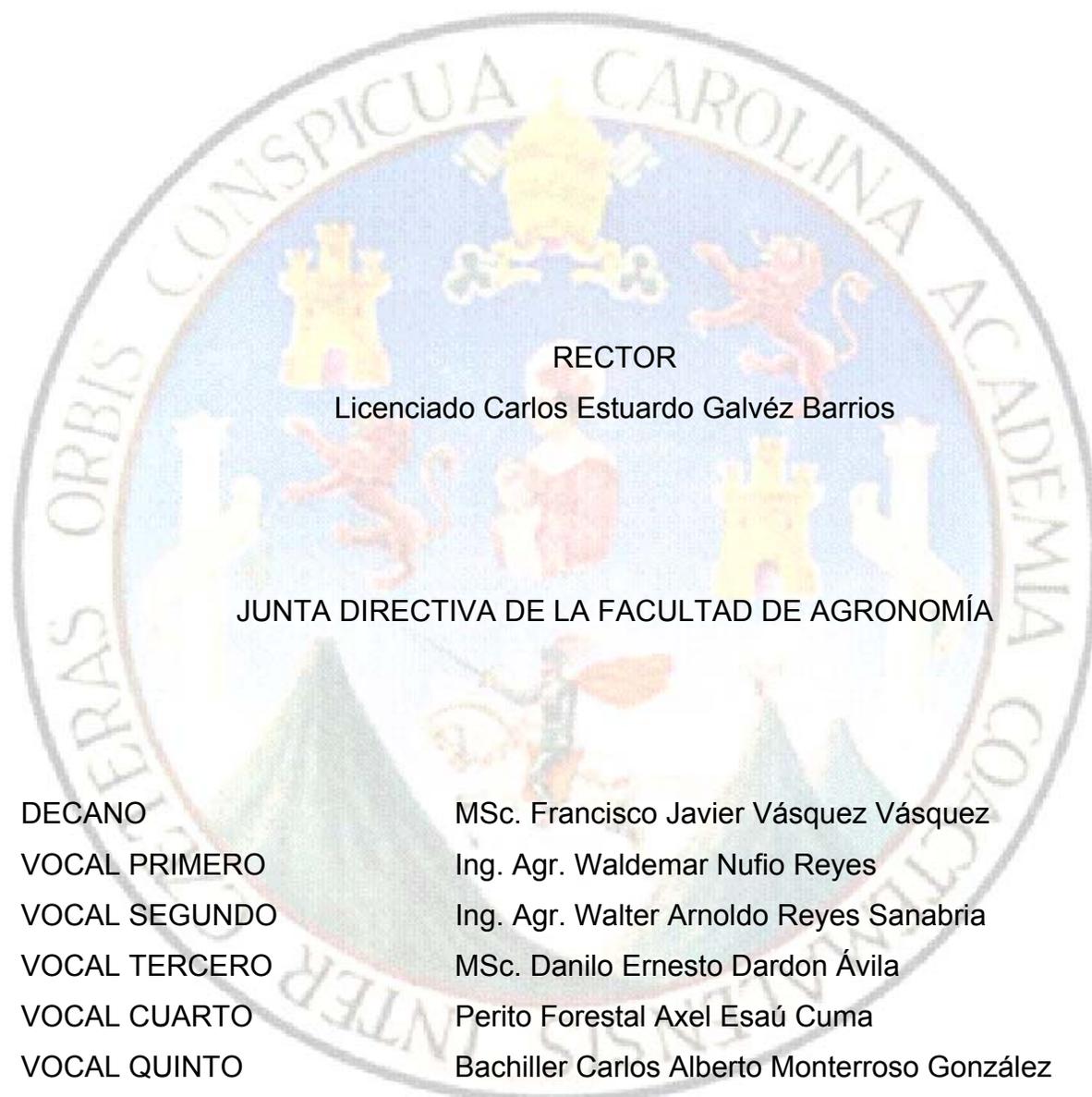
TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO “IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE RECARGA  
HÍDRICA NATURAL EN LA SUBCUENCA DEL RÍO QUISCAB, CUENCA DEL LAGO DE  
ATITLÁN”

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE  
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

POR  
VICTOR POLICARPO BARRENO ROSALES  
EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO  
INGENIERO AGRÓNOMO  
EN  
RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
EN EL GRADO ACADÉMICO DE  
LICENCIADO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA



RECTOR

Licenciado Carlos Estuardo Galvéz Barrios

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO

MSc. Francisco Javier Vásquez Vásquez

VOCAL PRIMERO

Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes

VOCAL SEGUNDO

Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria

VOCAL TERCERO

MSc. Danilo Ernesto Dardon Ávila

VOCAL CUARTO

Perito Forestal Axel Esaú Cuma

VOCAL QUINTO

Bachiller Carlos Alberto Monterroso González

SECRETARIO

MSc. Edwin Enrique Cano Morales

Guatemala, Septiembre, 2009

Guatemala, Septiembre 2009

Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De acuerdo con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de Graduación titulado "IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA NATURAL EN LA SUBCUENCA DEL RÍO QUISCAB, CUENCA DEL LAGO DE ATITLÁN", como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es gusto suscribirme,

Atentamente

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**

Victor Policarpo Barreno Rosales

## ACTO QUE DEDICO

A:

**DIOS:** Por la oportunidad que me da de vivir y de poder compartir con mi familia, amigos, compañeros de estudio, y sobre todo de un feliz hogar al lado de mis padres, hermanos y con mi esposa e hijo.

**MIS PADRES** Eduardo Tomás Barreno Muj, por la gran confianza, apoyo, paciencia y el amor que me brinda.

Rosa Rosales Cosme (Q.E.P.D.), que siempre ha estado a mi lado, por el amor, cariño, paciencia, que se que aun me tiene.

**ESPOSA E HIJO** Lilean Beathriz y Victor Eduardo, por todo el cariño, amor, paciencia, sacrificio y apoyo que durante todo el tiempo me han brindad. Los amo mucho.

**HERMANOS** Roberto, Ricardo, Ana, Estela, Romulo, Marco, Sonia y Rosa, por el poyo que me brindaron, y sobre todo por saber que siempre he podido contar con ellos.

**MIS SOBRINOS** Por su apoyo y cariño.

**MIS AMIGOS** Leo, Abrahan (Barca), Abel (Grillo), Julio (Chino), Jarris, Fredi Luna, Alan, Julio (Shaq), Carlos (Niul), Gerson (Chon), Daygoro (Tota), Carlos (Yako), Victor (Pulga), Tono, por su apoyo, la amistad que me brindan.

A mis compañeros de la Facultad, gracias por compartir su amistad.

## AGRADECIMIENTO

A:

MI SUPERVISOR      Ing. Agr. Marco Vinicio Fernández, por su asesoría y aportes que fortalecieron el presente documento.

MIS ASESORES        Ing. Agr. Tomás Padilla, Ing. Agr. Marvin Salguero, por su apoyo y colaboración en la realización del documento.

ABRAHAN MAYEN    Por la confianza, apoyo económico, y sobre todo por la amistad que me brindó durante todo este tiempo. Muchas Gracias.

MIS SUEGROS        Gracias por el apoyo que nos han brindado.

LEONARDO

CHURUNEL            Por todo el apoyo que me brindó en el trabajo de campo.

## Índice de contenido

Contenido	Página
Resumen	xxiii
Capítulo I	
DIAGNOSTICO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO QUISCAB, CUENCA DEL LAGO DE ATITLAN, DEPARTAMENTO DE SOLOLA.....	1
1.1	2
1.2	3
1.2.1	3
1.2.2	3
1.3	4
1.3.1	4
1.3.1.1	4
1.3.1.2	9
1.3.2	13
1.3.2.1	13
1.3.2.2	19
1.3.2.3	20
1.3.2.4	24
1.3.2.5	24
1.3.2.6	26
1.3.2.7	45
1.3.2.8	46
1.3.2.9	47
1.3.2.10	47
1.3.2.11	47
1.3.2.12	48
1.3.3	50
1.3.3.1	50
1.3.3.2	50
1.3.3.3	50
1.3.3.4	50
1.3.3.5	50
1.3.3.6	50
1.3.3.7	51
1.3.4	55
1.3.4.1	55
1.3.4.2	65
1.3.4.3	68
1.3.5	70
1.3.5.1	70
1.3.5.2	70
1.3.5.3	77
1.3.5.4	83
1.3.5.5	83
1.3.5.6	84
1.3.5.7	85



Contenido	Página
1.3.6	Cobertura y vegetación del suelo..... 93
1.3.6.1	Cobertura vegetal..... 93
1.3.6.2	Clasificación de las áreas boscosas..... 93
1.3.6.3	Tipos de cobertura forestal..... 95
1.3.6.4	Inventario forestal..... 96
1.3.7	Fauna..... 98
1.3.7.1	Mamíferos..... 98
1.3.7.2	Aves..... 99
1.3.7.3	Insectos..... 100
1.3.7.4	Peces..... 100
1.3.7.5	Herpetofauna..... 101
1.3.7.6	Distribución de la especies y usos..... 101
1.3.8	Problemas ambientales..... 101
1.4	Conclusiones..... 105
CAPITULO	II IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA NATURAL EN SUBCUENCA DEL RIÓ QUISCAB, CUENCA DEL LAGO ATITLAN..... 109
2.1	Presentación..... 110
2.2	Planteamiento del problema..... 112
2.3	Marco teórico..... 113
2.3.1	Marco Conceptual..... 113
2.3.1.1	Ciclo hidrológico..... 113
2.3.1.2	Recarga hídrica..... 114
2.3.1.3	Acuíferos..... 115
2.3.1.4	Manantiales..... 116
2.3.1.5	Cuenca..... 116
2.3.1.6	Balance hídrico..... 117
2.3.1.7	Proceso de la recarga hídrica..... 118
2.3.1.8	Factores que determinan la recarga hídrica..... 118
2.3.1.8.1	Clima..... 119
2.3.1.8.2	Suelo..... 122
2.3.1.8.3	Relieve..... 124
2.3.1.8.4	Estratigrafía geológica..... 124
2.3.1.8.5	Cobertura Vegetal..... 129
2.3.1.8.6	Escurrimiento..... 130
2.3.1.9	áreas críticas de recarga hídrica natural..... 131
2.4	Objetivos..... 132
2.4.1	Objetivo general..... 132
2.4.2	Objetivos específicos..... 132
2.5	Metodología..... 133
2.5.1	Fase de gabinete inicial..... 133
2.5.1.1	Recopilación de información básica..... 133
2.5.1.2	Información climática..... 133
2.5.1.3	Identificación y mapeo de áreas de recarga hídrica..... 134
2.5.2	Fase de campo..... 134



Contenido	Pagina
2.5.2.1	Generación de información climática..... 134
2.5.2.2	Estimación de la infiltración básica del suelo..... 134
2.5.2.3	Determinación de constantes de humedad y densidad aparente..... 135
2.5.2.4	Aforos..... 135
2.5.2.4.1	Determinación del área de la sección..... 135
2.5.2.4.2	Determinación de la velocidad..... 135
2.5.3	Fase de gabinete final..... 136
2.5.3.1	Balance hídrico de los suelos..... 136
2.5.3.2	Determinación de la evapotranspiración potencial..... 136
2.5.3.3	Determinación de precipitación efectiva..... 137
2.5.3.4	Calculo del balance hídrico de los suelos..... 139
2.5.3.5	Calculo de la recarga hídrica..... 140
2.5.3.6	Determinación de áreas críticas de recarga hídrica..... 140
2.5.3.7	Elaboración de mapas..... 142
2.5.3.8	Elaboración de informe final..... 142
2.6	Resultados..... 143
2.6.1	Precipitación pluvial..... 143
2.6.2	Evapotranspiracion..... 144
2.6.3	Escorrentía superficial..... 150
2.6.3.1	Aforos..... 150
2.6.4	Estimación de la infiltración básica del suelo..... 157
2.6.4.1	Determinación de constantes de humedad y densidad aparente y textura..... 159
2.7	Balance hídrico de los suelos..... 163
2.7.1	Factores que influyen en la recarga hídrica..... 163
2.7.1.1	Unidades de muestreos..... 163
2.7.1.1.1	Infiltración básica por unidad de muestreo..... 164
2.7.1.1.2	Coefficiente o porcentaje de infiltración..... 166
2.7.1.2	Precipitación media mensual..... 169
2.7.1.3	Evapotranspiracion potencial mensual..... 171
2.7.2	Balance hídrico de los suelos..... 173
2.7.2.1	Calculo de la recarga hídrica..... 173
2.7.3	Principales áreas de recarga hídrica natural..... 175
2.7.4	Determinación de áreas críticas de recarga hídrica..... 181
2.7.5	Consideraciones generales de manejo..... 187
2.7.2.1	Restauración de áreas deforestadas..... 187
2.7.2.2	Manejo forestal sostenible..... 187
2.7.2.3	Conservación del suelo..... 187
2.7.2.4	Sensibilidad social..... 188
2.7.2.5	Conservación y protección del agua superficial..... 188
2.8	Conclusiones..... 189
2.9	Recomendaciones..... 191
CAPITULO	III INFORME DE SERVICIOS PRESTADOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO QUISCAB 193
3.1	Presentación..... 194



Contenido	Pagina	
3.2	Objetivo general.....	195
3.3	Servicios prestados.....	196
3.3.1	Instalación y monitoreo climático e hidrométrico de la subcuenca del río Quiscab.....	196
3.3.1.1	Definición del problema.....	196
3.3.1.2	Objetivos específicos.....	196
3.3.1.3	Metas.....	196
3.3.1.4	Metodología.....	197
3.3.1.5	Evaluación.....	202
3.3.2	Muestreo de agua para análisis físico, químico, y bacteriológico en los principales afluentes del río Quiscab.....	218
3.3.2.1	Definición del problema.....	218
3.3.2.2	Objetivos específicos.....	218
3.3.2.3	Metas.....	219
3.3.2.4	Metodología.....	219
3.3.2.5	Evaluación.....	219
3.3.3	Muestreo de agua para determinación de sedimentos en los principales ríos, de la subcuenca del río Quiscab.....	249
3.3.3.1	Definición del problema.....	249
3.3.3.2	Objetivos específicos.....	249
3.3.3.3	Metas.....	249
3.3.3.4	Metodología.....	249
3.3.3.5	Evaluación.....	250
4	Bibliografía.....	259
	Anexos 1.....	263



## ii Índice de cuadros

Cuadro	Página
Cuadro 1 Coordenadas UTM del cuadrante dentro del cual se localiza la subcuenca del río Quiscab. ....	5
Cuadro 2 Poblados comprendidos dentro de la subcuenca del río Quiscab, con su respectiva población y categoría, dado el municipio. ....	14
Cuadro 3 Población económicamente activa total y por género .....	17
Cuadro 4 Proyecciones de la demografía del municipio de Sololá.....	18
Cuadro 5 Infraestructura educacional en las comunidades pertenecientes a la subcuenca del río Quiscab. ....	22
Cuadro 6 Pertenencia Étnica de las comunidades de la subcuenca del río Quiscab.....	24
Cuadro 7 Organizaciones gubernamentales que operan en el municipio de Sololá. ....	36
Cuadro 8 Organizaciones no gubernamentales que operan en el municipio de Sololá. ....	38
Cuadro 9 Infraestructura de salud pública y asistencia social .....	41
Cuadro 10 Aspectos de tenencia de tierra en los departamentos que comprende la subcuenca del río Quiscab. ....	46
Cuadro 11 Indicadores de salud de las comunidades pertenecientes a la subcuenca del río Quiscab.....	48
Cuadro 12 Cinco primeras causas de morbilidad general por género.....	49
Cuadro 13 Cinco primeras causas de mortalidad general por género. ....	49
Cuadro 14 Zonas de Vida de la subcuenca del río Quiscab.....	51
Cuadro 15 Clase de corrientes de la subcuenca del río Quiscab.....	55
Cuadro 16 Orden de corrientes.....	59
Cuadro 17 Elevación media de la cuenca .....	63
Cuadro 18 Análisis calidad química de agua superficial. ....	65
Cuadro 19 Análisis de calidad bacteriológica de agua subterránea.....	69
Cuadro 20 Taxonomía de suelos presentes en la subcuenca del río Quiscab.....	71
Cuadro 21 Leyenda fisiográfica de la subcuenca del río Quiscab.....	80
Cuadro 22 Características físicas de los suelos de la subcuenca del río Quiscab.....	83
Cuadro 23 Capacidad de uso de la tierra de la subcuenca del río Quiscab.....	83
Cuadro 24 Principales usos de la tierra dentro de la subcuenca del río Quiscab.....	84
Cuadro 25 Clasificación de los usos de la tierra dentro de la subcuenca del río Quiscab.....	85
Cuadro 26 Mamíferos presentes en la subcuenca del río Quiscab.....	98
Cuadro 27 Aves presentes en la subcuenca del río Quiscab.....	99
Cuadro 28 Insectos que se encuentran en la subcuenca río Quiscab. ....	100
Cuadro 29 Especies de peces que se pueden encontrar en el lago de Atitlán .....	100
Cuadro 30 Valores medios mensuales de radiación solar extraterrestre (mm/día).....	137
Cuadro 31 Duración máxima, media y diaria de horas de brillo solar para diferentes meses y latitudes.....	137
Cuadro 32 Valores de Infiltración básica por efecto de la pendiente (Kp).....	139
Cuadro 33 Valores de Infiltración básica por efecto de la cobertura vegetal (Kv) .....	139
Cuadro 34 Matriz de criterios de geología para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural .....	140
Cuadro 35 Matriz de criterios de infiltración básica para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural .....	141



Cuadro	Página
Cuadro 36 Matriz de criterios de recarga anual para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural .....	141
Cuadro 37 Matriz de criterios de pendiente para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural .....	141
Cuadro 38 Criterios de susceptibilidad de áreas a ser consideradas áreas críticas de recarga hídrica natural .....	142
Cuadro 39 Ubicación geográfica y equipo de las estaciones meteorológicas situadas en la subcuenca del río Quiscab.....	145
Cuadro 40 Precipitación media mensual (mm) de las estaciones situadas en la subcuenca del río Quiscab .....	145
Cuadro 41 Temperaturas máxima, mínima y media promedio mensual en las estaciones situadas en la subcuenca del río Quiscab (°C) .....	146
Cuadro 42 Evapotranspiración potencial (mm) en la estación meteorológica Panajachel, Sololá.....	146
Cuadro 43 Evapotranspiración potencial (mm) en la estación meteorológica EFA, Sololá. ....	147
Cuadro 44 Evapotranspiración potencial (mm) en la estación meteorológica El Novillero, Santa Lucia Utatlán, Sololá. ....	147
Cuadro 45 Evapotranspiración potencial (mm) en la estación meteorológica El Tablón, Sololá. ....	148
Cuadro 46 Caudal promedio mensual de la subcuenca del río Quiscab (m <sup>3</sup> /seg).....	152
Cuadro 47 Caudal de los puntos de aforo de la subcuenca del río Quiscab (m <sup>3</sup> /seg)....	152
Cuadro 48 Velocidad de infiltración básica de los suelos de la subcuenca del río Quiscab .....	158
Cuadro 49 Propiedades físicas de los suelos, por unidad de muestreo de la subcuenca del río Quiscab.....	160
Cuadro 50 Unidades de Muestreo de la subcuenca del río Quiscab.....	163
Cuadro 51 Infiltración básica de los suelos de la subcuenca del río Quiscab. ....	165
Cuadro 52 Coeficiente de infiltración por unidad de mapeo de la subcuenca del río Quiscab. ....	166
Cuadro 53 Precipitación media mensual y anual en mm, para cada unidad de muestreo .....	170
Cuadro 54 Evapotranspiración potencial media mensual y anual en mm, por unidad de muestreo .....	172
Cuadro 55 Recarga hídrica natural anual (2008) de las unidades de mapeo de la subcuenca del río Quiscab (m <sup>3</sup> /año).....	174
Cuadro 56 Balance hídrico de los suelos de la subcuenca del río Quiscab, para el año 2008 .....	174
Cuadro 57 Clasificación de recarga potencial, por unidad de muestreo .....	176
Cuadro 58 Principales áreas de recarga potencial de la subcuenca del río Quiscab.....	177
Cuadro 59 Variables a comparar para la recarga potencial .....	177
Cuadro 60 Clasificación de susceptibilidad por unidad de muestreo .....	182
Cuadro 61 Principales áreas de susceptibilidad de la subcuenca del río Quiscab.....	183
Cuadro 62 Tipo de estaciones meteorológicas actuales en la subcuenca del río Quiscab y río Panajachel.....	197
Cuadro 63 Espaciamiento de sondeos según el ancho del cauce .....	200



Cuadro	Página
Cuadro 64 Espaciamientos recomendados de acuerdo al ancho del río.....	201
Cuadro 65 Precitación media mensual (mm) de las estaciones monitoreadas .....	203
Cuadro 66 Temperaturas mínima, máxima y media mensual (°C) de las estaciones monitoreadas .....	203
Cuadro 67 Evapotranspiración media mensual (mm) de las estaciones monitoreadas. ...	203
Cuadro 68 Aforos realizados en los principales cauces de la subcuenca del río Quiscab (m <sup>3</sup> /seg) (2007-2008) .....	211
Cuadro 69 Caudal promedio mensual de los aforos realizados en los cauces de la subcuenca del río Quiscab (m <sup>3</sup> /seg).....	212
Cuadro 70 Puntos de muestreo de agua para el análisis físico, químico y bacteriológico, de la subcuenca del río Quiscab. ....	219
Cuadro 71 Análisis físico y bacteriológico de las muestra de agua para la época lluviosa, de la subcuenca río Quiscab .....	220
Cuadro 72 Análisis físico y bacteriológico de las muestra de agua para la época seca, de la subcuenca río Quiscab.....	220
Cuadro 73 Análisis Químico (Cationes) de muestra de agua para la época seca (mg/L) .....	227
Cuadro 74 Análisis Químico (Aniones) y sólidos presentes en las muestra de agua para la época seca (mg/L).....	227
Cuadro 75 Análisis Químico (Cationes) de muestra de agua para la época lluviosa (mg/L).....	228
Cuadro 76 Análisis Químico (Aniones) y sólidos presentes en las muestra de agua para la época lluviosa (mg/L) .....	228
Cuadro 77 Porcentaje (%) de cationes presentes en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab. (Epoca seca).....	240
Cuadro 78 Porcentaje (%) de Aniones presentes en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab. (Epoca seca).....	240
Cuadro 79 Porcentaje (%) de cationes presentes en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab. (Epoca lluviosa) .....	241
Cuadro 80 Porcentaje (%) de Aniones presentes en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab. (Epoca lluviosa) .....	241
Cuadro 81 Sumatoria de los aniones y cationes y de mayor presencia en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab.....	243
Cuadro 82 Total de Aniones, cationes y clasificaron de las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab. ....	243
Cuadro 83 Características físico-químicas de las aguas del lago de Atitlán. ....	245
Cuadro 84 Cationes mayores presentes en las aguas del lago de Atitlán. ....	245
Cuadro 85 Aniones mayores presentes en las aguas del lago de Atitlán.....	245
Cuadro 86 Sedimento arrastrado por los principales cauces de la subcuenca del río Quiscab (Ton/m <sup>3</sup> /año) .....	251
Cuadro 87 Sedimento arrastrado por los principales cauces de la subcuenca del río Quiscab (Ton/año).....	252
Cuadro 88 Sedimento arrastrado por los principales cauces de la subcuenca del río Quiscab (Ton/año).....	253
Cuadro 89 Resumen de los resultaados obtenidos en el monitoreo del río Quiscab .....	254



## iii Índice de figuras

Figura	Página
Figura 1 Mapa de ubicación geográfica de la subcuenca del río Quiscab .....	7
Figura 2 Mapa político administrativo de la subcuenca del río Quiscab.....	11
Figura 3 Población total segmentada en los municipios pertenecientes a la subcuenca del río Quiscab.....	15
Figura 4 Población rural y urbana perteneciente a la subcuenca del río Quiscab.....	15
Figura 5 Cantidades porcentuales de la población total por género de los municipios pertenecientes a la subcuenca del río Quiscab.....	16
Figura 6 Cantidades porcentuales totales de la población en rango de edades de las comunidades pertenecientes a la subcuenca del río Quiscab .....	18
Figura 7 Salario promedio mensual de las comunidades pertenecientes a la subcuenca del río Quiscab.....	19
Figura 8 Alfabetas y Analfabetas por género de las comunidades pertenecientes a la subcuenca del río Quiscab .....	20
Figura 9 Nivel de escolaridad total de las comunidades pertenecientes a la subcuenca del río Quiscab.....	20
Figura 10 Inmigraciones en los Municipios de San José Chacayá, Santa Lucía Utatlán, Nahualá, Sololá y Totonicapán. ....	25
Figura 11 Emigraciones en los Municipios de San José Chacayá, Santa Lucía Utatlán, Nahualá, Sololá y Totonicapán. ....	25
Figura 12 Climadiagrama de la estación El Tablón, Sololá durante el período de 1994 a 2005 .....	51
Figura 13 Mapa de zonas de Vida en la subcuenca del río Quiscab.....	53
Figura 14 Red hidrográfica de la subcuenca del río Quiscab .....	57
Figura 15 Gráfica Log Nu vrs. Número de corrientes.....	59
Figura 16 Determinación visual de las fuentes de contaminación.....	67
Figura 17 Mapa geológico de la subcuenca del río Quiscab.....	74
Figura 18 Mapa de taxonomía de suelos presentes en la subcuenca del río.....	75
Figura 19 Mapa de fisiografía de la subcuenca río Quiscab .....	81
Figura 20 Mapa de capacidad de uso de la tierra de la subcuenca del río Quiscab .....	87
Figura 21 Mapa de uso actual de la tierra (2007) en la subcuenca del río Quiscab.....	89
Figura 22 Mapa de intensidad de uso de la tierra de la subcuenca del río Quiscab .....	91
Figura 23 Comportamiento climático de las estaciones ubicadas dentro de la subcuenca del río Quiscab. ....	149
Figura 24 Caudal promedio mensual del punto de aforo del río Quiscab.....	151
Figura 25 Grafica de caudales mensuales de los cauces principales de la subcuenca del río Quiscab. ....	153
Figura 26 Grafica de caudales por épocas (Lluviosa y Seca), de los principales ríos de la subcuenca del río Quiscab. ....	153
Figura 27 Mapa de estaciones y puntos de aforo de la subcuenca del río Quiscab.....	155
Figura 28 Mapa de puntos de infiltración y muestreo de suelos de la subcuenca del río Quiscab .....	161
Figura 29 Mapa de unidades de mapeo de la subcuenca del río Quiscab.....	167
Figura 30 Mapa de recarga hídrica potencial de la subcuenca del río Quiscab .....	179
Figura 31 Mapa de áreas críticas de la subcuenca del río Quiscab .....	185



Figura	Página
Figura 32 Climadiagrama de la estación EFA para el año 2008. ....	204
Figura 33 Climadiagrama de la estación El Novillero para el año 2008. ....	205
Figura 34 Climadiagrama de la estación Panajachel para el año 2008.....	205
Figura 35 Climadiagrama de la estación El Tablón para el año 2008. ....	206
Figura 36 Temperatura máxima, mínima y media (°C) de la estación EFA.....	207
Figura 37 Temperatura máxima, mínima y media (°C) de la estación El Novillero.....	207
Figura 38 Temperatura máxima, mínima y media (°C) de la estación Panajachel.....	208
Figura 39 Temperatura máxima, mínima y media (°C) de la estación El Tablón. ....	208
Figura 40 Mapa de Estaciones y Puntos de Aforo .....	209
Figura 41 Caudal promedio mensual del río Hierbabuena .....	213
Figura 42 Caudal promedio mensual del río Xibalbay .....	213
Figura 43 Caudal promedio del río Chuiscalera .....	213
Figura 44 Caudal promedio mensual del río San José Chuiscalera .....	214
Figura 45 Caudal promedio mensual del río Novillero Xiquel.....	214
Figura 46 Caudal promedio mensual del río Novillero puente.....	214
Figura 47 Caudal promedio mensual del río Novillero Pueblo.....	215
Figura 48 Caudal promedio mensual del río Argueta .....	215
Figura 49 Caudal promedio mensual del río María Tecun .....	215
Figura 50 Caudal promedio mensual del río Xaquijya.....	216
Figura 51 Caudal promedio mensual del río La Cuchilla .....	216
Figura 52 Caudal promedio mensual del río Quiscab .....	216
Figura 53 Relación entre precipitación (mm) y caudal (m <sup>3</sup> /seg) durante el año 2008. ....	217
Figura 54 Características físicas de color para época seca, de los principales ríos de la subcuenca del río Quiscab. ....	221
Figura 55 Características físicas de color para época lluviosa, de los principales ríos de la subcuenca del río Quiscab. ....	222
Figura 56 Características de turbiedad para época seca, de los principales ríos de la subcuenca del río Quiscab. ....	222
Figura 57 Características de turbiedad para época lluviosa, de los principales ríos de la subcuenca del río Quiscab. ....	223
Figura 58 Sólidos totales presentes, en las muestras de agua, de la subcuenca del río Quiscab .....	223
Figura 59 pH de las muestras de agua para época seca y época lluviosa, de los principales ríos de la subcuenca del río Quiscab. ....	224
Figura 60 Temperatura del agua, época seca y época lluviosa, de los principales ríos de la subcuenca del río Quiscab. ....	225
Figura 61 Conductividad eléctrica de las muestras de agua, para época seca y lluviosa de la subcuenca del río Quiscab .....	226
Figura 62 Presencia de Cloruro en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab .....	229
Figura 63 Dureza total de las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab.....	230
Figura 64 Presencia de sulfato en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab.....	231
Figura 65 Presencia de calcio en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab.....	232



Figura	Página
Figura 66 Presencia de Magnesio en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab.....	233
Figura 67 Presencia de Hierro en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab.....	234
Figura 68 Presencia de Manganeso en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab.....	235
Figura 69 Presencia de Nitrato en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab.....	236
Figura 70 Presencia de Nitrito en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab.....	237
Figura 71 Presencia de fluoruro en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab.....	237
Figura 72 Mapa de puntos de muestreo de agua para análisis físico-químico.....	247
Figura 73 Mapa de puntos de muestreo de agua para determinación de sedimentos.....	257
Figura 74A Mapa de pendientes de la subcuenca del río Quiscab.....	265
Figura 75A Mapa de Isoyetas de la subcuenca del río Quiscab.....	267
Figura 76A Mapa de Isotermas de la subcuenca del río Quiscab.....	269
Figura 77A Mapa de Isopleas de la subcuenca del río Quiscab.....	271



## Resumen

La subcuenca del río Quiscab, es una unidad hidrográfica especial, ya que pertenece a la cuenca del lago de Atitlán, de la cual, es el mayor afluente; además de ser un área protegida por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). La subcuenca del río Quiscab posee un área de 159.60 km<sup>2</sup>, el área de estudio abarca 4 municipios (Sololá, San José Chacayá, Santa Lucía Utatlán, Nahualá) y 47 poblados del departamento de Sololá y 1 municipio (Totonicapán) y 4 poblados de Totonicapán.

La población total de la subcuenca del río Quiscab es de 82,699 habitantes. Del cual el 62.68% (51,833 habitantes) pertenece al municipio de Sololá, en Santa Lucía Utatlán, el 17.31% (14,312 habitantes), San José Chacayá un 4.81% (3,979 habitantes), Nahualá 6.47% (5,350 habitantes) y Totonicapán un 8.74% (7,225 habitantes).

El área es típica de una distribución minifundista del altiplano guatemalteco, también es característico en el área de la Reserva de Usos Múltiples de la Cuenca del Lago de Atitlán (RUMCLA), predominando en la parte norte de la subcuenca y concentrándose en forma abundante en el municipio de Sololá.

Según el censo agropecuario del 2003, se manifiestan las cinco categorías de uso en los municipios que delimitan la subcuenca. Estas categorías son: Cultivos anuales o temporales, cultivos permanentes y semipermanentes, pastos, bosques y otras tierras, refiriéndose esta última a tierras ocupadas por instalación de fincas, montes, caminos, lechos de ríos y/o lagos, etc.

Según el sistema de clasificación climática de Thornthwaite, la subcuenca, se enmarca en un solo tipo de clima, el Templado. Con una temperatura mínima de 8.5 °C, media de 14.6 °C y una máxima de 20.4 °C. La precipitación pluvial anual varía entre 975 ml a 1836.8 ml,

En la subcuenca del río Quiscab, se ubican tres zonas de vida la zona de vida el Bosque Muy Húmedo Montano Subtropical (bmh-M) (35.90 km<sup>2</sup>), Bosque Muy Húmedo Montano

bajo Subtropical (bmh-MB) (108.60 km<sup>2</sup>) y el Bosque húmedo Montano Bajo Subtropical (bh-MB) (15.10 km<sup>2</sup>).

La subcuenca cuenta solamente con los afluentes: Quiscab, Chuiscalera, Novillero, Pagualtuj, Argueta, María Tecun, Xaquijya, Xibalbay, Xibalbay la Cuchilla, Chuiscalera San José Chacayá, y las Flores; siendo pocos en comparación al área de la subcuenca que es 159.60 km<sup>2</sup>, lo que indica una baja red drenajes.

La localizan tres zonas Geológicas dentro de la subcuenca roca tipo ígnea y metamórfica del periodo cuaternario (Qp), rocas ígneas y metamórficas del periodo terciario (Tv), y rocas sedimentarias (Qa). En cuanto a la taxonomía de suelos encontramos el suborden Udands que ocupa un área 107.43 km<sup>2</sup>, Ustands ocupa 45.00 km<sup>2</sup> y Orthents 7.17 km<sup>2</sup>.

Dentro de la subcuenca se encuentra una gran diversidad de cultivos, como cebolla, maíz, frijol, papa, así como una parte de los bosques comunales de Totonicapán, localizados en la parte alta de la subcuenca, por lo que en esta área se da la mayor captación de agua.

Actualmente los cultivos limpios ocupa un área de 50.14 km<sup>2</sup> (31.42%), café 1.48 km<sup>2</sup> (0.93%), áreas degradadas 2.30 km<sup>2</sup> (1.44%), playa aluvial 1.00 km<sup>2</sup> (0.63%), poblados 44.00 km<sup>2</sup> (27.57%) y el área boscosa 60.68 km<sup>2</sup> (38.02%), a pesar de que la subcuenca es de vocación forestal. La degradación de los suelos y la cobertura vegetal han alterado las condiciones que favorecen la recarga hídrica, por lo cual se reduce la disponibilidad de agua y su capacidad de renovación como recurso natural.

El presente estudio de “Identificación de áreas de recarga hídrica natural”, caracteriza los componentes del balance hídrico de suelos en unidades homogéneas en cuanto a suelos, uso de la tierra y geología, a los cuales se les estimó los volúmenes de agua que se recargan por efecto de la precipitación pluvial, realizado a través de un balance hídrico de suelos, determinando las áreas de mayor recarga y las áreas críticas de recarga. Esta última sobre la base de ser considerada susceptible a disminuir su potencial de recarga

cuando son sometidos a un manejo contrario a su capacidad, y que deben de ser objeto de un manejo especial que permita mantener y/o mejorar sus características.

De acuerdo al balance hídrico de suelos realizado, se logró determinar que la evapotranspiración real constituye un 57.84% de la precipitación pluvial (131,057,513 m<sup>3</sup>/año), la escorrentía superficial constituye a 1.98% (4,497,479 m<sup>3</sup>/año), el restante 14.24% (32,275,985 m<sup>3</sup>/año) es retenida por la cobertura vegetal y posteriormente es devuelto a la atmósfera en forma de vapor.

Del total de la precipitación pluvial (100%), la recarga hídrica de la subcuenca del río Quiscab, equivale al 25.93% (58,771,277 m<sup>3</sup>/año), de la cual el 57.40% se presenta como una recarga muy alta, localizándose en la parte alta y media de la subcuenca (2400 msnm), donde se localiza la mayor parte de bosques, principalmente los bosques comunales de Tonicapán. Una recarga alta (34.56%), recarga moderada (4.49%), recarga baja (1.48%), recarga muy baja (0.96%) y una recarga nula (1.12%). De acuerdo al análisis de datos, en la subcuenca del río Quiscab, existe una susceptibilidad alta (área crítica), la cual se ubica principalmente en la parte alta de la subcuenca, ya que ahí se registran los valores de mayor recarga y pendiente, ocupando un área de 73.31 km<sup>2</sup> (45.93%), con una susceptibilidad moderada 83.23 km<sup>2</sup> (52.15%), se localiza en la parte media y una susceptibilidad baja 3.07 km<sup>2</sup> (1.92%).

Se identificó un área de manejo de 8,245 has, (51.67%) la cual se localiza en la parte alta, ya que en esta área se produce el 57.4% del total de la recarga potencial y se ha clasificado como área crítica de alta susceptibilidad. La mayor área deforestada se localiza en la parte media de la subcuenca la cual equivale a 5,515 ha, (34.56%), en la cual su potencial de recarga es alta. Se deben de establecer prácticas de conservación de suelos en las áreas deforestadas, para contrarrestar la escorrentía superficial y favorecer la infiltración del agua en el suelo, que contribuye a una mayor precipitación efectiva y por ende una mayor recarga potencial.

Se recolectaron y tabularon los datos diarios de la estación ubicada en el poblado de Panajachel, Escuela de Formación Agrícola (EFA), El Novillero y El Tablón tanto de precipitación como de temperaturas (máximas y mínimas). Desde agosto del 2007, hasta Julio 2008. Se instaló la estación Meteorológica Tipo "C" en la aldea El Novillero, Santa Lucia Utatlán, Sololá

La mayor precipitación en el área se presenta en el mes septiembre, y el mes de menor precipitación fue el de diciembre. La menor precipitación media anual se presentó en la estación de Panajachel con 1153.78 mm/año. Y la temperatura máxima se dio en la estación del Novillero con un valor de 30.9°C y la mínima de 2.6°C para el mes de febrero. En cuanto a la evapotranspiración la estación que presenta la mayor Etp, es la ubicada en Panajachel con 1485.31 mm/año.

Se tiene datos de caudal de los principales cauces de la subcuenca del río Quiscab, desde Septiembre del 2007 hasta Agosto 2008. En total se realizaron 33 Aforos. En todos los cauces hay un incremento de su caudal a partir del mes de mayo y tiende a descender hasta el mes de noviembre, siguiendo el patrón de lluvias de la región que empieza en mayo y finaliza en octubre. Se determinaron los mayores en el punto de aforo ubicado en la desembocadura del río Quiscab, hacia el lago de Atitlán donde el mayor caudal se dio en el mes de agosto (2008) con 4.768 m<sup>3</sup>/seg. Y un caudal mínimo de 1.281 m<sup>3</sup>/seg el cual se presentó en el mes de marzo (2008).

**CAPITULO I**  
**DIAGNOSTICO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO QUISCAB, CUENCA DEL LAGO DE**  
**ATILÁN, DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ.**

## 1.1 Presentación

La necesidad de planificación en el manejo de unidades de tierra, ha enmarcado como unidad básica de intervención la cuenca y sus respectivas sub-clasificaciones. Esta forma de manejo, permite fijar las acciones a implementar de manera integral, tomando en cuenta la interacción de los distintos recursos dentro del área, logrando de esta forma la sostenibilidad.

La formulación de planes de manejo integrado dentro de las cuencas, permite conocer los recursos existentes dentro del área así como el estado de los mismos y problemas de índole socioeconómico y ambiental; esto para una posterior formulación de directrices de manejo en la cuenca, que permitan hacer un uso eficiente de los recursos así como la consecución del desarrollo ambiental y socioeconómico dentro de la cuenca.

El realizar un diagnóstico del área permitió conocer los recursos existentes dentro del área, así como el estado de los mismos y problemas de índole socioeconómico y ambiental, el mismo se constituyó en una herramienta importante dentro del conocimiento de la subcuenca bajo estudio, esto, porque nos permitió formular estrategias encaminadas a lograr un uso eficiente de los recursos, además de la mejora de las condiciones ambientales y socioeconómicas en la subcuenca, esto enmarcado dentro del concepto de sostenibilidad.

El presente trabajo realizado dentro de la subcuenca del río Quiscab, se constituye como la caracterización de los recursos sociales, naturales y económicos del área el cual servirá de base para elaborar propuestas de investigación tales como la determinación de Recarga Hídrica Natural dentro de la subcuenca que permitirá un uso eficiente de los recursos y la disminución del riesgo de desastres naturales, siendo los desastres naturales un denominador común dentro de las cuencas del occidente y altiplano guatemalteco.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

- Realizar un diagnóstico, para obtener información de los aspectos socioeconómicos y biofísicos de la subcuenca del río Quiscab, que permita utilizarlo en la realización de un plan de manejo e investigación.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- a) Determinar las características socioeconómicas relevantes de la subcuenca.
- b) Determinar las características biofísicas sobresalientes de la subcuenca.
- c) Identificar los problemas ambientales y socioeconómicos de la subcuenca.

### **1.3 Resultados**

#### **1.3.1 Ubicación de la subcuenca**

##### **1.3.1.1 Ubicación geográfica**

La subcuenca del río Quiscab posee un área de 159.60 km<sup>2</sup>, y la conforman dos microcuencas, que son: las del río Quiscab-Chuiscalera y la del río Xibalbay, con áreas de 73.60 y 86 km<sup>2</sup> respectivamente. A su vez, la subcuenca pertenece a la cuenca del lago Atitlán, la cual se localiza en la vertiente del pacífico.

La subcuenca del río Quiscab es un área protegida por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), a continuación se presentan las características del área:

- Área protegida: Subcuenca del río Quiscab
- Código: RUM
- Categoría de manejo: Reserva de uso múltiple
- Tipo de categoría de manejo: Tipo III
- Ubicación Sololá y Totonicapán,
- Administrador: CONAP
- Legal: Declaratoria: Acuerdo Gubernativo 05-55, Decreto de Ley.4-89.
- Año de declaratoria: 1955

#### **A. Área protegida**

Es un área grande, con una cobertura alta de bosque. En la cual se localizan zonas apropiadas para la producción sostenible de productos forestales, agua, forraje, flora y fauna silvestre, sin afectar negativa y permanentemente los diversos ecosistemas dentro del área. Son áreas que han sufrido alteración por intervención del hombre pero aun conservan una buena porción del paisaje natural.

#### **B. Objetivo de manejo**

Proveer una producción sostenida de agua, madera, flora, fauna silvestre, pasto, y pesca. La conservación de la naturaleza esta orientada primariamente al soporte de actividades económicas (aunque podrían designarse zonas específicas de centro de las áreas para lograr objetivos de conservación más estricta) o bien en la conservación podría ser un

objetivo primario en sí mismo, dando siempre importancia a los objetivos económicos y sociales. Se dio importancia a la educación ambiental y forestal, así como a la recreación orientada a la naturaleza.

### C. Criterios de selección y manejo

La principal premisa para esta área es que será manejada para mantener a perpetuidad la productividad general del área y su recurso, contribuyendo más físicamente al desarrollo, sobre la base de un rendimiento continuo. Un requisito son los programas de planificación que asegura que el área sea manejada con base a un aprovechamiento sostenido. Mientras no se tenga una adecuada planificación que garantice la sostenibilidad del uso de los recursos, no deberá ocurrir ningún tipo de aprovechamiento, salvo el aprovechamiento tradicional efectuado por la población autóctona, en forma limitada para llenar necesidades locales. A través de una zonificación apropiada que puede dar protección específica a áreas significativas. Los manantiales son sitios necesarios para suministro de agua, ocupando una posición importante, como áreas de estudio, que no guardan proporción con su tamaño y número, incluyendo siempre una cabecera de la subcuenca (CONAP 2008).

Cuadro 1 Coordenadas UTM del cuadrante dentro del cual se localiza la subcuenca del río Quiscab.

<b>Ubicación</b>	<b>Latitud Norte</b>	<b>Longitud Oeste</b>
Parte superior izquierdo	682639.86	1647291.70
Parte inferior izquierdo	682639.86	1629570.87
Parte superior derecha	700296.59	1647387.66
Parte inferior derecha	700296.59	1629586.99
Punto de aforo	695938.79	1630358.53

Fuente: Hojas topográficas de Chichicastenango (1960 I), Sololá (1960 II), Tonicapán (1960 IV) y Santa Catarina Ixtahuacán (1960 III)



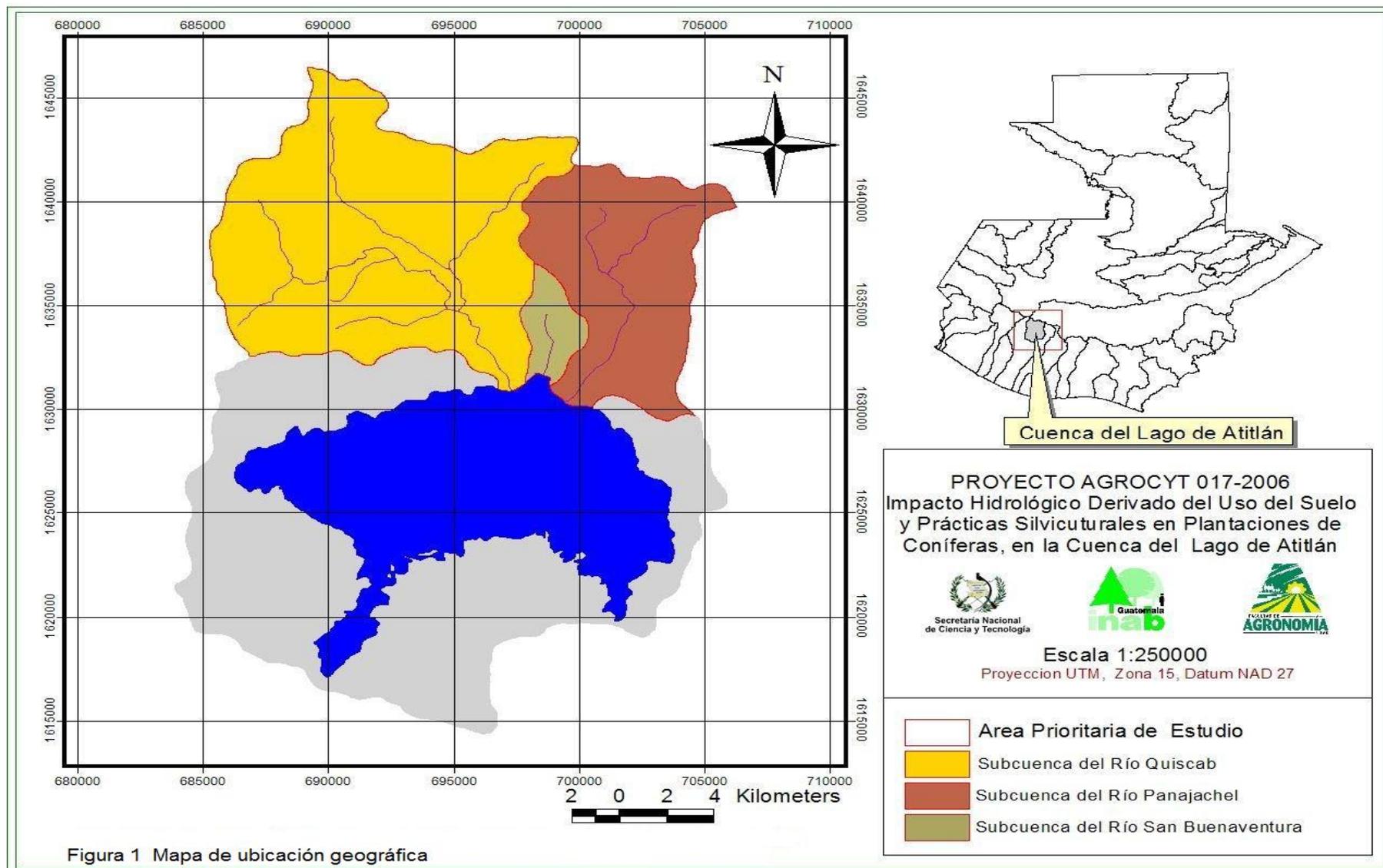


Figura 1 Mapa de ubicación geográfica



### **1.3.1.2 Ubicación político-administrativa**

La subcuenca del río Quiscab se encuentra en la región número VI Sur-Occidental. El área de estudio abarca 4 municipios (Sololá, San José Chacayá, Santa Lucía Utatlán, Nahualá) y 47 poblados del departamento de Sololá y 1 municipio (Totonicapán) y 4 poblados de Totonicapán (Cuadro 2) Datos de SIG e INE. Ver figura 1. Sobre el mapa base de la subcuenca.



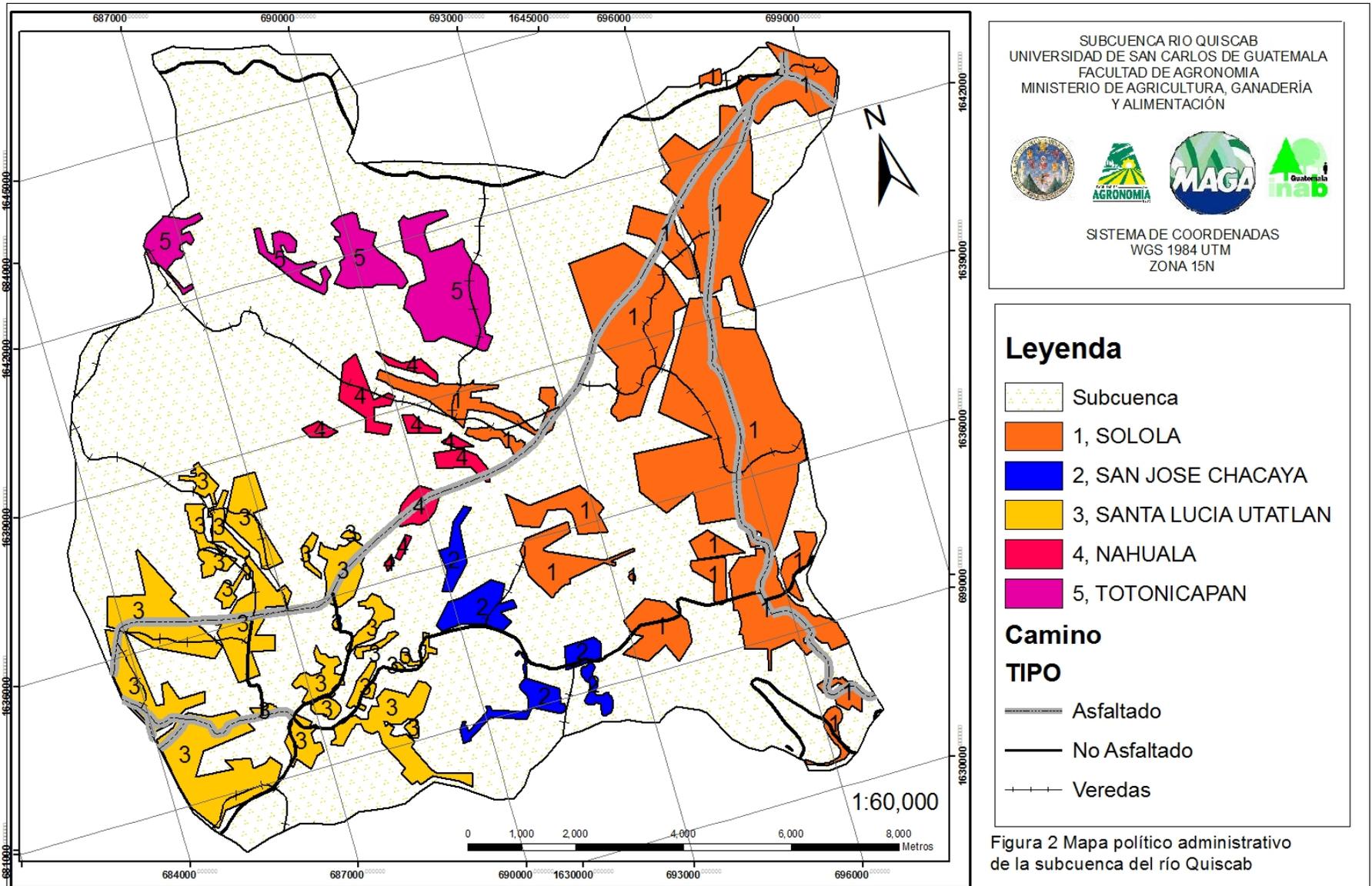


Figura 2 Mapa político administrativo de la subcuenca del río Quiscab



## **1.3.2 Aspectos socioeconómicos**

### **1.3.2.1 Demografía (características generales de la población)**

#### **A. Población total**

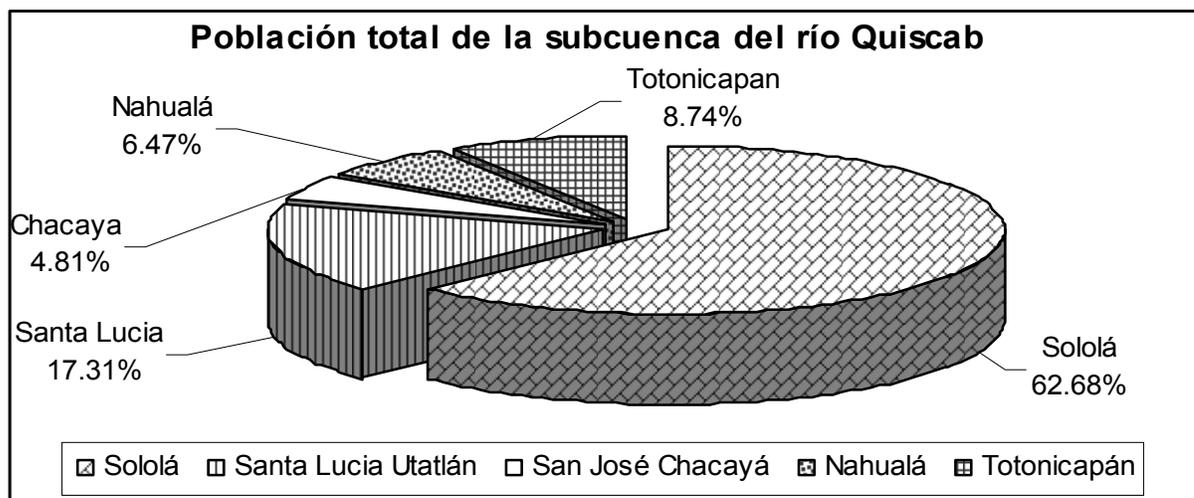
Los que residen dentro de la subcuenca del río Quiscab son un total de 82,699 habitantes de los cuales el 69 % (57,062 habitantes), en la microcuenca del río Xibalbay y el 31% (25,637 habitantes) en la microcuenca del río Quiscab-Chuiscalera. Las comunidades más pobladas son, la cabecera municipal de Sololá con 13,097 personas, El Tablón con 13,004 habitantes y la aldea Xajaxac con 8,106 personas, que pertenecen al municipio de Sololá.

Cuadro 2 Poblados comprendidos dentro de la subcuenca del río Quiscab, con su respectiva población y categoría, dado el municipio.

Departamento	Municipio	Poblado		Categoría	Población	
SOLOLA	Sololá	1	Chuaxic	Aldea	1,402	
		2	Chuiquel	Aldea	1,381	
		3	El Jaibal	Finca	1,038	
		4	La Ilusión Chuiquel	Caserío	1,057	
		5	Sololá	Pueblo	13,097	
		6	Argueta	Aldea	1,794	
		7	El Tablón	Aldea	13,004	
		8	Los Encuentros	Aldea	4,283	
		9	María Tecún	Colonia	1,194	
		10	San Jorge La Laguna	Aldea	2,023	
		11	Xaquijyá	Aldea	320	
		12	Xajaxac	Aldea	8,106	
		13	Coxom	Caserío	700	
		14	Cooperativa Xaquijyá	Caserío	1,139	
		15	Panca	Caserío	1,295	
		Santa Lucía Utatlán	1	Santa Lucía Utatlán	Pueblo	1,338
			2	Chuchexic o los Planes de Chuchexic	Aldea	1,047
			3	Chool	Caserío	769
			4	Chobé	Caserío	153
			5	Novillero	Aldea	899
			6	Pahaj	Aldea	1,692
			7	Pachacon	Caserío	184
			8	Payajut	Caserío	377
			9	Tzantinamit	Caserío	337
			10	Xetzampual	Caserío	422
			11	Chijcaja	Caserío	282
			12	San Cristóbal Buena Vista	Caserío	671
			13	Chilojomche	Caserío	52
			14	Panicajquim	Caserío	437
			15	Chuitzam	Caserío	2,010
			16	Chiaj	Caserío	780
			17	Chuilajkacquix	Caserío	1,477
			18	Pachaj	Caserío	235
			19	Cienaga Grande	Paraje	540
		20	Molino San Pedro	Paraje	610	
		San José Chacayá	1	San José Chacayá	Pueblo	1,642
			2	Las Minas	Caserío	399
			3	Los Tablones	Cantón	1,267
			4	Parronero	Caserío	382
			5	Chomanzana	Caserío	290
		Nahualá	1	Xeabaj	Caserío	1,068
	2		Paminajá	Caserío	527	
	3		Chirijcaja	Aldea	1,354	
	4		Pacoxom	Caserío	1,014	
	5		San Lázaro	Caserío	119	
	6		Tzamcoton ó Santa Rita	Cantón	236	
	7		Santa Rita Xeabaj	Caserío	1,032	
TOTONICAPÁN	Totonicapán	1	Barreneché	Aldea	2,879	
		2	La Esperanza	Caserío	2,148	
		3	La Concordia	Aldea	1,208	
		4	Pamesebal	Caserío	989	
Población total dentro de la subcuenca del río Quiscab					82,699	

Fuente: XI Censo de Población y VI de habitación, INE, 2002. Proyección 2008

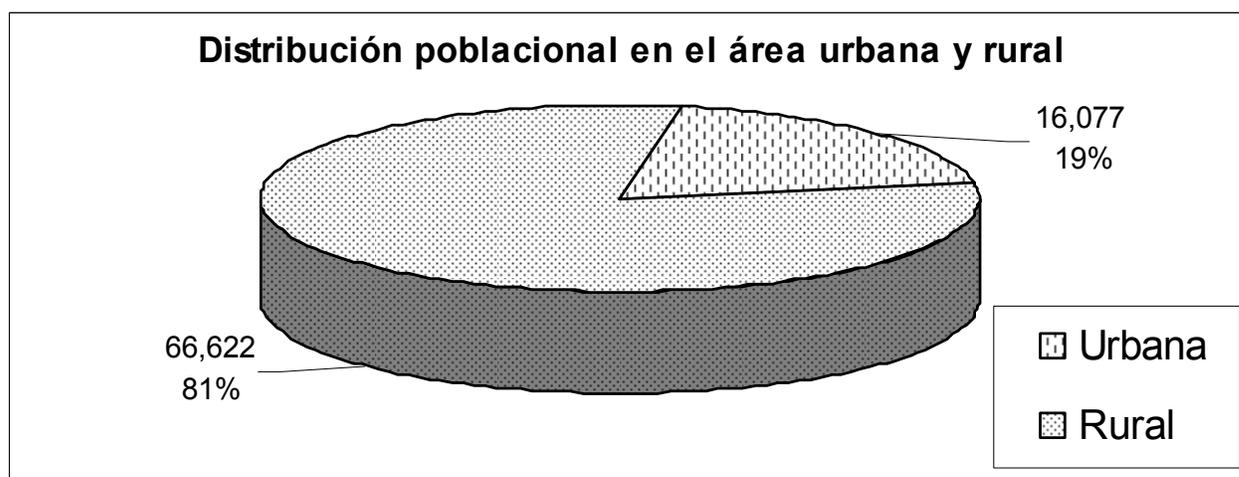
De la población total el 62.68% (51,833 habitantes) pertenece al municipio de Sololá, en Santa Lucía Utatlán, el 17.31% (14,312 habitantes), San José Chacayá un 4.81% (3,979 habitantes), Nahualá 6.47% (5,350 habitantes) y Tonicapán un 8.74% (7,225 habitantes). Esto se puede apreciar mejor en la siguiente figura.



Fuente: Características de la Población y de los Locales de Habitación. Censo Nacional 2002 INE.

Figura 3 Población total segmentada en los municipios pertenecientes a la subcuenca del río Quiscab

Como se podrá apreciar en la figura 3, del total de la población el 19% (16,077 habitantes) se encuentra en el área urbana y 66,622 habitantes (81 %) está localizado en el área rural de la subcuenca.

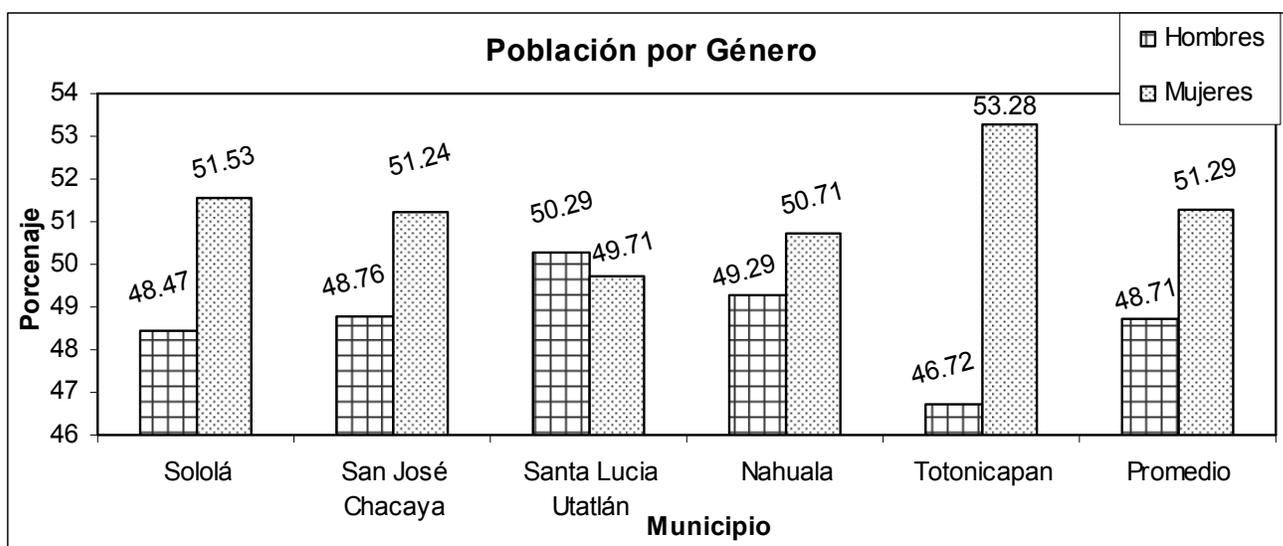


Fuente: Características de la Población y de los Locales de Habitación. Censo Nacional 2002 INE.

Figura 4 Población rural y urbana perteneciente a la subcuenca del río Quiscab

## B. Población por género

En la figura 5 se puede observar el patrón de distribución por género que sigue los cinco municipios dentro de la subcuenca del río Quiscab, en la que el 51.29 % (42,419 hab) son mujeres y el restante 48.71% (40,280 hab) son hombres, indicando una población equitativamente distribuida según género (Censo Nacional Poblacional 2002, proyección 2008).



Fuente: Características de la Población. Censo Nacional 2002 INE

Figura 5 Cantidades porcentuales de la población total por género de los municipios pertenecientes a la subcuenca del río Quiscab

## C. Población económicamente activa

Solamente el 27% de la población total en la subcuenca del río Quiscab es económicamente activa. De estas 22,330 personas, el 78.5% son hombres y solo el 21.5% son mujeres. Las mujeres, trabajan principalmente como amas de casa sin ninguna remuneración, explicando así, la casi nula participación económica. Las consideradas activas económicamente, centran su trabajo en la confección y venta de textiles y/o artesanías. De la población desempleada la mayoría son mujeres que constan del 44% del total de la población económicamente activa. De todas las personas que tienen empleo el 80% trabaja como empleado público y/o privado, el porcentaje restante se divide en patrono, cuenta propia ó familiar no remunerado (INE, Censo Nacional del 2002).

Cuadro 3 Población económicamente activa total y por género

Población Total	Población Económicamente Activa		
	No de personas pertenecientes a la PEA	Hombres	Mujeres
82,699	22,330	17,529	4,801

Fuente: INE, Censo Nacional del 2002.

**D. Densidad de población**

La subcuenca cuenta con un área de 159.60 km<sup>2</sup> y una población total de 82,699 habitantes, por consiguiente una densidad poblacional de 518 hab/km<sup>2</sup>.

**E. Proyecciones demográficas**

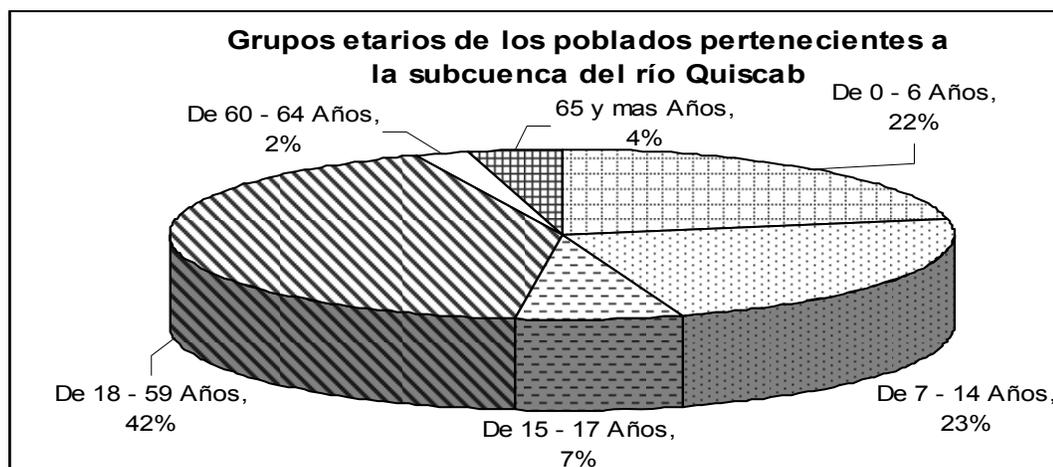
La tabla de proyecciones demográfica para el 2010 será útil para definir proyectos a futuro para que estos prevean las necesidades que se tendrán en ese año en función a la población, que se verá radicalmente aumentada. Así, en el cuadro 4 encontramos un aumento poblacional del 16 % en un período de cuatro años, lo que nos indica que el municipio de Sololá posee una tasa anual de crecimiento de 4%, lo que hace evidente la falta de planificación familiar. Comparando este dato (2.7%) con el de Guatemala observamos que el ritmo de crecimiento en dicho municipio es del doble de la tasa anual para Guatemala. Por lo que permitirá implementar proyectos de mayor durabilidad para la población, así como lograr una mayor información para disminuir esta tasa de crecimiento poblacional por medio de implementación de talleres de información.

Cuadro 4 Proyecciones de la demografía del municipio de Sololá

Edades en años	2007	2008	2009	2010
25-29	3.280	3.508	3.738	3.958
30-34	2.431	2.598	2.779	2.974
35-39	1.892	1.997	2.114	2.246
40-44	1.564	1.634	1.708	1.795
45-49	1.217	1.311	1.407	1.497
50-54	1.053	1.065	1.085	1.125
55-59	915	965	1.013	1.054
60-64	719	758	799	841
65-69	581	601	624	651
70-74	471	486	501	518
75-79	326	347	396	388

Fuente: INE, Estudio en base al Censo Nacional del 2002

## F. Población por grupos etarios



Fuente: Características de la Población, Censo Nacional 2002 INE

Figura 6 Cantidades porcentuales totales de la población en rango de edades de las comunidades pertenecientes a la subcuenca del río Quiscab

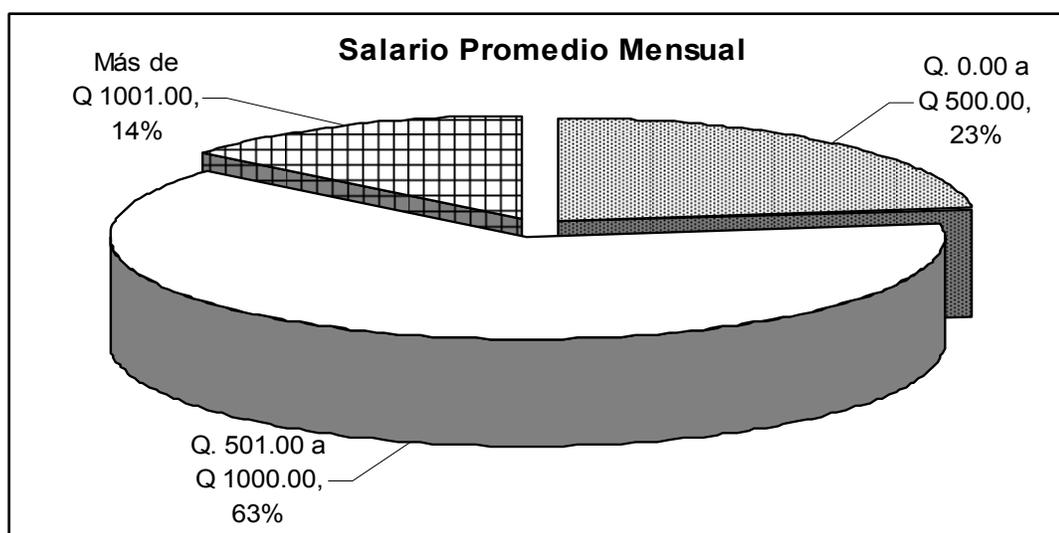
En la figura 6 se observa que la mayor parte de la población de las comunidades pertenecientes a la subcuenca se encuentra entre las edades de 18 a 59 años de edad, alcanzando el 42% de la población total y en un 52% de la población total se encuentra entre los 0 y 17 años. Esto indica que la población joven (menores de 17 años) es

predominante, por lo cual se puede considerar que hay una natalidad mayor (Censo Nacional Poblacional 2002).

### 1.3.2.2 Nivel de ingresos económicos

#### A. Ingresos promedio

Según las entrevistas realizadas y la observación efectuada, la condición de vida de los habitantes de la subcuenca es considerada baja ya que la agricultura que se maneja en el área, en su mayoría, es de subsistencia. La mayoría de la población total de los municipios trabaja para el sector público y/o privado por patrono, en el campo (Agricultura), comerciantes y de remesas que les envían del extranjero. El 63% de la población tiene un salario entre los Q. 500.00 y los Q.1, 000.00, el 14% gana más de Q.1,001 y el 23% gana menos de Q.500.00.



Fuente: Módulo de Cuencas Hidrográficas 2007

Figura 7 Salario promedio mensual de las comunidades pertenecientes a la subcuenca del río Quiscab

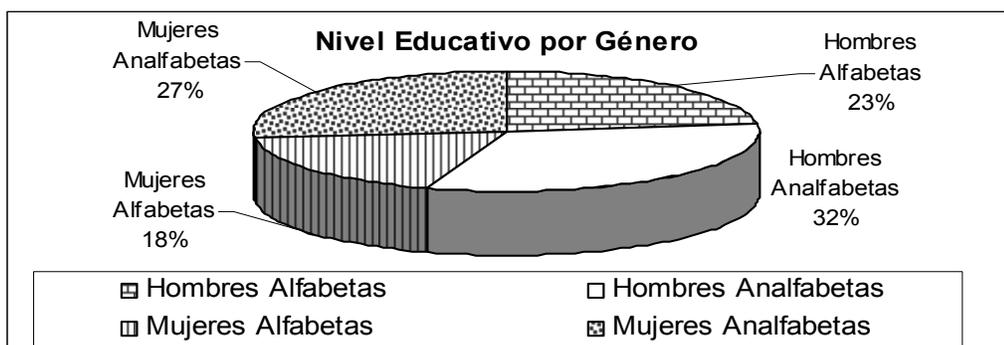
#### B. Salarios mínimos

El salario mínimo que se paga a los trabajadores del sector agrícola es de Q. 30.00 a Q. 35.00 el jornal de trabajo con algunas excepciones de Q.45.00 a Q.50.00, cuando las labores son aún más exhaustivas y si se les brinda comida al jornal le es descontado un promedio de Q. 15.00 (entrevistas a los distintos pobladores).

### 1.3.2.3 Educación

#### A. Nivel educativo por género

La educación en los poblados de la subcuenca sigue el mismo patrón que en todo el altiplano, con una distribución por género donde el hombre predomina, es decir, el 23% (19,021 hab.) son alfabetos, en tanto que la mujer solo con un 18%, lo que resulta en 14,886 alfabetas. Dicho lo anterior, un 59% (48,792 hab.) de la población total en la subcuenca son analfabetas, en donde 26,463 son hombres y 22,328 mujeres (Censo Nacional Poblacional 2002).

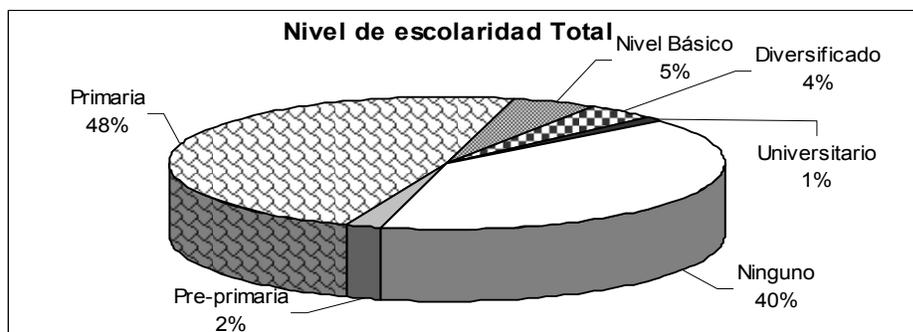


Fuente: Características de la Población. Censo Nacional 2002 INE

Figura 8 Alfabetas y Analfabetas por género de las comunidades pertenecientes a la subcuenca del río Quiscab

#### B. Grado de escolaridad

El grado de escolaridad en la subcuenca es muy bajo. Esto se demuestra con las cifras de analfabetismo en la zona, que corresponden a un tercio de la población (Censo Nacional 2002 INE).



Fuente: Características de la Población. Censo Nacional 2002 INE

Figura 9 Nivel de escolaridad total de las comunidades pertenecientes a la subcuenca del río Quiscab

En la figura 9, resulta ilustrativo observar que a nivel de subcuenca, el 40% (33,080 hab.) de la población no cuenta con nivel educativo y entre las personas que habían tenido algún grado de escolaridad solo un 48% (39,696 hab.), curso el nivel primario, un 5% (4,135 hab.) llegó a cursar básicos y el 4% (3,308 hab) estudios diversificados.

### **C. Nivel educativo en el área rural y urbana**

Actualmente el analfabetismo ha sido uno de los problemas aún sin superarse dentro de los cinco municipios que constituyen la subcuenca del río Quiscab. En los últimos años los programas de alfabetización impulsados por el Ministerio de Educación (MINEDUC) y la Comisión Nacional de Alfabetización (CONALFA), lograron un leve incremento, pero recayó debido a la falta de insumos para con los alfabetizadores, ya que no se contaba con el material didáctico adecuado. Esto debido a que en el área hay un mayor índice de población indígena.

Lo único que se lograba era el aprender a leer y escribir pero no se conseguía la permanencia y desarrollo por parte de los participantes en lo que a la escolaridad respecta, eso debido a varias razones, pero la más común fue que conforme se lograba un incremento paulatino educacional se tenía que ir cada vez más a centros urbanos, debido a la ubicación de los establecimientos de interés. Muchas de las inasistencias o permanencia en el ciclo escolar es por la cultura y la pobreza de las familias, ya que muchos de los miembros de la familia tenían que trabajar para poder llevar un ingreso mayor a la casa.

### **D. Principales causas de inasistencia escolar**

Las principales causas de inasistencia escolar según información obtenida de entrevistas a los pobladores están: falta de dinero, se encuentra muy lejos el establecimiento, tiene que empezar a trabajar, el idioma no es el materno, no hay suficientes maestros, no hay infraestructura adecuada y mantener el hogar. Es por ello que se pone en evidencia el choque cultural que se vive en el interior de la república y la resistencia indígena a los procesos de aculturación. La educación oficial, que desde tiempos de la colonia se alinea a los paradigmas de la cultura occidental hegemónica, ignorando los valores de la cultura indígena, se convierte así en un medio de expropiar valores propios, provocando el

rechazo de las comunidades. Esta situación se hace evidente en la forma tradicional de educación monolingüe que hasta en tiempos recientes se viene dando en el idioma oficial (castellano). Los programas aislados de educación primaria bilingüe que se han iniciado en el municipio de Sololá, luego de los acuerdos de paz, donde la educación va de la mano a la cultura y el idioma de cada región deberían ser impulsados con mayor esfuerzo e intensificarse en la región de la subcuenca.

### E. Infraestructura educacional por municipio

Cuadro 5 Infraestructura educacional en las comunidades pertenecientes a la subcuenca del río Quiscab.

Poblado	Pre-Primaria	Primaria	Básico	Diversificado	Universitario
Santa Lucía Utatlán	X	X	X	O	O
El Novillero	X	X	X	O	O
Xetzampual	X	X	X	O	O
Chuitzam	O	X	O	O	O
Chuilajcacquix	X	X	O	O	O
Chobé	X	X	X	O	O
Chool	X	X	O	O	O
Pacoxom	X	X	O	O	O
Argueta	X	X	X	O	O
San José Chacayá	X	X	X	O	O
Los Tablones	X	X	X	O	O
Parromero	X	X	O	O	O
Chomanzana	X	X	O	O	O
Chuiquel	X	X	X	O	O
Ciénaga Grande	X	X	O	O	O
Pahaj	O	X	O	O	O
Xeabaj	O	X	O	O	O
Barremeché	X	X	X	X	O
María Tecún	X	X	X	O	O
San Jorge La Laguna	X	X	X	O	O
Xacajax	X	X	X	O	O
Los Encuentros	X	X	X	O	O
Coxom	X	X	X	O	O
La Esperanza	X	X	O	O	O
La Concordia	O	X	O	O	O
Pamesebal	O	X	O	O	O
Molino San Pedro	O	O	O	X	O

Fuente: Módulo de Cuencas Hidrográficas 2007.

**Nota:** X=Presencia O=Ausencia

En el municipio de Sololá en todos los centros poblados existe por lo menos una escuela primaria y nivel básico. Mientras que el nivel diversificado únicamente en la cabecera municipal. Además del nivel diversificado la cabecera municipal cuenta con estudios técnicos impartidos por El Instituto Técnico de Capacitación y Productividad Agrícola - INTECAP- , brindando capacitaciones a trabajadores de empresas, en las siguientes ramas: inglés, computación, relaciones humanas, servicio al cliente, confección de prendas de vestir, avicultura, horticultura, agroforestería, carpintería, hotelería y bar tender. Además de cursos especiales que soliciten las empresas del municipio y del área. Cuenta también con un Instituto Técnico del Altiplano en la cual se preparan bachilleres en ciencias y letras con orientación agrícola.

En cuanto a la educación superior es el municipio de Sololá quien cuenta con centros regionales universitarios a los que los pobladores pueden acceder como:

- a. Universidad de San Carlos de Guatemala: Con profesorado en segunda enseñanza en diferentes especialidades.
- b. Universidad del Valle: Cuenta con una carrera técnico universitaria con especialidad en Horticultura y Agroforestería; dos profesorado en segunda enseñanza en primaria bilingüe y en primaria bilingüe e intercultural. Esta universidad cuenta con un programa enfocado al desarrollo comunitario llamado universidad para todos - Educón, de educación constante para la población no universitaria de las comunidades.
- c. Universidad Mariano Gálvez: Posee en plan sabatino las carreras de; Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales, Licenciatura en Ciencias de la Administración, Auditoría Pública, y Trabajo Social.

### 1.3.2.4 Idiomas

#### A. Pertenencia Étnica

Cuadro 6 Pertenencia Étnica de las comunidades de la subcuenca del río Quiscab

Municipio	Pertenencia Étnica		
	Maya	Ladino	Otra
Sololá	60113	3838	20
Santa Lucía Utatlán	17551	452	8
San José Chacayá	2326	116	3
Nahualá	51930	8	1
Totonicapán	6180	15	3

Fuente: Características Generales de la Población Censo 2002 INE.

Debido a que no se cuenta con datos específicos de cada poblado dentro de la subcuenca río Quiscab se procedió a analizar la pertenencia étnica de los municipios que conforman dicha subcuenca.

En los municipios de San José Chacayá, Santa Lucía Utatlán, Nahualá, Sololá y Totonicapán la pertenencia étnica predominante es la K'iche, Kaqchiquel y Tzutujil (Censo Nacional Poblacional 2002).

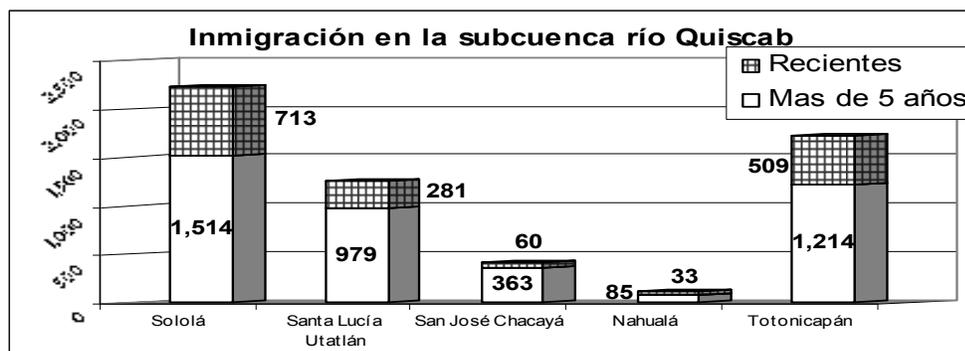
En el municipio de Santa Lucía Utatlán el 95.56% de la población maya es del grupo étnico K'iche. Por otro lado el idioma en el Municipio de San José Chacayá el 66% es Kaqchiquel y el 27% es K'iche, el restante 7% es español. Siendo los idiomas más hablados en el departamento de Sololá.

En el municipio de Nahualá al igual que los poblados de Totonicapán la lengua predominante es K'iche (Planes de Desarrollo Integral de los Municipios pertenecientes a la subcuenca Quiscab).

### 1.3.2.5 Migraciones

Debido a que no se cuenta con datos específicos de cada poblado dentro de la subcuenca río Quiscab se procedió a analizar las migraciones a nivel de municipios.

## A. Inmigración



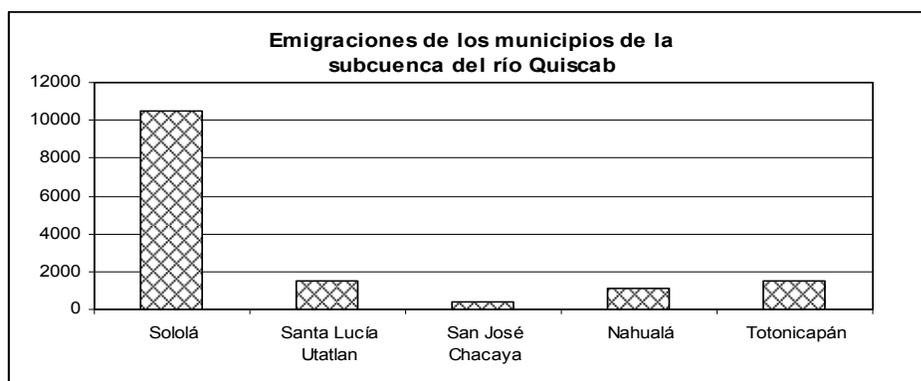
Fuente: Características Generales de la Población Censo 2002 INE.

Figura 10 Inmigraciones en los Municipios de San José Chacayá, Santa Lucía Utatlán, Nahualá, Sololá y Totonicapán.

Según la información recabada a través de las entrevistas las principales procedencias que la gente conoce a partir de conversaciones con los mismos inmigrantes o con otros miembros de las comunidades están: la “Costa Sur (pacífico)” y de otros lugares del altiplano y entre las causas más comunes están:

- Sus cónyuges son de los municipios.
- Por herencia.
- Por motivos de trabajo.
- Por adquisición o expansión de negocios.

## B. Emigración



Fuente Características Generales de la Población Censo 2002 INE.

Figura 11 Emigraciones en los Municipios de San José Chacayá, Santa Lucía Utatlán, Nahualá, Sololá y Totonicapán.

Según la información recabada a través de las entrevistas los principales destinos están la ciudad capital de Guatemala y Estados Unidos, aunque existen otros pobladores que indican que algunos emigrantes deciden irse a las ciudades más cercanas como las cabeceras departamentales de Quetzaltenango, Huehuetenango, y entre las causas más comunes están:

- Motivos laborales.
- Para obtener una mejor vida.
- Para estar con sus familiares.
- Por estudios.

### **1.3.2.6 Organización social por municipio**

Con lo que respecta al tipo de organización dentro de las comunidades que pertenecen a la subcuenca del río Quiscab se encuentran las siguientes:

#### **A. Municipio de San José Chacayá**

**a. Presencia institucional:** Existen seis instituciones gubernamentales, en el municipio:

- El ministerio de salud, a través del centro de salud.
- Ministerio de Educación, a través de la coordinación técnica administrativa, distrito 07-02-01.
- El organismo judicial, mediante el juzgado de paz.
- El tribunal supremo electoral, a través de la subdelegación de registro de ciudadanos.
- El comité nacional de alfabetización –CONALFA-.
- La policía nacional civil –PNC-, mediante una sub-estación.

Además, se cuenta con la colaboración de los Cuerpos de Paz de Estados Unidos con una voluntaria que trabaja en el programa de educación ambiental. La Misión de Verificación de las Naciones Unidas –MINUGUA- impartiendo charlas de los acuerdos de paz; y la Agencia Española de Cooperación Internacional –AECI-, que trabaja con el fortalecimiento municipal y desarrollo humano integral conjuntamente con la municipalidad.

En cuanto a las Organizaciones No Gubernamentales (ONG's) guatemaltecas una de carácter nacional y dos departamental trabajan en el municipio Asociación Guatemalteca de Educación Sexual –AGES-, que se dedica a la concesión de becas de estudio para señoritas de nivel básico e impartir charlas de educación sexual y desarrollo humano; Proyecto Ixchel y la Fundación Cristiana para Niños y Ancianos que se dedica al apadrinamiento de niños de escasos recursos económicos.

**b. Organización Social:** actualmente cinco comunidades cuentan con diferentes comités tales como:

- Comité de mini riego.
- Comité de agua potable.
- Comité pro-mejoramiento.

Además, todas las comunidades tienen conformado un Consejo Comunitario de Desarrollo –COCODE-. Así como organizaciones de mujeres en cada una de las comunidades (Desarrollo Integral del Municipio de San José Chacayá).

### **c. Actividades Productivas**

#### **Producción Agrícola**

Las actividades de traspatio en San José Chacayá abarcan un bajo porcentaje de especies arbóreas, pero se logra visualizar que es donde se logra una buena producción de durazno, melocotón y aguacate, la cual es comercializada en otros municipios. Por otro lado existe muy poca producción de cítricos esto debido a las temperaturas a lo largo del año (Censo Agropecuario Nacional 2003).

Cultivos Prioritarios (según destino principal)

- Autoconsumo: maíz y fríjol.
- Comercialización: principalmente papa, zanahoria, repollo y cebolla. En menor cantidad: aguacate, remolacha, coliflor (Censo Agropecuario, 2003).

Infraestructura para el Comercio

- En ninguna de las comunidades del municipio existe plaza de mercado.

- Ninguna comunidad cuenta con centro de acopio para producción local (Plan de Desarrollo Integral de San José Chacayá, 2002 - 2010).

#### **d. Infraestructura física**

##### **▪ Vías de Acceso**

Se puede acceder desde la ciudad capital por tres vías diferentes, la más utilizada (Km. 146), es la carretera interamericana (CA 1) que pasa por la cabecera departamental y luego a dicho municipio. El otro acceso desde la ciudad capital se hace a través del municipio de Santa Lucía Utatlán, vía interamericana hasta el cruce del Km. 148, a una distancia total de 157.5 Km., considerado el más largo. En total éste municipio cuenta con una red vial de aproximadamente 19.5 km de los cuales el 2.2 km corresponden a calles adoquinadas y 17.3 km a caminos de terracería (Plan de Desarrollo Integral de San José Chacayá, 2002 - 2010).

##### **▪ Telecomunicaciones**

Solamente el 22% de los centros poblados del municipio cuenta con líneas telefónicas de tipo residencial o comercial, ubicados en la cabecera municipal. El resto de las comunidades cuentan con telefonía celular pero de muy baja calidad. En cuanto a correos y telégrafos, solo la cabecera municipal cuenta con una oficina de la empresa El Correo, concesionaria del servicio estatal. Atendiendo únicamente los días lunes, miércoles y viernes de 8 a.m. a 5 p.m. se encarga de distribuir la correspondencia en los lugares más accesibles (Plan de Desarrollo Integral de San José Chacayá, 2002 - 2010).

##### **▪ Otras Infraestructuras de uso colectivo**

Cuenta con un cementerio público, ubicado en la cabecera municipal y disponible para todas las demás comunidades del municipio. En cuanto a los salones comunales, que si bien están en condiciones regulares, existen en únicamente dos centros poblados: cabecera municipal y el cantón los tablones. No se cuenta en el municipio con instalación para destace de ganado (rastros), ni para actividad comercial (mercado). En cambio el municipio si cuenta con edificios religiosos. La religión católica cuenta con una iglesia en el Cantón Los Tablones y otra en la cabecera municipal, en donde también tiene un oratorio. Mientras que la religión evangélica, cuenta con un total de 14 templos.

Distribuidos en todos los cantones exceptuando el cantón Romeo. Existe una biblioteca municipal con horario de 8 a.m. a 5 p.m. Hay también una subestación de la Policía Nacional Civil (PNC). Un Lavadero público ubicado en el centro de la cabecera municipal, el cual fue construido en 1910 (Plan de Desarrollo Integral de San José Chacayá, 2002 - 2010).

▪ **Infraestructura deportiva**

- a. 2 canchas polideportivas (cabecera y Caserío Parromero).
- b. 3 canchas de baloncesto (cabecera, Los Tablones y Parromero).
- c. 2 canchas de balón pie (cabecera, Los Tablones).

▪ **Infraestructura, servicios básicos existentes y otros**

- a. 1 puesto de salud en donde no existe un médico permanente y solamente una auxiliar de enfermería, se encuentra ubicado en la cabecera municipal.
- b. 3 centros de convergencia: 1 con edificio propio en Los Tablones y 2 ubicados en casas particulares (caserío Parromero y las Minas).
- c. Ninguna clínica privada, ni de servicio social ni de tipo particular ni comercial.
- d. Ventas de medicina: 2 en la cabecera municipal y 1 en Villa Linda.

**e. Forma de tenencia**

En las comunidades del municipio de San José Chacayá de acuerdo a su plan de Desarrollo Integral se observa que la tenencia de la tierra es en su gran mayoría (un 94%) de propiedad privada y el resto se divide en propiedad municipal, por cooperativa y comunal (Plan de Desarrollo Integral de San José Chacayá, 2002 - 2010).

**B. Municipio de Nahualá**

**a. Presencia Institucional**

- El Comité Nacional de Alfabetización –CONALFA-. Por medio de alfabetizadores dentro de los centros educativos en las comunidades de Pacoxom y Xeabaj.
- El Ministerio de Salud, a través del puesto de salud.

## **b. Organización Social**

- Mayores: Estas personas desempeñan funciones como autoridad superior inmediata de los alguaciles, quienes dirigen diferentes servicios que desempeñan en beneficio de la comunidad (Agenda de Desarrollo Municipal de Nahualá, 2006).

## **c. Actividades Productivas**

### **Producción Agrícola**

Cultivos Prioritarios: Además de la cosecha del frijol y el maíz, el municipio de Nahualá produce gran cantidad de habas, pero solo en el período que comprende de noviembre a abril. A diferencia de Sololá, la mayoría de agricultores del área no se dedican al cultivo en grandes cantidades de cebolla y papa.

Infraestructura para el Comercio: Existe un mercado de carácter formal en la cabecera municipal y otro de carácter informal en la aldea Xejuyub. Los días de mayor comercio son los jueves y domingos.

## **d. Infraestructura física**

### **▪ Vías de Acceso**

La carretera Interamericana conduce a la cabecera municipal a la altura del km 155, se encuentra la primera entrada y después de 2.5 km se sitúa en el palacio municipal y a una distancia de:

- 17 km. Xeabaj
- 23 km. Panimá
- 21 km. Pacoxom
- 22 km. Tzamcoton
- 15 km. (5 asfaltada-10Terracería) Chirijcacha
- 18 km. San Lazaro.

### **▪ Telecomunicaciones**

La empresa de Telecomunicaciones de Guatemala TELGUA S.A. ha brindado el servicio telefónico con telefonía celular, con el servicio de PCS digital. Por otro lado las compañías

COMCEL y Telefónica ofrecen ya los mismos servicios. Existen teléfonos comunitarios en los 4 poblados para uso colectivo (Agenda de Desarrollo Municipal de Nahualá, 2006).

▪ **Otras Infraestructuras de Uso Colectivo**

Existe un salón municipal en el caserío Pacoxom, así como canchas deportivas en los cuatro poblados. No se cuenta con centros de salud en éstos poblados, pero se cuenta con los servicios de 1 comadrona, la cual fue capacitada en el centro de salud de la cabecera municipal (Agenda de Desarrollo Municipal de Nahualá, 2006).

**e. Forma de tenencia**

En las comunidades del municipio de Nahualá según informantes locales, la mayor parte de los productores cultivan pequeñas áreas, no mayor de 2 hectáreas. La mayor parte de la tierra es de propiedad municipal y la superficie asignada está en razón de la capacidad de trabajo del agricultor (Agenda de Desarrollo Municipal de Nahualá, 2006)

**C. Municipio de Santa Lucía Utatlán**

**a. Presencia institucional**

Entre las organizaciones gubernamentales están:

- CONAP, velando por el aprovechamiento y buen uso de los recursos naturales.
- AMSCLAE, Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno.
- CODEDUR, Consejo Departamental de de Desarrollo.
- CONALFA, busca disminuir el índice de Analfabetismo.
- CTA, Coordinación Técnica Administrativa.
- Registro de ciudadanos.

Entre las Organizaciones NO Gubernamentales (ONG's) están:

- COLUA.R.L. en la aldea El Novillero, ésta brinda la atención necesaria a todos sus socios para mejorar su situación económica a través de créditos.

- Asociación la Guadalupana, en la aldea El Novillero, brinda mayores ingresos económicos y empleos locales con un amplio sentido de conservación del recurso forestal.
- Casa del recurso del maestro, en Santa Lucía Utatlán brinda material didáctico para los maestros.
- CECMAYA, Centro Etnográfico de la Cultura Maya, en la cabecera departamental.
- CODIMA, Cooperación para el Desarrollo Integral Maya, paraje Nikaj Kim, proporciona becas para niños en edad escolar (Plan de Desarrollo Integral, Santa Lucía Utatlán 2002 - 2010).

#### **b. Organizaciones sociales y Autoridades tradicionales existentes**

El municipio cuenta con una autoridad municipal, que desde hace 24 años lo han ejercido los indígenas de descendencia maya. Por otro lado cuenta con una segunda alcaldía, el mismo pueblo lo ha tomado como autoridades tradicionales, ellos velan por el bienestar del pueblo y velan por el patrimonio del municipio especialmente por los terrenos comunales. Por otro lado se manifiesta la importancia de los ancianos, personas a las cuales se les debe y da mucho respeto, ellos intervienen para la resolución de problemas matrimoniales así como de límites territoriales. Ellos son quienes se encargan de la elección del alcalde segundo y sus regidores.

Los comités son autoridades propiamente de su comunidad, por lo mismo son respetados por los vecinos que la integran. La labor que realizan estos comités es básicamente de gestión del desarrollo de la comunidad, como también velan por la seguridad ciudadana y la conservación de los recursos patrimoniales (Plan de Desarrollo Integral, Santa Lucía Utatlán 2002 - 2010).

#### **c. Actividades Productivas**

##### **Producción Agrícola**

Cultivos Prioritarios: Aquí se producen diferentes cultivos. El que ocupa mayor terreno es el asocio maíz-fríjol-chilacayote ó maíz-habas-chilacayote, éstos cultivos se cosechan

únicamente una vez por año y se siembra con semillas de la cosecha anterior (Plan de Desarrollo Integral, Santa Lucía Utatlán).

Otros cultivos como, hortalizas y papa, se cultivan en 15 comunidades, el cultivo de papa es para la venta en los mercados de la región y una parte es para su consumo, y se obtiene alrededor de 9-10 quintales por cuerda (863.6 kg/ha). De las hortalizas las más producidas son haba, zanahoria, repollo, cebolla, remolachas y brócoli (Censo Agropecuario, 2003).

Entre las especies de frutales de alta producción se sitúan el durazno, melocotón y manzana, así como aguacates, mientras que las de consumo hogareño están: níspero, higo y granadilla (Censo Agropecuario, 2003).

Infraestructura para el Comercio: Cuenta con un servicio de mercado, que está disponible los días jueves y los domingos. Debido a la gran incidencia poblacional al mercado hay vendedores que se sitúan en las calles de los alrededores y ofertan sus productos (Plan de Desarrollo Integral, Santa Lucía Utatlán 2002 - 2010).

#### **d. Infraestructura física**

- **Vías de Acceso**

Cuenta con una red vial, la principal es una carretera asfaltada de 4 km. que une la cabecera municipal con el km 148 de la carretera Interamericana (CA 1), a pesar de tener pocos años de haberse construido ya se encuentra en malas condiciones. La carretera Interamericana (CA 1) de algún modo a beneficiado a los vecinos por ser una de las vías de mayor comunicación del país; ya que une a la región VI Noroccidente y gran parte de la región VI Suroccidente, con el resto del país, con el área Centroamericana y México. Los principales centros poblados que atraviesa esta carretera son las comunidades aledañas al km 148, aldea El Novillero y Ciénaga Grande pertenecientes al Cantón Pahaj y Chuchexic. Las demás comunidades se conectan por caminos de tierra y balastro, la mayoría en malas condiciones (Plan de Desarrollo Integral, Santa Lucía Utatlán 2002 - 2010).

### ▪ **Transporte**

Se cuenta con transporte colectivo utilizando las vías principales para transitar, la más importante es la ruta por el km 148 de la carretera Interamericana. Los propietarios de los buses son oriundos del municipio. Además se cuenta con el servicio de fleteros, el cual abarca todos los parajes y cantones del municipio ofreciendo así un medio de desplazamiento efectivo. Ellos se han organizado por medio de una asociación que se encarga de regir programación de horarios y rutas a cubrir (Plan de Desarrollo Integral, Santa Lucía Utatlán 2002 - 2010).

### • **Telecomunicaciones**

A nivel de cabecera municipal la empresa de Telecomunicaciones de Guatemala TELGUA S.A. ha brindado el servicio telefónico a la población con líneas residenciales, además de la telefonía celular, con el servicio de PCS digital. Por otro lado las compañías COMCEL y Telefónica ofrecen ya los mismos servicios. Existen teléfonos comunitarios en la mayoría de poblados para uso colectivo acorde a las necesidades de la población. El servicio de correos y telégrafos es brindado por la empresa El Correo, concesionario público, cuenta con una oficina ubicada en la cabecera municipal y otra en la aldea El Novillero. En el área urbana se entrega la correspondencia a domicilio diariamente, mientras que en el área rural cada dos o tres días (Plan de Desarrollo Integral, Santa Lucía Utatlán 2002 - 2010).

### • **Otras Infraestructuras de uso colectivo**

En la cabecera municipal existe un mercado en el cual se ubican 64 locales, dicha infraestructura es insuficiente para el movimiento comercial que se da en el municipio, especialmente los días domingo. En cuanto a salón de usos múltiples, existe uno en el área urbana y en la aldea El Novillero, estos son utilizados para reuniones comunales, capacitaciones, fiestas, actividades religiosas y están disponibles para toda la población (Plan de Desarrollo Integral, Santa Lucía Utatlán 2002 - 2010).

También se cuenta con un cementerio general municipal que está ubicado en la cabecera municipal. Se localizan un total de 4 gasolineras a disposición de los usuarios en los distintos puntos de las rutas que se dirigen al municipio. En la cabecera municipal y en los

cantones se cuentan con canchas de balón pie y baloncesto, siendo las más modernas las de la aldea El Novillero.

- **Servicios de Salud**

Éste municipio cuenta con un centro de salud tipo B, ubicado en la cabecera municipal, brinda atención médica a toda la población; los centros de salud de este tipo están diseñados para encamamiento y se encuentra en muy buenas condiciones. Cuenta con un médico permanente que a su vez cumple la función de administrador del centro, 1 enfermera graduada, 4 enfermeras auxiliares, 1 técnico en salud rural, 1 inspector de saneamiento ambiental, 1 conserje, 1 piloto y 1 secretario. En la aldea El Novillero se encuentra una clínica privada (de Monjas), atendida por 1 médico a medio tiempo, 2 enfermeras auxiliares. Además de éstas clínicas se encuentran localizados 3 médicos particulares y 16 farmacias (Plan de Desarrollo Integral, Santa Lucía Uatlán 2002 - 2010).

- e. Forma de tenencia**

En las comunidades del municipio de Santa Lucía Uatlán ocurre algo similar ya que casi el 90% son propiedades privadas, según la información recaba a través de las entrevistas a los propietarios de las fincas, las han heredado y están siendo aprovechadas para cultivos de subsistencia, es decir, que únicamente tiene algunas hectáreas o hasta en algunos casos cuerdas cultivadas para consumo propio. Son pocos los propietarios que producen para la venta.

## D. Municipio de Sololá

### a. Organizaciones gubernamentales

Cuadro 7 Organizaciones gubernamentales que operan en el municipio de Sololá.

No	Institución	Áreas de actividades
1	Autoridad para el Manejo Sustentable –AMSCLAE-	Educación ambiental, descontaminación del lago, manejo de desechos sólidos
2	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA -	Fortalecimiento de las organizaciones de productores agrícolas Asistencia técnica y crediticia Proyectos productivos
3	Procuraduría de los Derechos Humanos	Procuración Promoción Educación Derechos de la niñez Defensa de la mujer
4	Dirección Departamental de Educación	Educación formal, informal y superior.
5	Consejo Nacional de Áreas Protegidas-CONAP-	Conservación de los recursos naturales en el área protegida
6	Instituto Nacional de Bosques –INAB -	Incentivos forestales Bosques comunales Bosques regionales Parque nacional
7	Comité Nacional de Alfabetización –CONALFA-	Alfabetización inicial Castellana, Alfabetización bilingüe post alfabetización.
8	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales –MARN-	Dictámenes ambientales Vigencia y aplicación de las Leyes ambientales
9	Secretaría de Programación, Planificación de la Presidencia SEGEPLAN	Facilitar la coordinación institucional Coordinador del fondo de solidaridad Coordinador del presupuesto de ingresos y egresos de la nación
10	Jefatura de Área de Salud, Hospital Nacional San Juan de Dios	Administración de los servicios de salud Control estadístico de salud
11	Fondo Nacional para la Paz FONAPAR	Financiamiento de proyectos de infraestructura social y productiva
12	Comisión Presidencial de Derechos Humano –COPREDEH -	Documentación atención de relatores especiales Capacitación sobre derechos humanos Observadores de conflictos y mediación
13	Instituto Técnico de Capacitación y Productividad –INTECAP -	Capacitación para el trabajo Asistencia técnica en complementación Aprendizaje técnico y profesional y empresarial
14	Secretaría de Obras Sociales de la Esposa del Presidente –SOSEP-	Buscar oportunidades de desarrollo y participación a través de la mujer Fortalecer la integración familiar Promover el desarrollo comunitario a través de la autogestión Promover y apoyar acciones en educación formal y no formal Promover y apoyar acciones en salud y nutrición
15	Secretaría de Coordinación Ejecutiva de la Presidencia –SCEP-	Coordinación del Sistema Nacional de Consejos de Desarrollo Urbano y Rural.  Sistema de Consejos Regionales y Departamentales Formulación de políticas de desarrollo urbano y rural.
16	Centro de Acción Legal en Derechos Humanos - CALDH	Otorgar servicios de asesoría legal Ser canal facilitador y fortalecedor de organizaciones, grupos y comunidades en la promoción de sus propios proyectos de Derechos Humanos en los ámbitos nacional e internacional.
17	Fundación Euroárabe de Altos Estudios –FUNDEA-	Fomentar el intercambio docente, investigador, de asistencia técnica y de información Impulsar programas de postgrado entre centros universitarios y de investigación de los países europeos y árabes

18	Defensora de la Mujer de la Procuraduría de los Derechos Humanos	Denuncias de violencia intra familiar, contra la mujer.
19	Policía Nacional Civil –PNC-	La protección de la vida y de la seguridad de los ciudadanos el mantenimiento del orden público. Prevención é investigación del delito y pronta y transparente
20	Juzgado Familiar	La Ley determina que todos los problemas relacionados con la familia son de observancia general, por constituir la base de la integración de la sociedad.
21	Bomberos Voluntarios	Prevenir y combatir incendios. Atiende desastres, primeros auxilios, atención en enfermedades súbitas, rescates, accidentes, atención de heridos, maternidades, prevenciones y toda clase de atención que permita salvaguardar la vida y bienes de la comunidad.
22	Defensa Publica	Garantizar el derecho a la defensa gratuita a los ciudadanos, prestando un servicio de orientación, asesoría, asistencia y representación legal, en los ámbitos de su competencia, contribuyendo con una administración de justicia imparcial, equitativa y expedita.
23	Juzgado de Primera Instancia Civil	Velar por los derechos de Trabajo y Previsión Social, Familia, Civil y Económico
24	Juzgado de Primera Instancia Penal	Velar por la justicia cuando existe maltrato físico, moral, educativo, robo, etc.
25	Centros de Salud	Brindar información general de salud. Primeros auxilios.
26	Tribunal Supremo Electoral - TSE	Empadronar a todos los ciudadanos del departamento de Sololá.
27	Dirección General de Educación Bilingüe, - DIGEBI -	Capacitación a maestros en Kiche y Tzutujil Elaboración de textos en idioma materno
28	Instituto Nacional de Investigación – INE -	Demografía y producción
29	Fondo de Inversión Social – FIS-	Salud, Educación Agua Potable y desarrollo de asistencia social Infraestructura social
30	Consejo Departamental de Desarrollo Urbano y Rural CODEDUR	Promoción, planificación y ejecución de proyecto de desarrollo urbano y rural

Fuente: Trabajo de campo y Municipalidad de Sololá.

## b. Organizaciones no gubernamentales

En el municipio de Sololá se localizan alrededor de 15 organizaciones no gubernamentales, tanto nacionales como internacionales, a nivel de programas de asesorías empresariales, financiamiento, salud, ambiente, recursos naturales, agrícolas, artesanal, etnología y organización social. El cuadro 8 se indica el nombre y las actividades a las que se dedican.

Cuadro 8 Organizaciones no gubernamentales que operan en el municipio de Sololá.

No.	Institución	Áreas de actividades
1	Cooperación Indígena de Desarrollo Integral. (COINDI)	Construir modelos propios de desarrollo con grupos y comunidades mayas del área rural, facilitando procesos de autogestión comunal. Organización comunal-Capacitación Asistencia técnica. Asistencia financiera. Centro de capacitación Ixchel. (Sololá) Centro de capacitación Ajpop. (Guineales)
2	Asociación de Desarrollo Integral Cuenca del lago de Atitlán (ADICLA)	Promover el desarrollo auto sostenible y acceso al crédito. Crédito a: artesanos, comercios, microempresas, agricultores y Capacitación - Asistencia técnica. Concesión de micro-créditos de actividad Agrícola, Pecuaria, artesanal y comercio y servicio. Capacitación y asesoría
3	Asociación Ayúdense Nosotros les Ayudaremos. (AYNLA)	Acceder y facilitar asistencia crediticia a microempresarios, artesanos y comerciantes. Crédito Asesoría Capacitación.
4	Fundación para el Desarrollo Integral de Programas Socioeconómicos (FUNDAP)	Apoyo al crecimiento de empresas para incrementar la producción, ingreso y crear fuentes de trabajo evitando la migración a la capital. -Crédito a microempresas, artesanos y negociantes. -Capacitación empresarial
5	Cooperación Americana de Remesas -CARE	Ayudar a los Países pobres en vías de Desarrollo y seguridad Económica Educ. en Salud. apoyar la Educ. a los niños. Seguridad Alimentaria Nutrición Educ. Ecológica
6	Defensora Maya –DEMA-	Promover los derechos de los pueblos indígenas. Resolución de conflictos. -Denuncia nacional e internacional. Capacitación s/derechos a las mujeres. Formación política.
7	MINUGUA Misión de verificación de las Naciones Unidas en Guatemala	Examina y verifica el respeto DD:HH y los compromisos de los Acuerdos de Paz Asesoría legal. Asesoría policial. Aspectos socioeconómicos. Asuntos indígenas. -Fortalecimiento del poder civil.
8	KAMOL BEY. Proyecto 2527 Cristians Childrens.	Atención a la niñez necesitada mediante la educación y bienestar de su familia. Organización comunal -Estimulación temprana -Educación formal al niño capacitado. Salud: preventiva y curativa. Administradora del SIAS.
9	Asociación Amigos del País. PRONADE	Co-ejecutar servicios de educación primaria Rural del MINEDUC. Administración del Servicio educativo. Ampliar cobertura de educación. Primaria. Capacitación a COEDUCAS Y docentes. Construcción de aulas temporales
10	Asociación pro bienestar de la familia. - APROFAM	Lograr el bienestar de la familia mediante el control de la natalidad y atención médica general a mujeres y niños Salud productiva Salud integral Capacitación en salud reproductiva. Capacitación en género Apoyo a la organización social.
11	Asociación maya de Desarrollo gamolon qi qonojel	Preservación de la Cultura Maya Fortalecimiento del liderazgo en la mujer

	ASOMADEC.	Procesos de capacitación. Consolidación de la democracia
12	Asociación para el desarrollo Indígena Cultural y Social. ADICTA	Mejoramiento de las condiciones de vida. Programa de Créditos
13	Agencia Española de Cooperación internacional. AECI	Fortalecimiento Municipal, gestión de Servicios y Desarrollo humano integral. Fortalecimiento institucional.-Infraestructura social básico. -Participación ciudadana
14	Federación de Cooperativas de Consumo. FEDECOM	Fortalecer y consolidar la formación y participación de la mujer a través de su integración en las actividades socio-Económicas. Educación cooperativa Comercialización de productos de primera necesidad. Asistencia técnica. Programa de la mujer. Asistencia crediticia. -Desarrollo humano.
15	Fundación Cristiana para niños y ancianos. FCNAST.	Asistir a niños y ancianos necesitados y capacitar a sus familias sobre educación salud, e incentivar a los niños con el apadrinamiento. Salud: medicina natural y tradicional. Educación: Reforzamiento. Educación primaria: Colegio Santa Teresita. Nutrición. Recreación Asistencia familiar.
16	Asociación de Desarrollo Humano Integral (ASDHI)	Prestador de servicios para el sistema integral de atención en salud
17	Asociación de Cooperación Técnica. A.C.T	Promover el desarrollo socioeconómico de microempresas, artesanos, agricultores y comerciantes a través de Créditos y Capacitación. Créditos Capacitación Apoyo a la Mujer Comercialización
18	Central de Riesgo	Unificación de esfuerzos crediticios, evitar la duplicidad y reducir la morosidad y el control de los usuarios. -Información Crediticia de los usuarios. Entrega de solvencias Comunicación e información constante de datos crediticios.
19	Centro Maya para el Desarrollo Comunal (CEMADEC)	Agrícolas, productivos, artesanías, tiendas comunales, engorde de cerdos y pollos
20	Cooperativa. Agrícola Integral San Juan Argueta R.L.	Mejorar el nivel socioeconómico integral de los asociados. Créditos Educación cooperativa Suministro insumos agrícolas. Mecanización de tierras Artesanías.
21	Asociación de desarrollo Integral. IXIM ACHI	Mejoramiento de la familia, la comunidad y su infraestructura social. Atención en salud a la niñez. Educación escolar. Recreación infantil Desarrollo económico. Asistencia crediticia. Infraestructura social básica.
22	Coordinadora de Organizaciones del Pueblo Maya. COPMAGUA-SOLOLÁ	Organización del pueblo Maya
23	Fundación para el Desarrollo Sostenible. FUNDES	Capacitación empresarial, a propietarios de grandes, mediana, y pequeñas empresas productoras organizadas en el área rural y urbana. Proyecto Nahuala, capacita en los idiomas mayas Cakchiquel y Kiché.
24	Asociación Maya de Desarrollo Qamolon Q'i Qonojel. ASOMADEQ	Producción de textiles, comercialización y exportación

25	Fundación para la Educación y Desarrollo Comunitario. FUNDACEDCO	Asistencia crediticia, Capacitación y reforestación
26	Proyecto 2383 Chotak'aj	Contribuir al bienestar del niño, su familia y la comunidad. Salud Educación Sobrevivencia infantil Nutrición Relación niño Padrino
27	Proyecto Tinamit Kokotic. Aldea San Juan Argueta Sololá.	Mejorar el nivel de vida mediante proyectos. Promoción social Medicina general Educación
28	JH PLIEGO.	Promoción social y salud. Salud materna neonatal.

Fuente: Trabajo de campo y Municipalidad de Sololá.

### c. Actividades productivas

#### Producción agrícola

Cultivos Prioritarios:

- Los cultivos de mayor producción son: el frijol y el maíz.
- Entre las hortalizas están: rábano, remolacha, coliflor, zanahoria.
- La papa es otro cultivo de gran producción para consumo interno, así como para venderlo en otros mercados a nivel departamental y nacional (Censo Agropecuario, 2003).

Infraestructura para el comercio: Existe un mercado principal en donde la mayoría de productores van a vender sus cosechas, además existen 5 mercados localizados en los distintas aldeas y cantones (Chuiquel, El Tablón, Los Encuentro, San Jorge la Laguna y Xajaxac).

### d. Infraestructura física

#### • Vías de Acceso

En el caso del municipio de Sololá la red vial es de aproximadamente de 130 km, de los cuales el 38.5% están asfaltados y el 61.5% son caminos de tercerera; las aldeas ubicadas dentro de la subcuenca tienen acceso todo el año ya que las carreteras, aunque algunas de sin asfaltar, son de buena calidad.

El principal acceso a esta cabecera es por la carretera Interamericana CA1, hasta un punto llamado La Cuchilla en donde hay que cruzar a la izquierda, también existen otras carreteras que pasan por la cabecera departamental, una de ellas tiene un tramo de 8 km asfaltado que provienen del municipio de Panajachel (departamento de Sololá) y el otro tramo de 5 km asfaltados que inicia en el Caserío Central de la Aldea los Encuentros, por donde pasa la carretera interamericana. El departamento de Sololá cuenta 412.60 km de carreteras de las cuales 53 pertenecen a la vía centroamericana que está asfaltada en su totalidad, 96 km de carreteras nacionales de las cuales 10 no están asfaltadas, 85 km de carreteras departamentales asfaltadas y 77 km de carreteras departamentales de terracería; por último tiene alrededor de 100 km de caminos rurales.

- **Salones municipales**

La mayoría de las aldeas que se visitaron contaban con un salón comunal y si no era así la escuela de la comunidad cede su espacio para la realización de reuniones comunitarias, asambleas u otras actividades de la comunidad. La cabecera departamental de Sololá cuenta con un gran mercado a un lado de la Iglesia catedral, este mercado se extiende al parque central y calles aledañas los días martes y viernes. Algunas aldeas de la subcuenca como Los Encuentros, El Tablón, Yaxón, entre otros, tienen instalaciones específicas para el mercado; pero otras aldeas utilizan la plaza de la comunidad (ubicada generalmente frente a la iglesia) para poner ventas de verduras y frutas en días específicos.

- **Infraestructura de Salud**

Cuadro 9 Infraestructura de salud pública y asistencia social

Centro Poblado	Edificios			
	Hospital	Centro A	Centro B	Puesto
María Tecún				1
Los Encuentros				1
El Tablón				1
Sololá	1		1	6

### **e. Forma de tenencia**

En el municipio de Sololá algunas familias alquilan un promedio de 1.9 ha para cultivo. La mayoría de terrenos ubicados en las comunidades han sido heredados de generación en generación, estas áreas no cuentan con ningún registro, y muchas veces solo son amparados por documentos municipales.

## **E. Municipio de Totonicapán**

### **a. Organizaciones sociales y autoridades tradicionales existentes**

- **Alcaldías auxiliares**

Cada uno de los Alcaldes Auxiliares es electo por sus respectivas comunidades, están bajo la coordinación del regidor cuarto. Prestan un servicio comunitario gratuito, últimamente está limitado a ser un medio de información y de control de la comunidad, sin embargo, es una forma de expresión de autoridad comunal, ejerciendo influencia en varias decisiones, especialmente cuando hay conflictos. Ejercen su cargo por un año (Alcaldía Auxiliar de la Esperanza, Totonicapán, 2007).

- **Alguaciles**

Prestan sus servicios personales y voluntariamente, son personas electas en la comunidad que los convierte en miembros de la autoridad comunitaria. Tienen como funciones: recibir y entregar correspondencia a las personas de la comunidad y apoyar al alcalde auxiliar en problemas comunitarios.

- **Mayores**

Estas personas desempeñan funciones como autoridad superior inmediata de los alguaciles, quienes dirigen diferentes servicios que desempeñan en beneficio de la comunidad.

- **Principales**

Los principales son personas ancianas del sexo masculino que han pasado por todos los niveles de servicios comunitarios o en otros lugares, han pasado al menos al servicio de un alcalde auxiliar, estas personas son orientadores de los alcaldes auxiliares y de los

diferentes comités que existen en las comunidades, además son muy respetados en sus comunidades, especialmente en la resolución de conflictos tanto comunales como familiares.

## **b. Actividades Productivas**

### **Producción Agrícola**

Las comunidades pertenecientes al municipio de Totonicapán se caracterizan por la siembra de maíz de diferentes colores (maíz negro, rojo y amarillo) con respecto a los demás municipios. Básicamente se dedican al cuidado del recurso forestal y lo que de él adquieren. No se cuenta con una infraestructura definida para el mercado.

### **Producción Pecuaria**

Aproximadamente el 65 % de las familias que conforman el área de estudio tienen crianza de diferentes clases de ganado, como el vacuno, equino bovino, siendo este departamento uno de los mayores productores de lana a nivel nacional. El ganado vacuno es destinado a la venta. El 80% de las familias tiene pollos y gallinas de los que obtiene huevos y carne para autoconsumo y en algunos casos para la venta dentro de la misma comunidad. Alrededor de 6 pollos por familia es lo que se encuentra en la región (Censo Agropecuario, 2003).

Para las familias, la importancia económica de la venta de animales es muy baja, no se obtienen grandes recursos de la actividad pecuaria. Las familias que tienen ganado ó aves les sirve de autoconsumo o venta local y cuando quieren realizar transacciones de compra-venta de animales lo hacen dentro y si es afuera lo hacen a través de intermediarios. Uno de los problemas que afrontan las personas es el bajo precio en el mercado y que no siempre les permite recuperar lo invertido. Los precios son inestables. La producción pecuaria dentro de la subcuenca se realiza en pequeña escala y de forma extensiva, ya que el ganado se la pasa la mayoría de veces en áreas no aptas para pastura. Debido al relieve, clima y minifundio no permite una producción adecuada de ganado bovino que resulta ser el de mayor número de individuos. Existen algunas instituciones que brindan créditos para la crianza de ganado, sin embargo, estos créditos

no los acompaña una asistencia técnica, lo que ocasiona una baja en la maximización de los subproductos (leche, queso, crema, carne, etc.). Por lo que la mayoría de la población ha optado por dedicarse a las aves de corral, ganado porcino y ovino a una escala menor y de consumo familiar. Debido a que el ganado equino no es de interés comercial, no existe una gran producción para venta. Únicamente se utiliza como medio de transporte y la mayoría de veces es comprando en otros lugares fuera del departamento. En cuanto a la tenencia de ovinos se da a lo largo de la subcuenca en donde la mayoría de veces lo utilizan como producción de lana para su posterior transformación en subproductos (Censo Agropecuario, 2003).

### **Industria**

Entre las actividades industriales que se observaron en el recorrido de campo se aprecia que existen varias actividades tales como fábricas de block (13), talleres de estructuras metálicas (herrerías 17), cafeterías (21), carpinterías (23) y ventas de materiales de construcción (19), pero ninguna se ha podido establecer como grandes fábricas, por falta de organización y principalmente por la falta de capital.

Cabe destacar que en la región de Totonicapán (La Esperanza, La Concordia y Barreneché) tienen como actividad principal la carpintería en la que utilizan madera principalmente de pino blanco para la fabricación de muebles. Estos se comercializan en la ciudad capital, específicamente en la zona 3.

### **c. Infraestructura física**

#### **▪ Vías de Acceso**

La carretera Interamericana conduce a todas las comunidades de Totonicapán a través de Argueta municipio de Sololá a la altura del km 136, a partir de caminos de terracería. Se puede llegar a través de la cabecera municipal a la altura del km 200 en Cuatro Caminos, donde el camino es más largo (27 km).

#### **▪ Otras Infraestructuras de uso colectivo**

Existe salón municipal en los poblados de La Esperanza y Barreneché, mientras que en las otras, las escuelas oficiales tienen dicha función, así como canchas deportivas en los

cinco poblados. No se cuenta con centros de salud en éstos poblados, pero se cuenta con los servicios de 4 comadronas, la cual fue capacitada en el centro de salud de la cabecera municipal.

#### **d. Forma de tenencia**

En el municipio de Totonicapán las formas de propiedad se dividen en privadas con pequeñas extensiones de alrededor de 0.20 hectáreas y municipales-públicas que abarcan todo el recurso bosque con grandes extensiones.

#### **1.3.2.7 Tenencia de la tierra en la subcuenca río Quiscab**

El problema de la tenencia de la tierra en el área de estudio es de origen estructural común en la historia agraria nacional. La tierra es el recurso social y fundamental de todos cuantos existen. La tierra y su tenencia fue el desencadenamiento de los conflictos sociales en la historia hispánica y causante del enfrentamiento político militar de los últimos treinta y seis años, y el problema eterno a resolver por los gobiernos. Sololá fue un área crítica del conflicto armado, teniendo como trasfondo un sentido agrario (Plan de Desarrollo Integral, Santa Lucía Utatlán).

#### **A. Tamaño promedio de unidades productivas**

En todos los poblados pertenecientes a la subcuenca río Quiscab a través de las entrevistas efectuadas se constató que se utiliza como unidad de medida productiva de trabajo a la cuerda, que básicamente consta de 32 varas por 32 varas ( $1024 \text{ varas}^2 = 0.065 \text{ ha}$ ). Estos datos son los que utilizan para la siembra de maíz, sin embargo existen familias que se encargan de cultivos de hortalizas que poseen menos terreno. El área es típica de una distribución minifundista del altiplano guatemalteco, también es característico en el área de la Reserva de Usos Múltiples de la Cuenca del Lago de Atitlán (RUMCLA), predominando en la parte norte de la subcuenca y concentrándose en forma abundante en el municipio de Sololá.

Cuadro 10 Aspectos de tenencia de tierra en los departamentos que comprende la subcuenca del río Quiscab.

<b>Indicadores</b>	<b>Sololá (2003)</b>	<b>Totonicapán (2003)</b>
Superficie Total (ha.)	29,493.6	21,664.5
PEA agrícola (personas)	42,155	23,476
Superficie / PEA (ha/hab)	0.7	0.9
Tamaño promedio de las fincas (ha.)	0.8	0.5
Microfinca (menores a 0.7 ha.)	0.3	0.2
Subfamiliares (0.7 a 7 ha.)	1.4	1.7
Familiares (7 a 45 ha.)	11.5	12.5
Multifamiliares medianos.(1 a 20 Caballerías)	137.1	135.3
Multifamiliares grandes (más de 20 Caballerías)	1,362.0	- -

Fuente: Informe de Desarrollo Humano 2004. PNUD

## **B. Usos de la tierra**

Según el censo agropecuario del 2003, se manifiestan las cinco categorías de uso en los municipios que delimitan la subcuenca. Estas categorías son: Cultivos anuales o temporales, cultivos permanentes y semipermanentes, pastos, bosques y otras tierras, refiriéndose esta última a tierras ocupadas por instalación de fincas, montes, caminos, lechos de ríos y/o lagos, etc. La categoría de uso con más frecuencia en los municipios de Sololá, San José Chacayá y Santa Lucía Utatlán, está destinada a cultivos anuales. Es en esta categoría de uso donde se encuentra el 93% de las fincas de dichos municipios. En Nahualá, la distribución es un poco distinta. Las fincas destinadas para cultivos anuales representan el 69% y el 31% para cultivos permanentes y semipermanentes. Totonicapán representa el municipio con mayor cantidad de fincas destinadas a bosques dentro de la subcuenca, sin embargo esta cifra aún es baja, con solo 1,347 de las 11,582 fincas que posee dicho municipio. Por lo demás, la distribución de uso de la tierra según finca, sigue patrones similares a los del municipio de Nahualá.

### **1.3.2.8 Artesanías**

Como en todas las partes del altiplano guatemalteco es muy fácil encontrar todo tipo de tejidos elaborados en telares con lana obtenida de las ovejas. En la mayoría de comunidades que constituyen la subcuenca del río Quiscab se pueden encontrar bufandas, guantes, gorras, perrajes en fin todos los productos de lana para vestimenta. Debido a que la producción es para venta comunal y en algunos casos municipal no

existen canales de comercialización establecidos y es cada día de plaza (mercado) que los productores venden estos productos.

### **1.3.2.9 Recreación**

Existe un centro ecoturístico localizado en la Aldea El Novillero del municipio de Santa Lucía Utatlán llamado “Corazón del Bosque” en donde brindan servicios de restaurante, hotel y temascal (baño de vapor), el cual atrae a diversidad de visitantes locales y extranjeros. Existen además en el municipio de Sololá un turicentro que brinda el servicio de piscinas entre otros.

### **1.3.2.10 Energía eléctrica, drenaje y agua en los poblados pertenecientes a la subcuenca del río Quiscab**

En los hogares dentro de la subcuenca del río Quiscab, la mayoría (92%) tienen acceso a agua entubada (no potable) sin embargo esta no está disponible todos los días sino que es racionada. Solamente el 22% de los hogares tienen drenajes esto representa un grave problema de insalubridad pública ya que no se tiene control sobre las aguas negras muchas de las cuales van a dar a los ríos o contaminan los mantos freáticos. En cuanto a energía eléctrica todas las comunidades que se visitaron tenían acceso a ésta y lo mismo se refleja en las estadísticas que muestran que el 95% de los hogares tienen energía eléctrica. La municipalidad de Sololá ha implementado un proyecto con la ayuda de “Paz para el tercer mundo (PTM)” llamada diagnóstico de sistemas de agua y saneamiento básico de 19 comunidades dentro de la subcuenca del río Quiscab en el municipio de Sololá, en donde se piensa implementar nuevos sistemas de agua potable aptos para consumo humano y un sistema de drenajes en las comunidades.

### **1.3.2.11 Tecnología de producción**

#### **A. Labranza**

Las técnicas de cultivo utilizadas son manuales en un 80% y un 20% mecanizadas, en la mayoría de los casos se utiliza el riego superficial y la utilización de fertilizantes químicos, en algunos poblados utilizan el rastrojo sobrante para preparar el suelo para una nueva siembra.

## B. Uso de fertilizantes y plaguicidas

En el cultivo de maíz no aplican mayor cantidad de fertilizantes, caso contrario del cultivo de hortalizas en el que se valen del uso de Triple 15, Urea, abonos orgánicos, entre otros para incrementar sus cosechas. Aunque los terrenos son pequeños y en ellos se siembran diversos cultivos, estos son afectados por plagas y enfermedades por las condiciones de humedad del área por lo que hacen uso de plaguicidas e insecticidas que alteran el equilibrio ecológico matando a insectos dañinos y a los beneficiosos. Los residuos de estos fertilizantes, llegan a los ríos y mantos freáticos contaminando el suelo y el agua que luego llega al lago de Atitlán propiciando su eutroficación.

### 1.3.2.12 Salud y sanidad pública

#### A. Indicadores de salud

Respecto a las tasas de indicadores de salud como natalidad, fecundidad, mortalidad materno infantil y mortalidad general; son la tasa de natalidad y mortalidad materna las más altas como expresiones sociales de extrema pobreza y pobreza. En el cuadro 11 se refleja cuantitativamente dicho fenómeno en los cuatro municipios de la subcuenca:

Cuadro 11 Indicadores de salud de las comunidades pertenecientes a la subcuenca del río Quiscab

Indicador	Tasa (1/1000 habitantes)
Tasa de Natalidad	39.54
Tasa de Fecundidad	16.8
Tasa Mortalidad materna	24.5
Tasa de mortalidad infantil < 1 años	25.32
Tasa de Mortalidad General	4.29

Fuente: Centros de salud de la región, 2007.

La desnutrición crónica de niños en edad escolar es de 73% (junio, 2007), siendo por encima del doble que en la ciudad capitalina, y uno de los niveles de desnutrición más elevados del país. Según estudios, un niño con desnutrición aguda tiene 66% más de riesgo de morir por una infección respiratoria y/o intestinal. Esto explica los altos niveles de mortalidad infantil, que constituyen más del 25%; al igual, las tasas de morbilidad infantil y materna, que son elevadas, siendo estas 25 y 24 mil respectivamente.

## B. Medicina tradicional

En el área de la subcuenca se encuentran curanderos, a quienes acuden los comunitarios para la curación de sus enfermedades, aquellos les recetan plantas medicinales. Además se tiene la presencia de naturistas.

## C. Principales causas de morbilidad

Según datos proporcionados por los centros de salud, las cinco enfermedades más comunes que afectan a los niños y niñas son: resfriado común, diarreas, infecciones respiratorias y parasitismo tanto internos como externos, de estos últimos el que más afecta es la sarcoptiosis. En las mujeres embarazadas, las infecciones urinarias, presión alta o baja. Así mismo existen otros casos como la meningitis, bronconeumonía, dermatitis, conjuntivitis, avitaminosis, escabiosis y la otitis media.

Cuadro 12 Cinco primeras causas de morbilidad general por género.

Resfriado Común		Enfermedad Péptica		Neumonía		Faringo-Migdalitis		Parasitismo Intestinal	
Hombre (%)	Mujer (%)	Hombre (%)	Mujer (%)	Hombre (%)	Mujer (%)	Hombre (%)	Mujer (%)	Hombre (%)	Mujer (%)
14.85	13.19	12.57	12.49	8.51	7.64	8.22	6.93	7.58	6.24

## D. Principales causas de mortalidad

Las causantes de la mortalidad infantil según datos proporcionados por el centro de salud, son: Las infecciones intestinales con vómitos, las infecciones respiratorias agudas, el parasitismo, la desnutrición. La causante de la mortalidad de mujeres embarazadas (pre y post natal) son: hemorragia pre y post parto, infecciones post-parto, insuficiencia renal y neumonía. Las enfermedades causantes de la muerte en general son las siguientes: por vejez, intoxicación alcohólica, diabetes, asfixia, neumonía y fiebre.

Cuadro 13 Cinco primeras causas de mortalidad general por género.

Desnutrición		Enfermedad Péptica		Neumonía		Intoxicación alcohólica		Parasitismo Intestinal	
Hombre (%)	Mujer (%)	Hombre (%)	Mujer (%)	Hombre (%)	Mujer (%)	Hombre (%)	Mujer (%)	Hombre (%)	Mujer (%)
8.22	6.93	14.85	13.19	7.58	6.24	8.51	7.64	12.57	12.49

Fuente: Centros de salud de la región, 2007.

### **1.3.3 Aspectos biofísicos**

#### **1.3.3.1 Clima**

Según el sistema de clasificación climática de Thornthwaite, el área donde se localiza la subcuenca, se enmarca en un solo tipo de clima, el Templado.

#### **1.3.3.2 Temperatura**

Los valores de temperatura, fueron tomadas de la estación meteorológica El Tablón, Sololá con coordenadas 14°38'35" latitud norte y 91°08'26" longitud oeste; siendo la única estación dentro del área; registrando para un periodo de 14 años (1994-2007) una temperatura mínima de 8.5 °C, media de 14.6 °C y una máxima de 20.4 °C.

#### **1.3.3.3 Evapotranspiración**

La evapotranspiración potencial, permite estimar la pérdida de agua por efectos térmicos (físicos propiamente) y por procesos metabólicos de plantas y animales. La Evapotranspiración potencial total anual de 30.66 ml. Presentándose el valor más alto en el mes de Abril con 3.36 ml y el más bajo en los meses de octubre con 1.89 ml.

#### **1.3.3.4 Precipitación**

La precipitación pluvial en la subcuenca del río Quiscab, está determinada por la fisiografía. La precipitación pluvial anual varía entre 975 ml a 1836.8 ml, tomado para los años de 1994 a 2007, la época húmeda se presenta esencialmente de mayo a octubre.

#### **1.3.3.5 Humedad Relativa**

El promedio anual de 1994 a 2007 es de 78% según datos obtenidos de la estación meteorológica del INSIVUMEH del Tablón, Sololá.

#### **1.3.3.6 Climadiagrama**

El climadiagrama indica que de mediados de abril a inicios de noviembre hubo un superávit de agua aprovechable para cultivos del área y para aguas superficiales (afluentes del río Quiscab) porque como se aprecia en el climadiagrama la pP (precipitación pluvial) supero a la ETP (evapotranspiración potencial), en los meses de

diciembre a marzo, existió un déficit de agua, siendo esto porque existió mayor evapotranspiración potencial.

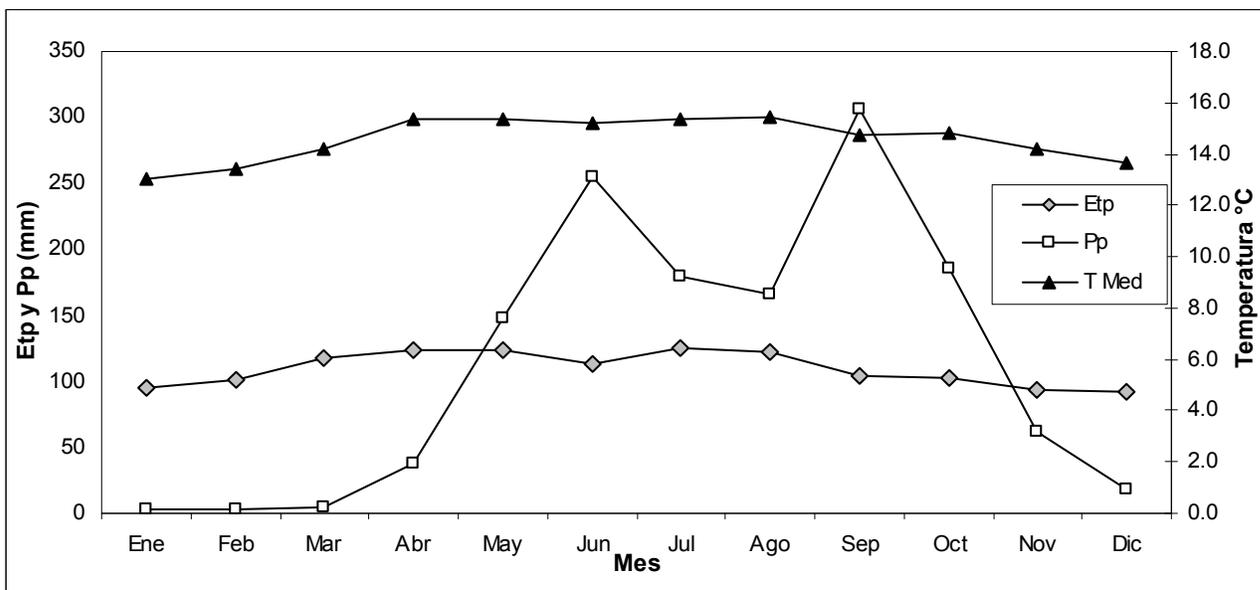


Figura 12 Climadiagrama de la estación El Tablón, Sololá durante el período de 1994 a 2007

### 1.3.3.7 Zonas de vida

En la subcuenca del río Quiscab, se ubican tres zonas de vida según el sistema de clasificación de Holdridge y modificado por De la Cruz (1982), se ubico en la parte alta de la subcuenca la zona de vida de Bosque Muy Húmedo Montano Subtropical (bmh-M) 22.49% (35.90 km<sup>2</sup>), en la parte media Bosque Muy Húmedo Montano bajo Subtropical (bmh-MB) 68.05% (108.60 km<sup>2</sup>) y en la parte baja el Bosque húmedo Montano Bajo Subtropical (bh-MB) 9.46% (15.10 km<sup>2</sup>).

Cuadro 14 Zonas de Vida de la subcuenca del río Quiscab

Símbolo	Zonas de Vida	Km. <sup>2</sup>	%
bh-MB	Bosque húmedo Montano Bajo Subtropical	15.10	9.46
bmh-MB	Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Subtropical	108.60	68.05
bmh-M	Bosque Muy Húmedo Montano Subtropical	35.90	22.49
Total		159.60	100

Fuente: Módulo de Cuencas Hidrográficas 2007, Capas digitales MAGA-Asprede, Esc: 1:250,000

### **A. Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical (bh-MB)**

La precipitación pluvial anual varía de 1,100 a 1,600 mm, con biotemperaturas medias anuales de 15 a 23 °C, y una relación de evapotranspiración potencial del 75%, esta zona de vida representa solamente el 9.46 % del área de la subcuenca (15.10 km<sup>2</sup>). Las formaciones vegetales que crecen en esta zona están conformadas por las especies: encino (*Quercus sp*), pino triste (*Pinus pseudostrobus*) y pino macho (*Pinus montezumae*), aliso (*Alnus jorullensis*), duraznillo (*Ostrya sp*), mezché (*Carpinus sp*), capulín (*Prunus capulí*) y madrón (*Arbutus xalapensis*).

### **B. Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Subtropical (bmh-MB)**

Comprende una franja alrededor del bosque muy húmedo montano y bosque húmedo Montano, se caracteriza por localizarse en elevaciones que van de los 1800 a 3000 msnm, el cual representa un 68.05% del área de la subcuenca (108.60 km<sup>2</sup>), la precipitación se estima entre los 2000 a 4000 mm anuales, con biotemperatura media anual entre los 12.5 a 18.6 °C. La vegetación natural de esta zona de vida está representada por: ciprés común (*Cupressus lusitanica*), mano de león (*Chiranthodendron pentadactylon*), pino blanco (*Pinus ayacahuite*), pino de las cumbres (*P. hartwegii*) y pino triste (*P. pseudostrobus*). Otras especies que se encuentran en la zona son: aliso (*Alnus jorullensis*), encino (*Quercus sp.*), leche amarilla (*Zinowienia sp.*) y salvia santa (*Buddleia sp.*).

### **C. Bosque Muy Húmedo Montano (bmh-M)**

El bmh-M representa un 22.49 % del área de la subcuenca (35.90 km<sup>2</sup>) en donde las especies indicadoras, son: *Abies guatemalensis*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus hartwegii*, *Pinus pseudostrobus*, *Cupressus lusitanica*, *Quercus sp*, *Bocona volcánica*, *Buddleia sp*, *Cestrum sp*, *Garya sp*, *Bacharis sp*.

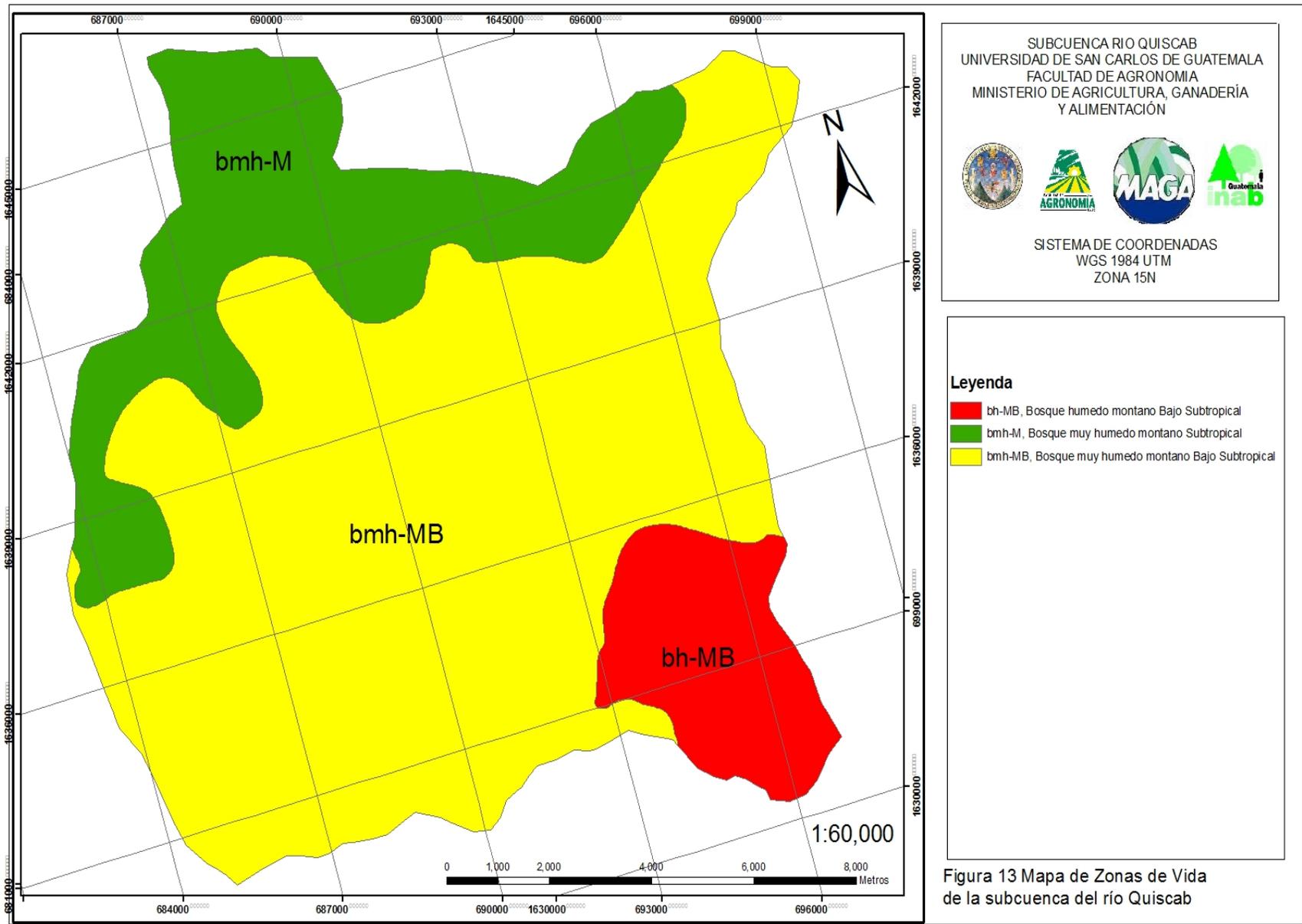


Figura 13 Mapa de zonas de Vida en la subcuenca del río Quiscab



### 1.3.4 Recurso hídrico

#### 1.3.4.1 Morfometría de la subcuenca

##### A. Aspectos lineales

##### a. Perímetro de la subcuenca

Este parámetro se calculó por medio del programa Arc Gis 9.1. Dando como resultado que el perímetro de la subcuenca del río Quiscab corresponde a 60.25 km.

##### b. Clase de corrientes

Cuadro 15 Clase de corrientes de la subcuenca del río Quiscab

Clase de corrientes	No. De corrientes
Permanentes	11
Intermitentes	42
Efímeras	52

Fuente: Elaboración Módulo de cuencas Hidrográficas 2007.

Corrientes permanentes: son los ríos Quiscab, Chuiscalera, Xibalbay, Novillero, Argueta, Xaquijya, María Tecun, Xibalbay la Cuchilla, Chuiscalera San José Chacayá, Pugualtuj y las Flores.



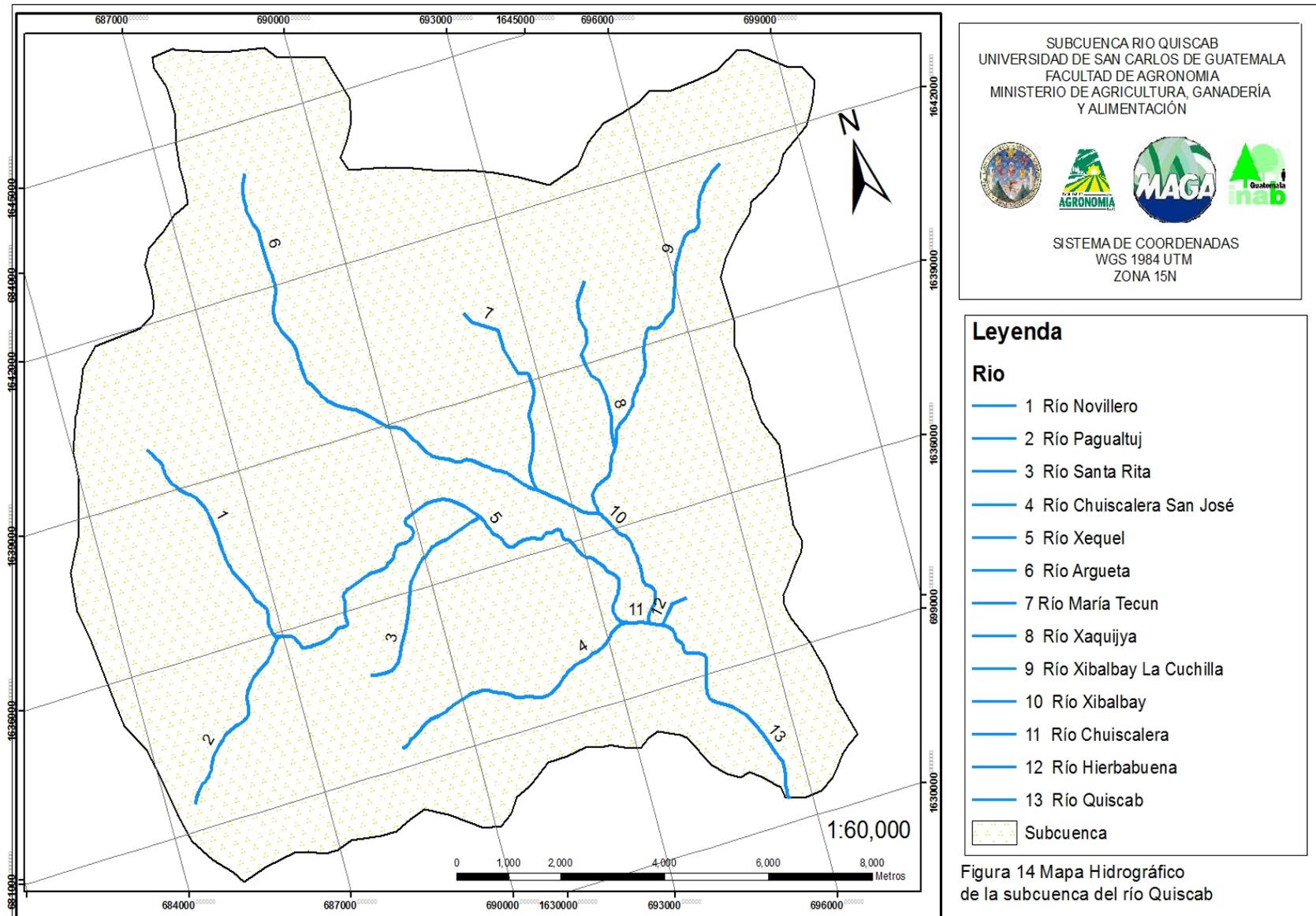


Figura 14 Red hidrográfica de la subcuenca del río Quiscab



### c. Orden de corrientes

De acuerdo al criterio del grado de concentración de la red de drenaje la subcuenca cumple con las características siguientes: 4-5 ordenes, 100 – 700 km<sup>2</sup>.

Cuadro 16 Orden de corrientes

Orden de corriente U	No. De corrientes Nu	Longitud de corrientes Lu
1	77	110
2	21	47
3	6	11
4	3	9.5
5	1	5
	Ntc =108	La = 182.5

Fuente: Modulo de cuencas Hidrográficas 2007.

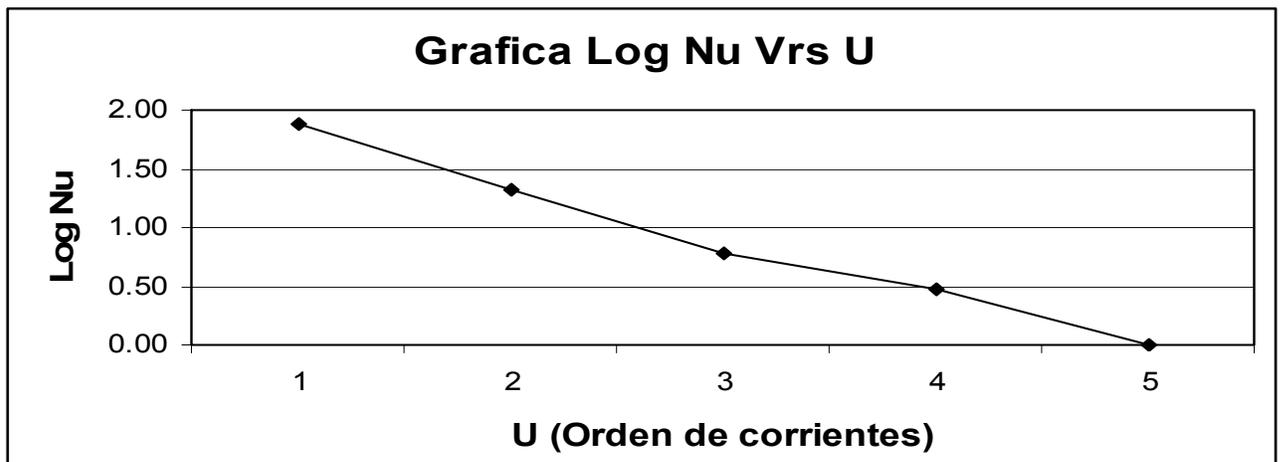


Figura 15 Gráfica Log Nu vrs. Número de corrientes.

### d. Radio de bifurcación medio (Rb)

$$Rb = \frac{Nu}{N(u+1)}$$

$$Rb_1 = 1 / 3 = 0.33$$

$$Rb_2 = 3 / 6 = 0.50$$

$$Rb_3 = 6 / 21 = 0.28$$

$$Rb_4 = 21 / 77 = 0.27$$

$$Rb = \sum Rbi / n$$

$$Rb = \frac{0.33 + 0.5 + 0.28 + 0.27}{4} = \frac{1.38}{4} = 0.345 \text{ km}$$

Este parámetro nos indica que dentro de la subcuenca existen pocas bifurcaciones de cauces, debido a que en relación al tamaño de esta los cauces son pocos.

**e. Longitud media de corrientes (Lu)**

$$Lu_1 = \frac{\sum Lu(i)}{N\bar{u}}$$

$$Lu_1 = 110 / 77 = 1.43$$

$$Lu_2 = 47 / 21 = 2.24$$

$$Lu_3 = 11 / 6 = 1.83$$

$$Lu_4 = 9.5 / 3 = 3.16$$

$$Lu_5 = 5 / 1 = 5$$

$$L\bar{u} = 182.5 / 108 = 1.67 \text{ km.}$$

Las longitudes medias de corrientes es un indicador de pendientes, dando a conocer que la subcuenca de estudio esta comprendida por corrientes con longitudes cortas que reflejan pendientes muy escarpadas.

**f. Radio de longitud medio (RL)**

$$RL = Lu / L(u-1)$$

$$L = \frac{\sum [Lu / L(u-1)]}{n}$$

$$RL_1 = 5 / 9.5 = 0.52$$

$$RL_2 = 9.5 / 11 = 0.86$$

$$RL_3 = 11 / 47 = 0.23$$

$$RL_4 = 47 / 110 = 0.43$$

$$RL = \frac{(0.52+0.86+0.23+0.43)}{4} = 0.51 \text{ km}$$

El radio de longitud medio indica que las corrientes son cortas, por lo tanto el área de influencia de estas corrientes serán cortas.

**g. Lc (longitud cause principal)**

$$Lc = 17.75 \text{ km.}$$

#### h. Longitud acumulada de corrientes (La)

$$La = 182.5 \text{ km.}$$

### B. Aspectos de superficie

#### a. Área de la subcuenca

$$Ak = 159.60 \text{ km}^2 \text{ (15,960 ha)}$$

#### b. Forma de la subcuenca

- Relación de forma

$$Rf = Ak / Lc^2$$

$$Rf = \frac{159.60 \text{ km}^2}{(17.75 \text{ km}^2)} = 0.51$$

De acuerdo a este coeficiente de relación la subcuenca corresponde a una forma ovalada, indicando que tiene buen grado de retención de la precipitación, sin embargo es conveniente comparar este con la infiltración del suelo.

- Relación circular

$$Rc = Ak / Ac$$

$$Rc = \frac{159.66 \text{ Km}^2}{288.87 \text{ km}^2} = 0.553$$

Este factor indica que la forma de la subcuenca respecto a la forma circular se asemeja solamente en un 55 %.

- Radio de elongación

$$Re = Dc / Lc$$

$$Dc = \sqrt{4Ak/\pi}$$

$$Dc = \sqrt{4 (159.60 \text{ Km}^2) / \pi} = 14.258$$

$$Re = \frac{14.258}{17.75} = 0.803$$

Este factor indica que la subcuenca es de forma elongada en un 80 %.

**c. Densidad de drenaje**

$$D = L_a / A_k$$

$$D = \frac{182.50 \text{ Km}}{159.60 \text{ Km}^2} = 1.143 \text{ Km/ Km}^2$$

El área es pobremente drenada con respuesta hidrológica muy lenta, con suelos resistentes a la erosión, con alta permeabilidad.

**d. Frecuencia o densidad de corrientes (Fc)**

$$F_c = \frac{N_{tc}}{A_k}$$

$$F_c = \frac{108}{159.60 \text{ km}^2} = 0.676 \text{ cauces/km}^2$$

Este factor indica que dentro de la subcuenca hay menos de una corriente por  $\text{km}^2$ , lo que muestra que el área tiene una baja eficiencia de drenaje.

**C. Aspectos de relieve****a. Pendiente media de la subcuenca (Sc)**

Método de Alvord

$$S_c = \frac{d * L_{tc}}{A_k}$$

$$S_c = \frac{0.1 \text{ Km.} * 509.044 \text{ Km.} * 100}{159.66} = 32 \%$$

La pendiente media de la subcuenca presenta un relieve pronunciado en un 32%.

**b. Pendiente del canal o cauce principal Scp**

Método analítico

$$S_{cp} = \frac{\Delta H}{L_c} * 100 \%$$

$$S_{cp} = \frac{3300 - 1580 \text{ m}}{17,750 \text{ Km}} * 100 \% = 10 \%$$

Este factor indica que el relieve del cauce principal es suave, por lo que disminuye la velocidad de la corriente.

### c. Elevación media de la subcuenca ( $E_m$ ) – Método de las intersecciones

Cuadro 17 Elevación media de la cuenca

Elevación (m)	Numero de intersecciones
1600	5
1700	9
1800	9
1900	11
2000	13
2100	15
2200	20
2300	92
2400	105
2500	70
2600	72
2700	74
2800	47
2900	33
3000	25
3100	21
3200	12
3300	5
Total	638

Fuente: Modulo de Cuencas Hidrograficas 2007.

$$E_m = [(1600*5) + (1700*9) + (1800*9) + (1900*11) + (2000*13) + (2100*15) + (2200*20) + (2300*92) + (2400*105) + (2500*70) + (2600*72) + (2700*74) + (2800*47) + (2900*33) + (3000*25) + (3100*21) + (3200*12) + (3300*5)] / 638 = \mathbf{2,523.20\ m}$$

La elevación media de la subcuenca es de 2523.20 msnm, lo que indica que tiene un bajo grado de madurez, por ser una cuenca joven. También influye en que hay poca perdida por evaporación debido a su elevación.

**d. Coeficiente de relieve (Rh)**

$$Rh = \frac{\Delta h}{1000 * Ltc} =$$

$$Rh = \frac{1720 \text{ m}}{1000 * 509.044} = 3.37 * 10^{-3}$$

Este coeficiente es bajo lo cual indica que la subcuenca es joven, por lo que se encuentra en un proceso de formación.

**e. Coeficiente de robustez (Rr)**

$$Rr = \frac{\Delta h * D}{1000}$$

$$Rr = \frac{1720 \text{ m} * 100 \text{ m}}{1000} = 172 \text{ m}^2$$

### 1.3.4.2 Agua superficial

#### A. Hidrografía

La subcuenca cuenta solamente con los afluentes: Quiscab, Chuiscalera, Novillero, Pagualtuj, Argueta, María Tecun, Xaquijya, Xibalbay, Xibalbay la Cuchilla, Chuiscalera San José Chacayá, y las Flores; siendo pocos en comparación al área de la subcuenca que es 159.60 km<sup>2</sup>, lo que indica una baja red drenajes.

#### B. Calidad química

Para determinar la calidad química del agua superficial, se observaron los ríos de los cuales el uso más importante es el riego, detectándose para el área sur-este de la subcuenca a las comunidades de Chuaxic, Chuiquel, Xibalay, El Jaibal y la Ilusión Chuiquel; del Municipio de Sololá y para las comunidades Los Tablones, Parromero, Chomanzana y Las Minas del municipio de San José Chacayá, la principal fuente abastecedora es el río Quiscab alimentado por el río Chuiscalera. En la parte Nor-oeste el río que abastece la necesidad de riego es el río Novillero el cual abarca la mayoría de poblados del municipio de Santa Lucía Utatlán y los poblados de Chirijcaja, Pacoxom, San Lázaro, Santa Rita, Xeabaj del municipio de Nahuala. El análisis realizado se detalla de la siguiente manera:

Cuadro 18 Análisis calidad química de agua superficial.

Ident	pH	μS/m C.E.	Meq/litro				Ppm				RAS	Clase
			Ca	Mg	Na	K	Cu	Zn	Fe	Mn		
Río Chuaxic	7.4	97	0.50	0.21	0.12	0.072	0.00	0.00	0.30	0.10	0.20	C1S1
Río Chuiquel	7.2	225	1.37	0.45	0.12	0.13	0.00	0.00	0.20	0.10	0.12	C1S1
Río Xibalbay	7.2	121	0.7	0.24	0.57	0.061	0.00	0.00	0.00	0.00	0.82	C1S1

Fuente: Laboratorio Salvador Castillo Orellana

Este análisis se realizó en el laboratorio de suelo-planta-agua “Salvador Castillo Orellana”, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Sub-área de manejo de suelo y agua. De acuerdo a los resultados obtenidos de la muestra de agua de los tres ríos, según las normas USDA en base a la conductividad eléctrica y la relación de absorción de sodio esta se encuentra en la clase C1S1, la cual indica que es apta para riego agrícola, por lo tanto el uso que se le da es apropiado. Sin embargo en los ríos

Chuaxix y Chuikel se encuentran pequeñas cantidades de hierro, siendo su origen, fuentes antropogénicas como basura doméstica.

### **C. Fuentes de contaminación**

En la subcuenca la mayor contaminación del agua superficial se debe a los siguientes factores:

- Mal manejo de desechos sólidos y líquidos: se presenta principalmente en las cabeceras municipales de San José Chacayá y Santa Lucía Uatlán, Sololá y Nahuala. En San José Chacayá, no se cuenta con un basurero formal; en Santa Lucía Uatlán, la contaminación se presenta en todo el municipio, en los últimos años se ha observado aumento debido a que los habitantes entierran la basura o la queman.
- Falta de drenajes: en la cabecera de San José Chacayá se cuenta con drenaje de aguas servidas, pero son pocas las que pasan por tratamiento final siendo estas: de la Escuela Urbana Mixta, Instituto Básico por Cooperativa y la Municipalidad que cuentan con fosas sépticas; en Santa Lucía Uatlán, solamente la cabecera municipal cuenta con drenajes pero sin planta de tratamiento.
- Actividades diarias: en cuanto a la higiene personal en las comunidades tanto Santa Lucía Uatlán, San José Chacayá, Sololá y Nahuala, la eliminación de excretas la mayoría de viviendas cuenta con letrinas de pozo ciego, aunque la mayoría no son adecuadas, para bañarse utilizan baldes donde acumulan agua pero no cuentan con drenaje para que el agua servida sea drenada, además no se cuenta con lavaderos comunales, por tal razón la mayoría lava en los ríos, en nacimientos o en los hogares pero no utilizan un sistema de drenaje.
- Aplicación de productos químicos en el campo agrícola: las comunidades que influyen en el área son de vocación agrícola, por lo que utilizan buena cantidad de productos químicos, sin embargo la mayor contaminación se da por los desechos que estos producen, siendo líquidos o sólidos estos son los más significativos.



Figura 16 Determinación visual de las fuentes de contaminación.

En la figura 16, se pueden apreciar las fuentes de contaminación que se localizan en la subcuenca del río Quiscab y entre estas se encuentran la contaminación por efecto de las agua servidas, desechos sólidos dirigidos a fuentes de agua y la contaminación de desechos orgánicos e inorgánicos que se producen en los lugares donde existe mayor densidad poblacional, como: La cabecera municipal de Sololá, Aldea Argueta, Los Encuentros, La Concordia y Cooperativa Yaxón.

#### **D. Uso actual del agua**

- Agrícola: para riego por aspersión, se utiliza alrededor de 1 lps/ha. El agua superficial es utilizada con fines de riego para las comunidades Las Minas, Los Tablones, Parromero, Chomanzana del municipio de San José Chacayá, 19 comunidades de los cantones Chuchexic y Pahaj, de las 47 comunidades que constituyen Santa Lucia Uatlán y Chuachic, Chuiquel, El Jaibal y la Ilusión Chuiquel del municipio de Sololá, mientras la

parte de Nahuala es colectora de agua de lluvia y la extensión de esta que se encuentra en la subcuenca no posee cultivos agrícolas.

- Actividades diarias: Lavado de ropa, higiene personal, riego de plantas (Flores), lavado de automóviles, etc.

### **1.3.4.3 Agua subterránea**

#### **A. Tipos de acuíferos**

En el área se cuenta con acuíferos libres, ya que en el área existen únicamente 1011 pozos, por lo tanto el abastecimiento que los habitantes utilizan es el agua de manantiales o de nacimientos que son fuentes subterráneas.

#### **B. Producción**

Durante la fase de campo no se observaron pozos, sin embargo según el censo nacional XI de población y VI de habitación en el municipio de Sololá existen 401 pozos, en San José Chacayá existe 1 pozo, en Santa Lucía Utatlán existen 320 pozos, en Nahuala existen 289 pozos y en Totonicapán existen 607 pozos.

#### **C. Usos**

El agua subterránea de manantiales es utilizada para el consumo humano. Estos en su mayoría se encuentran ubicados cercanos a lugares donde se realizan actividades agrícolas.

#### **D. Calidad bacteriológica**

Este análisis se realizó en el Laboratorio Microbiológico de Referencia –LAMIR-, de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Los resultados se presentan en el cuadro 19.

Cuadro 19 Análisis de calidad bacteriológica de agua subterránea.

Procedencia	Parámetro	Resultado	COGUANOR
Aldea Chuaxic Municipio San José Chacayá Departamento Sololá	Recuento heterotrófico en placa de bacterias	< 10 UFC/ml	Hasta 500 UFC/ml
	Estimado de coliformes totales*	5 NMP/100 ml	< 2 NMP/100 ml
	Estimado de coliformes fecales*	5 NMP/100 ml	< 2 NMP/100 ml
Aldea Chikel Municipio Santa Lucía Utatlán Departamento Sololá	Recuento heterotrófico en placa de bacterias	50 UFC/ml	Hasta 500 UFC/ml
	Estimado de coliformes totales*	49 NMP/100 ml	< 2 NMP/100 ml
	Estimado de coliformes fecales*	49 NMP/100 ml	< 2 NMP/100 ml
La Cuchilla, Los Encuentros, Sololá	Recuento heterotrófico en placa de bacterias	< 10 UFC/ml	Hasta 500 UFC/ml
	Estimado de coliformes totales*	< 2 NMP/100 ml	< 2 NMP/100 ml
	Estimado de coliformes fecales*	< 2 NMP/100 ml	< 2 NMP/100 ml
Caserío Argueta, Sololá	Recuento heterotrófico en placa de bacterias	380 UFC/ml	Hasta 500 UFC/ml
	Estimado de coliformes totales*	17 NMP/100 ml	< 2 NMP/100 ml
	Estimado de coliformes fecales*	< 2 NMP/100 ml	< 2 NMP/100 ml
Aldea Panimajá, Nahualá, Sololá	Recuento heterotrófico en placa de bacterias	< 10 UFC/ml	Hasta 500 UFC/ml
	Estimado de coliformes totales*	23 NMP/100 ml	< 2 NMP/100 ml
	Estimado de coliformes fecales*	23 NMP/100 ml	< 2 NMP/100 ml

Fuente: Laboratorio Microbiológico de Referencia –LAMIR-

UFC = unidades formadoras

ml = mililitro

NMP = número más probable

\* Los resultados de coliformes fecales y totales esta basado en el análisis de 100 ml de muestra.

De acuerdo a los resultados del análisis microbiológico, las muestras de agua de la Aldea Chuaxic, Aldea Chuikel, Caserío Argueta, Sololá y la otra muestra de agua de la Aldea Panimajá, Nahualá, Sololá, no cumplen con la Norma COGUANOR 29001.98 para agua potable. La muestra de agua tomada en La Cuchilla, Los Encuentros es la única que si cumple con la Norma COGUANOR 29001.98 para agua potable.

La hipótesis de este resultado es que la contaminación de fuentes subterráneas, es por basureros clandestinos, uso de letrinas o baños ciegos. Estas actividades contaminan las fuentes subterráneas, debido a que esta agua se encuentra en forma libre siendo susceptibles a la contaminación.

### **1.3.5 Suelos y tierras**

#### **1.3.5.1 Geología**

En la parte media de la subcuenca, en un área de 81.92 kms<sup>2</sup> encontramos predominantemente roca tipo ígnea y metamórfica del periodo cuaternario, tendientes a formar rellenos y cubiertas gruesas de cenizas pómez de origen diverso (Qp).

En la parte alta y baja media en un área de 76.96 kms<sup>2</sup>, encontramos predominancia de rocas ígneas y metamórficas del periodo terciario. Son rocas volcánicas sin dividir, predominantemente del Mio-Plioceno, incluye tobas, coladas de lava, material lahárico y sedimentos volcánicos (Tv).

Hacia la parte final en la desembocadura del cauce principal, en un área bastante reducida (0.78kms<sup>2</sup>) observamos rocas esencialmente sedimentarias, provenientes de aluviones cuaternarios (Qa).

#### **1.3.5.2 Taxonomía de suelos**

En cuanto a la taxonomía de suelos encontramos el suborden Udands que ocupa un área 107.43 kms<sup>2</sup> dentro de la subcuenca, Ustands ocupa 45.00 kms<sup>2</sup> y Orthents 7.17 kms<sup>2</sup>.

Udands (Dd), presenta propiedades andicas, un régimen de humedad Udico, una fertilidad regular a alta, la presencia de humedad es bastante adecuada, alta presencia de materiales minerales, una regular a alta saturación de bases, contenido de materia orgánica medio – alto y su principales limitantes radican en una alta retención de fosfatos y presencia de erodabilidad.

El suborden Ustands (Ds), al igual que Udands presenta propiedades andicas, varia en su régimen de humedad ya que este posee un régimen Ustico, su fertilidad de regular a alta, esencialmente formado por materiales minerales, alta saturación de bases, regular a alto contenido de materia orgánica y posee factores limitantes tales como una deficiencia de humedad y la alta retención de fosfatos.

El suborden Orthents (Eo), posee una fertilidad bastante baja, esencialmente constituido por materiales minerales, una saturación de bases muy variable, contenido de materia orgánica bastante bajo y sus principales limitantes la constituyen la pedregosidad y la escasa o nula profundidad.

En la subcuenca del río Quiscab se ubicaron 3 series de sub órdenes taxonómicos de suelos, como se muestra en el cuadro 20.

Cuadro 20 Taxonomía de suelos presentes en la subcuenca del río Quiscab

<b>Símbolo</b>	<b>Sub Orden</b>	<b>Km.<sup>2</sup></b>	<b>%</b>
Dd	Udands	107.43	67.32
Ds	Ustands	45.00	28.19
Eo	Orthents	7.17	4.49
<b>Totales</b>		<b>159.60</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Capas digitales MAGA-Asprede, Esc: 1:250,000



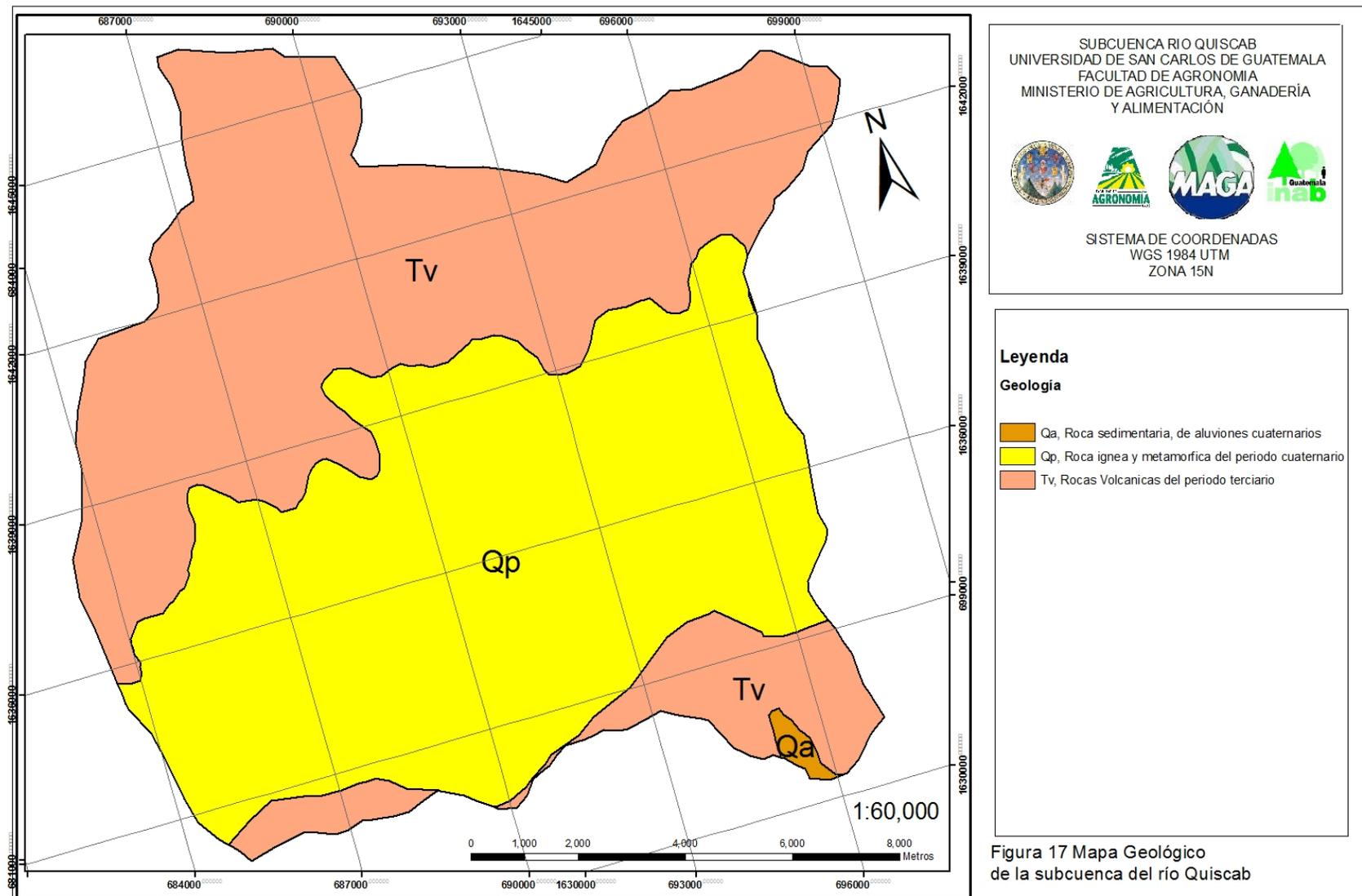


Figura 17 Mapa geológico de la subcuenca del río Quiscab



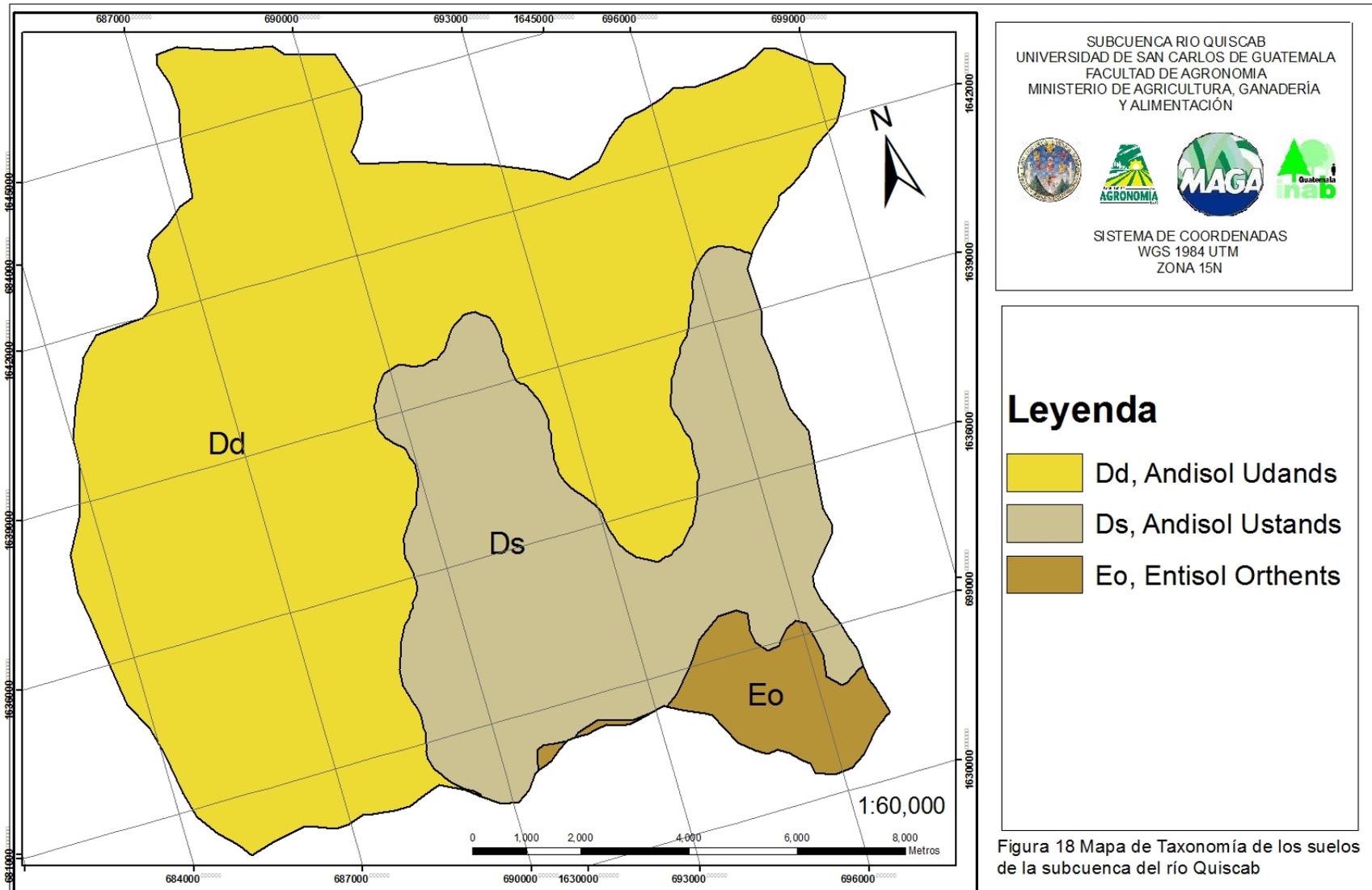


Figura 18 Mapa de taxonomía de suelos presentes en la subcuenca del río Quiscab



### **1.3.5.3 Fisiografía**

#### **A. División Fisiográfica – geomorfológico**

##### **a. Región Fisiográfica Tierras Altas Volcánicas**

En Guatemala, ha existido actividad volcánica desde el Paleozoico, la que se intensificó durante el Terciario. En esta región, las erupciones de todo tipo de grietas lanzaron cantidades de material –principalmente basalto y riocitas- que cubrieron las formaciones de tierras preexistentes, desarrolladas sobre el basamento cristalino y sedimentario que se encuentra hacia el norte. La formación de esta región volcánica fue seguida por fallas causadas por la tensión local, la cuál quebró y movió el material de la superficie como, por ejemplo, el valle hendido (graben) en que está localizada la ciudad de Guatemala.

Varias cuencas de esta región han sido llenadas parcialmente o cubiertas con pómez cuaternaria, lo que proporciona un paisaje muy contrastante con las áreas volcánicas escabrosas que las rodean. Los valles en los que se localizan las ciudades de San Marcos, Quetzaltenango, Sololá, Chimaltenango y la ciudad de Guatemala, son ejemplos de lo anterior y han sido centros de asentamiento cultural indígena. La laguna de Ayarza que es una caldera y el volcán de Ipala con su pequeño lago en su cráter, ofrecen formas de la tierra adicionales en contraste a los basaltos quebrados masivos y cortados, que evidencian aún más el origen volcánico de la región.

##### **i. Sub. Región Zona Montañosa Occidental (Tacana-Tecpan)**

Se localiza esta unidad fisiográfica desde la línea fronteriza con México, en el norte de los Departamentos de Quezaltenango y San Marcos, hasta el Este en los Departamentos de Totonicapán, Sololá, y Chimaltenango, y al sur del Departamento de Quiché

Representa el relieve más alto de Guatemala con alturas de 1,000 a 4,000 msnm. Es un ambiente volcánico por excelencia. El drenaje superficial se observa del tipo dendrítico, subdendrítico, paralelo, subparalelo, trellis y trenzado. Los principales materiales geológicos son rocas volcánicas, lavas, brechas, conglomerados y cenizas volcánicas; coladas de lava, lapilli, andecitas, basaltos, materiales piroclásticas, sedimentos aluviales. En este ambiente hay geoformas del Plioceno, Pleistoceno, Holoceno; Terciario Superior, Cuaternario Tardío y Cuaternario.

- **Gran Paisaje: Montañas volcánicas altas de Occidente**

**Ubicación y localización:** Se localiza en el entorno del poblado de Tacaná y se extiende hacia el Este y al Sur del municipio de El Quetzal en el Departamento de San Marcos, Quetzaltenango y Totonicapán.

**Morfografía:** La unidad está formada por un relieve accidentado propio de las coladas de lava, de forma escarpada (pendientes  $\square$  50%), con alturas superiores a los 3,000 msnm, correspondiendo a algunos cerros a antiguos conos volcánicos que se extendieron de Oeste a Este en el país, siendo esto evidente por la forma cónica. El patrón de drenaje es dendrítico, siendo los espacios ínter fluvial angosto. Se presenta una divisoria de aguas central con dirección de Este a Oeste.

**Tipo de roca:** Las principales rocas son tipo andesítico-basáltico y basaltos. En algunos lugares la cubierta superior es ceniza, pero en su mayor parte hay lava y lapilli.

**Morfogénesis:** El origen y forma de esta unidad se debe a la actividad volcánica del Terciario superior (Mioceno-Plioceno). La erosión casi no ha tenido que ver con el modelado de la forma.

**Morfocronología:** La edad considerada para esta unidad es del Terciario superior (Plioceno).

- **Gran Paisaje: Caldera del Lago de Atitlán**

**Ubicación y localización:** Se encuentra en el Departamento de Sololá, incluyendo los volcanes de San Pedro y Tolimán.

**Morfografía:** La unidad muestra un borde semicircular. De paredes escarpadas hacia el norte, con una altura de 500 metros sobre el espejo de agua del lago de Atitlán, con pendientes mayores al 40%. Hacia el sur, el borde se interrumpe por el cono del volcán Atitlán, con una elevación de 3,537 msnm, con mayor altitud que los volcanes Tolimán con 3,158 msnm y San Pedro con 2,995 msnm. La caldera tiene un diámetro de

aproximadamente 18 km, y un 50%, le corresponde al espejo de agua. Esta cuenca es producto del colapso volcánico y es abastecida por los ríos que se ubican principalmente al Norte de Sololá. El lago se cree que drena de forma subterránea hacia el Sur.

**Tipo de roca:** Las rocas que forman el borde Norte son lavas andesíticas y riolíticas del Terciario, mientras que en la parte Sur los conos volcánicos están formados por lavas recientes existiendo una cubierta de cenizas volcánicas.

**Morfogénesis:** Esta unidad es el producto de la explosión de un antiguo volcán en el lugar que hoy ocupa el lago de Atitlán; por la salida de una gran cantidad de productos principalmente ácidos, se vació la cámara magmática y dio como resultado el colapso del antiguo volcán. La fuerte actividad volcánica post-caldera construyó al Sur los conos de San Pedro, Tolimán y Atitlán, apoyados en la estructura de la caldera que ya se había formado con depósitos de cenizas, lavas, lapilli y lahares, sobre el relieve erosionado antiguo. En los últimos episodios se dio una colmatación de la caldera en la parte Norte convirtiéndose ulteriormente en un lago. La colmatación se realizó por efectos de relleno de los materiales de erupción o deslizados de los flancos de los volcanes hacia el Norte. El modelado actual es producto de los efectos de la erosión y algunos procesos de erupción del suelo, soliflucción laminar y desprendimientos en masa principalmente del lado Sur.

**Morfocronología:** La caldera posiblemente se formó a finales del Terciario, en el Plioceno y los conos volcánicos en el Cuaternario antiguo (Pleistoceno).

- **Gran Paisaje: Relleno Piroclástico alrededor de la Caldera de Atitlán**

**Ubicación y localización:** La unidad se extiende desde Nahualá en Sololá hacia el Este hasta llegar a San Martín Jilotepéquez en Chimaltenango.

**Morfografía:** Su forma es irregular, las pendientes son de 3 a 18%, siendo las mayores pendientes las que se presentan en las laderas de los ríos, donde han sido erosionados los rellenos piroclásticos. En esta unidad es donde se asientan varios de los poblados de Occidente del país: Nahualá, Tecpán Guatemala, Patzun, Patzicía, Santa Cruz Balanyá,

Comalapa y San Martín Jilotepeque. Los ríos que cortan esta unidad presentan un patrón de drenaje subdendrítico y subparalelo debido al grado de fallamiento orientado de NE-SO y NO-SE.

**Tipo de roca:** La unidad esta compuesta por piroclastos de pómez tipo lapilli. Con espesores de hasta 200 m.

**Morfogénesis:** Su origen esta en la caída de grandes volúmenes piroclásticos de pómez y fragmentos de rocas volcánicas arrojadas por el colapso ocasionado por la explosión de la caldera del lago de Atitlán, principalmente hacia el Norte, los que rellenaron valles antiguos de rocas volcánicas terciarias.

**Morfocronología:** Esta unidad se considerada del Período Cuaternario. De acuerdo al análisis fisiográfico geomorfológico, se formuló la leyenda fisiográfica, de la subcuenca del río Quiscab, y se presenta a continuación:

Cuadro 21 Leyenda fisiográfica de la subcuenca del río Quiscab

Región Fisiográfica	Zonas de Vida	Gran Paisaje	Paisaje	Sub-Paisaje	Elementos del paisaje
<b>Tierras Altas Volcánicas</b>	Bosque Muy Húmedo Montano Subtropical	Montañas Volcánicas Altas de Occidente(alta)	Montañas altas de la sub cuenca del río Quiscab	Región Montañosa Este	Escarpe alto del cerro Maria Tecún
					Deposiciones intercolinares del río Argueta
				Región Montañosa Oeste	Escarpes Altos del río Parracana
					Escarpes Altos del Cerro Tzampual
					Altiplanicie degradada
					Aluviones Medios del río Quiscab Chuiscalera
	Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Subtropical	Relleno Piroclástico alrededor de la Caldera de Atitlán	Depósitos aluviales y piroclásticos medios	Aluviones Medios del río Quiscab Chuiscalera	Aluvión medio del río Pamacha
					Escarpes aluviales del Cerro san Marcos
					Aluviones del río Chuiscalera
				Aluviones Medios del río Xibalbay	Escarpes medios del río Xibalbay
					Aluviones medios de el Tablón
					Deposiciones Aluviales del río Xibalbay
Bosque Húmedo Montano bajo Subtropical	Caldera del Lago de Atitlan	Abanico aluvial del río Quiscab	Deposiciones aluviales del río Quiscab	Escarpes Aluviales del Chuchexic	
				Escarpes aluviales de San Jorge La Laguna	
				Playa aluvial del río Quiscab	

Fuente: Modulo de Cuencas Hidrograficas 2007.

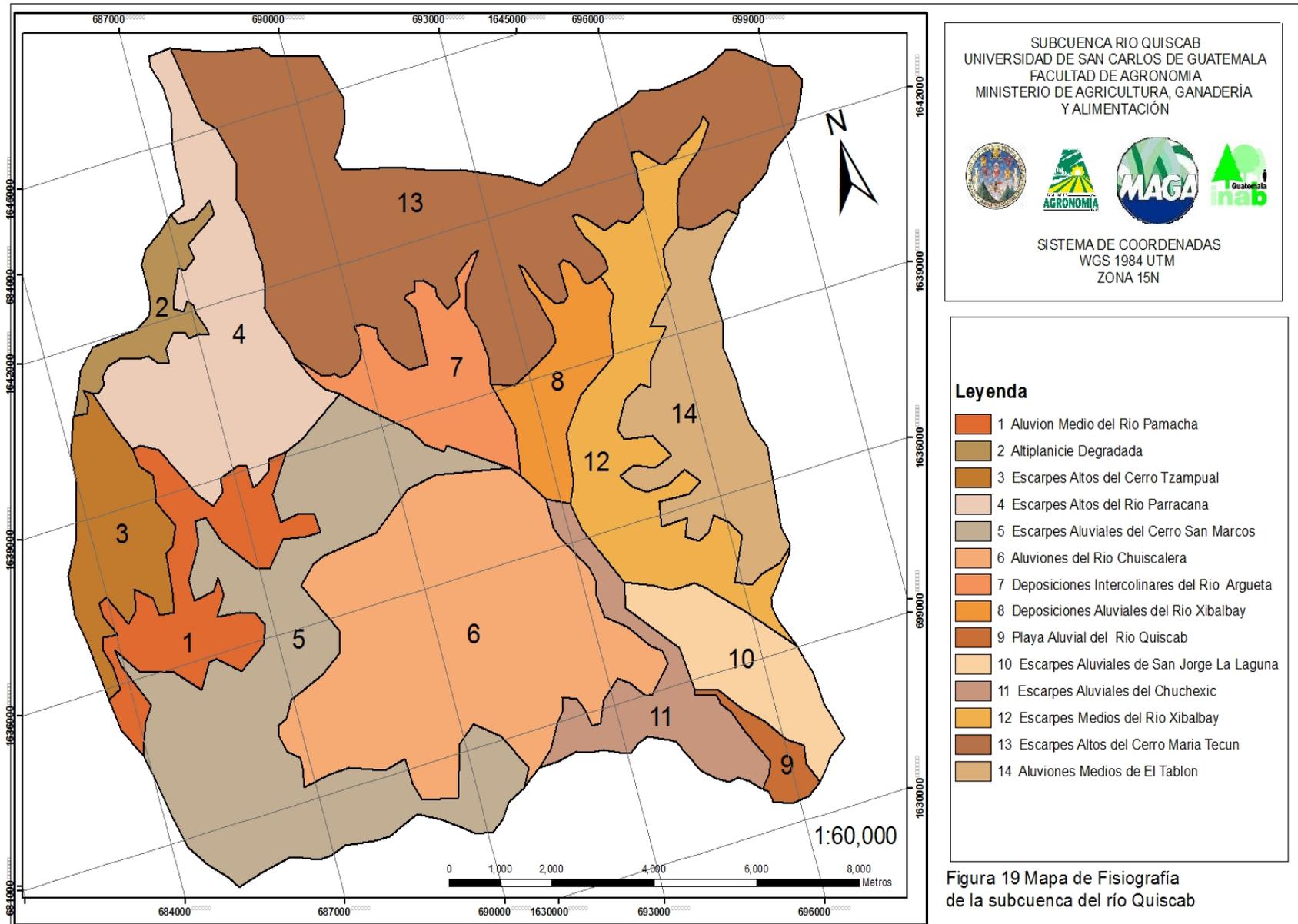


Figura 19 Mapa de fisiografía de la subcuenca río Quiscab



### 1.3.5.4 Características físicas de los suelos

Cuadro 22 Características físicas de los suelos de la subcuenca del río Quiscab

Ubicación	Taxonomía	% materia Orgánica	Clase textural	PMP % vol	CC % vol	Saturación % vol	Agua disponible cm/cm	Conductividad	
								Hidráulica saturada mm/hr	Hidráulica g/cm <sup>3</sup>
Cultivo Chuiquel	Ustands	2.93	Franca	17.9	29.2	42.4	0.11	5.76	1.53
Bosque Xaquijya	Udands	5.33	Franca	11.5	26.8	58.4	0.15	78.59	1.10
Cultivo San Antonio	Ustands	3.33	Franca	19.1	32.0	46.9	0.13	8.26	1.41
Bosque Chuaxic	Orthents	8.12	Franco arenoso	17.1	31.6	31.3	0.14	61.5	1.03
Bosque San Cristóbal	Udands	5.59	Franco arenoso	11.7	26.8	58.8	0.15	80.91	1.09
Bosque la Esperanza	Udands	4.39	Franco arenoso	11.9	22.9	48	0.11	38.74	1.38

Como se logra observar en el cuadro 22, el análisis de suelo nos da indica que en la subcuenca hay predominancia de suelos francos, con materia orgánica que va de 2.93 a 8.12%, en los cuales los suelos que presentan el menor porcentaje de materia orgánica son las áreas de cultivos. Y los puntos de marchites permanente los valores altos son ubicados en los cultivos.

### 1.3.5.5 Capacidad de uso de la tierra

Cuadro 23 Capacidad de uso de la tierra de la subcuenca del río Quiscab

Capacidad de Uso	Símbolo	Área Km <sup>2</sup>	%
Agricultura sin limitaciones	A	35.57	22.28
Agricultura sin limitaciones/ agricultura con mejoras	A / Am	2.53	1.59
Agricultura con mejoras / Agroforestería con cultivos anuales	Am/Aa	17.28	10.83
Agroforestería con cultivos permanentes / Forestal de Producción	Ap/F	9.40	5.89
Forestal de Producción / Forestal de Protección	F/Fp	17.61	11.03
Forestal de Protección	Fp	40.92	25.64
Sistema silvopastoriles / Agroforestería con cultivos permanentes	Ss/Ap	34.92	21.88
Improductivas		1.37	0.86
Total		159.60	100

Se observa una clara predominancia de capacidad de uso de tierras de índole forestal (40.92 y 34.92 km<sup>2</sup> cuadrados) lo cual nos explica significativamente la vocación del área, debido a los usos actuales el área posee un 25.96 % de sobreuso, requiriendo claramente la necesidad de un ordenamiento territorial.

Como se puede apreciar la subcuenca es de vocación forestal que representa más del 50 % y en su mayoría es de uso para bosques de protección que se encuentran en las partes más altas de la subcuenca, ya que son bosques comunales de las comunidades La

Esperanza, Panimajà, La Concordia y Barreneché. Las zonas agrícolas predominantes son Chuaxic, El Tablón, Yaxón, Chiuquel, San José Chacayá y en entre otros; las zonas silvopastoriles y agroforestales se encuentran en su mayoría en las comunidades de El Novillero, La Esperanza, Santa Lucía Uatlán y el Cantón Chuchexic y la zona improductiva que es la playa aluvial que se encuentra en la desembocadura del la subcuenca del río Quiscab.

### 1.3.5.6 Uso actual

Cuadro 24 Principales usos de la tierra dentro de la subcuenca del río Quiscab.

Tipo de uso	Área (km <sup>2</sup> )	%
Agricultura anual (maíz y frijol)	37.72	23.63
Hortalizas de clima templado	12.42	7.78
Bosque de coníferas	39.68	24.86
Bosque mixto	21.00	13.16
Café	1.48	0.93
Áreas degradadas	2.30	1.44
Playa aluvial	1.00	0.63
Poblados rurales	44.00	27.57
Total	159.60	100.00

Fuente: Fotografías aéreas MAGA 2006

La zona de mayor porcentaje de uso en la subcuenca es la de las poblaciones rurales que representan un 27.57 % mientras que para el uso agrícola en su mayoría es de los cultivos de maíz y frijol ocupando un 23.63 %; los cultivos de hortalizas y café ocupan un 12.42 % y 1.48 % respectivamente, el área ocupada de bosques de coníferas es de 24.86 % y los bosques mixtos es de 13.16 %.

De acuerdo al uso del suelo se puede notar que existe un aumento en el crecimiento demográfico, este fenómeno produce el cambio de uso de los suelos a zonas habitacionales, en su mayoría en zonas de riesgo como las partes altas.

Dentro de la subcuenca existe bastante actividad agrícola, siendo un porcentaje menor al del uso de bosque, en los últimos años la cobertura boscosa ha disminuido principalmente para su uso como fuente energética y en la industria como la carpintería. Dentro de la subcuenca han existido alteraciones biofísicas, causadas por el mal manejo de los

recursos naturales, lo cual se ha intensificado con los fenómenos naturales, estos fenómenos han provocado el cambio en el uso de los suelos.

### 1.3.5.7 Intensidad de uso

Cuadro 25 Clasificación de los usos de la tierra dentro de la subcuenca del río Quiscab

<b>Intensidad de uso</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
Playa aluvial	0.47	0.29
Sobreuso	41.44	25.96
Supuso	0.00	0.00
Poblados	44.57	27.94
Uso a capacidad	73.12	45.81
<b>Total</b>	<b>159.60</b>	<b>100.00</b>

Dentro de la subcuenca los suelos en su mayoría (45.81 %), se encuentra bajo un uso correcto, debido a que se localiza dentro de un área protegida, también porque las comunidades que se ubican en las partes con área boscosa, se han organizado para proteger sus recurso, principalmente el recurso bosque.

El alto crecimiento demográfico ha tenido como consecuencias el sobre uso de los suelos, principalmente en las áreas medias y bajas de la subcuenca; debido a la necesidad de áreas para cultivar, dentro de la subcuenca no existen áreas en subuso, sino áreas de sobreuso. La subcuenca se encuentra en estado de uso a capacidad, principalmente por la cantidad de área boscosa protegida y parte de la producción que es utilizada en la misma se encuentra en un área adecuada en cuanto a sus características edafo-climáticas.



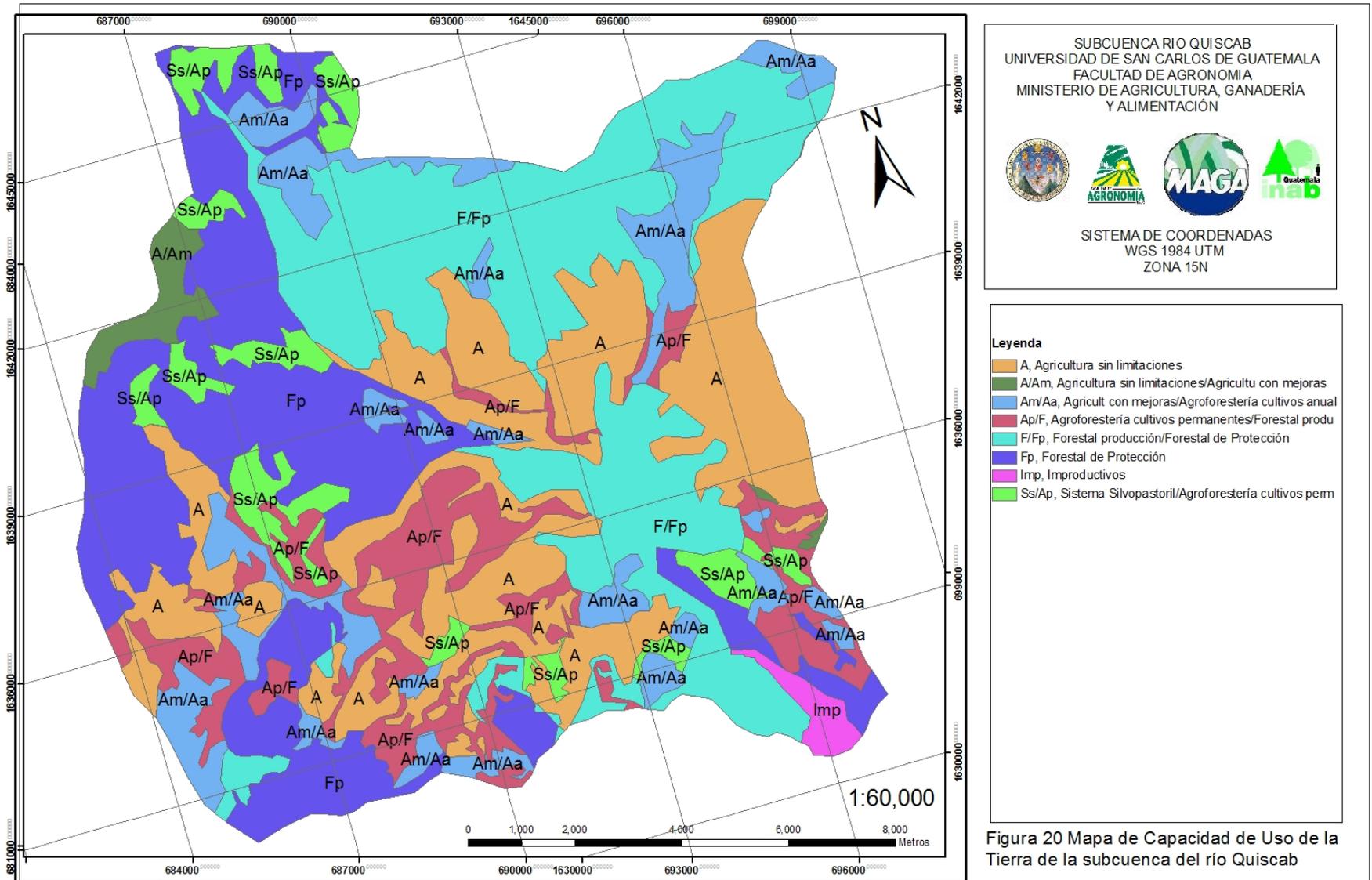


Figura 20 Mapa de capacidad uso de la tierra de la subcuenca del río Quiscab



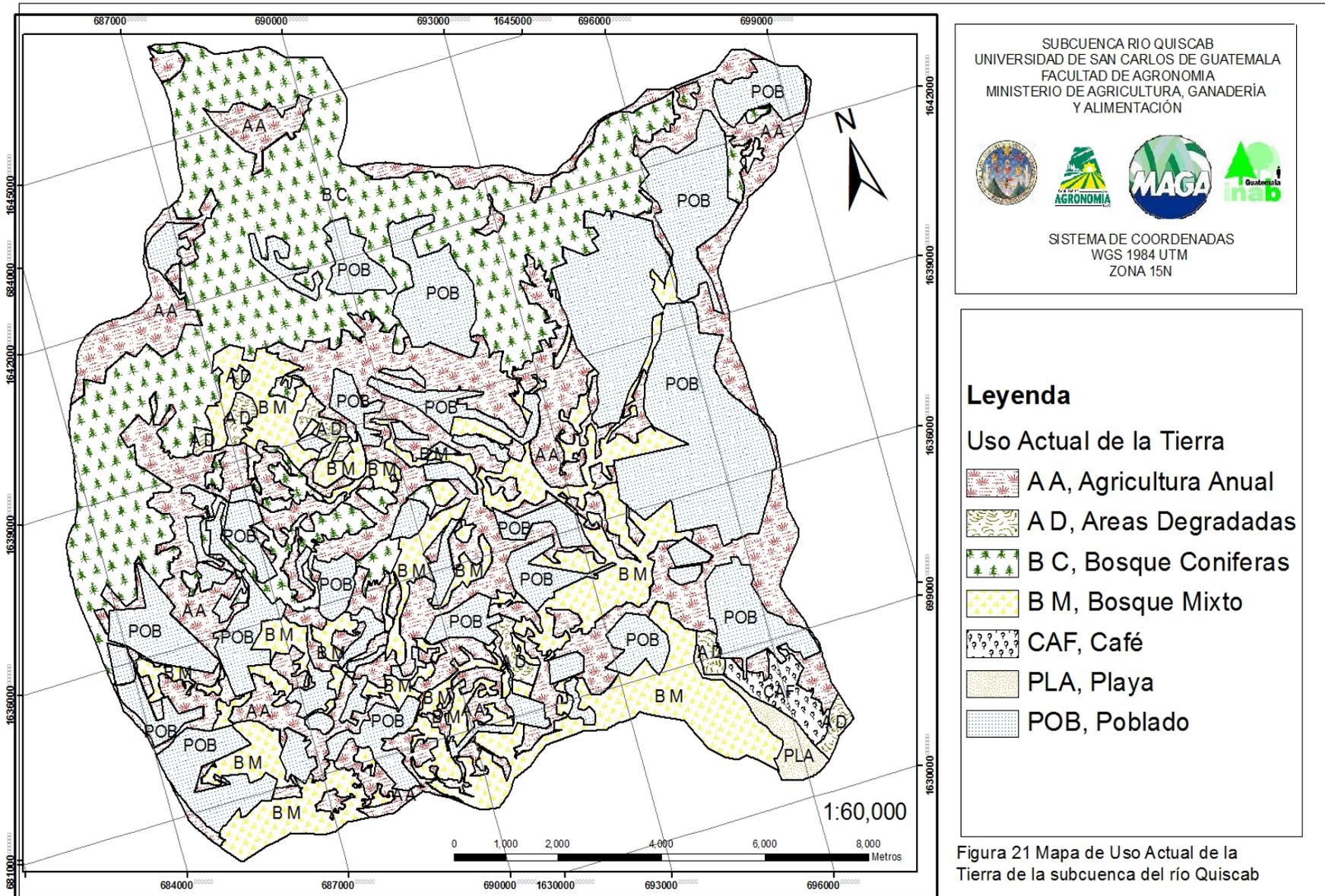


Figura 21 Mapa de uso actual de la tierra (2007) en la subcuenca del río Quiscab.



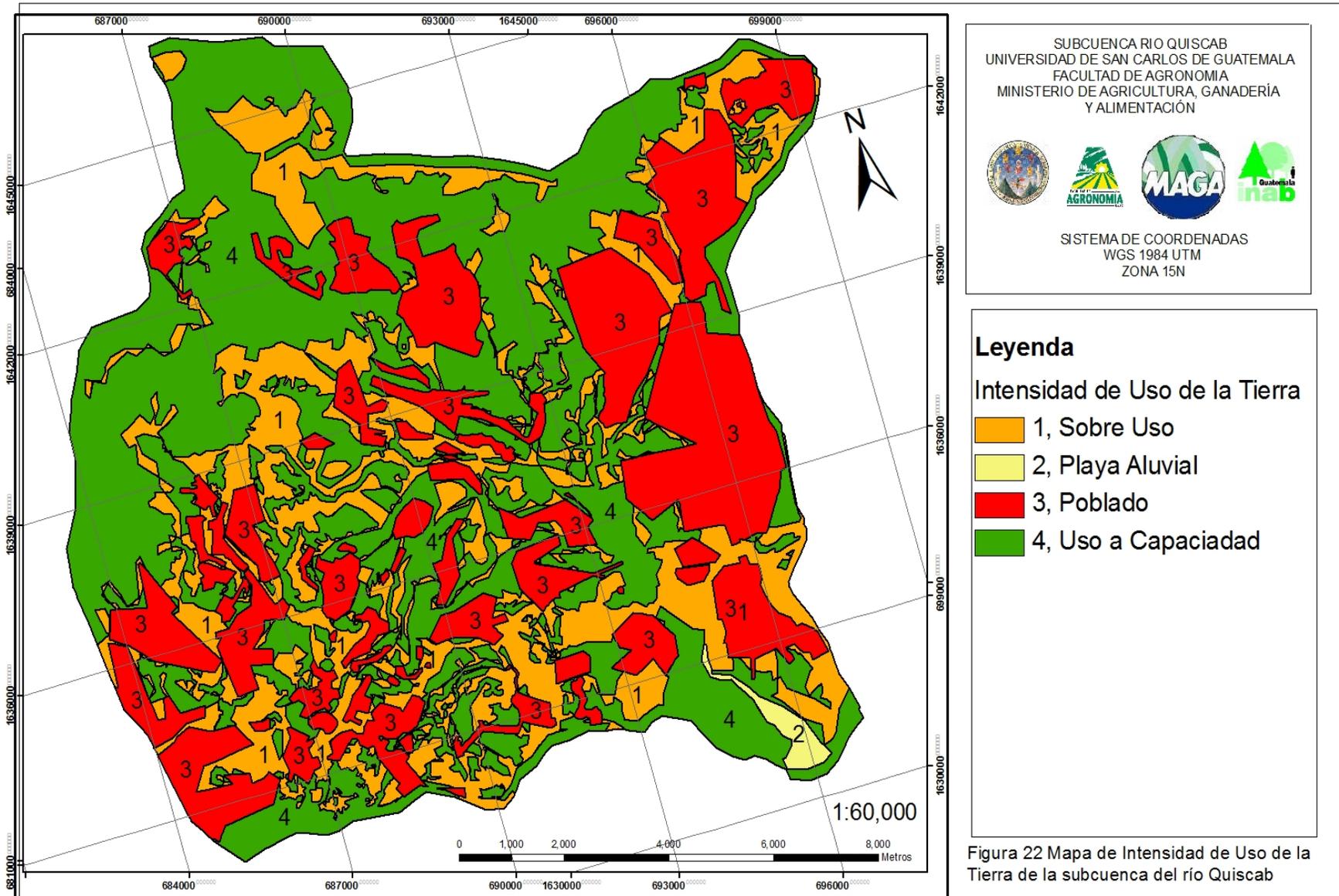


Figura 22 Mapa de intensidad de uso de la tierra de la subcuenca del río Quiscab



### 1.3.6 Cobertura y vegetación del suelo

#### 1.3.6.1 Cobertura vegetal

El uso de la tierra que posee mayor extensión es la agricultura, con 50.14 km<sup>2</sup> (31.42%). En esta actividad sobresale por su extensión los cultivos de temporada, localizados en la parte norte entre Concepción, el Tablón y río Xibalbay; entre Argueta y la Concordia; también son importantes los cultivos tales como hortalizas y ornamentales.

El área de bosque representa 60.68 km<sup>2</sup> (38.02%). El tipo de bosque que predomina por su extensión es el latifoliado mixto y de coníferas. El bosque de coníferas predomina en la parte norte de la subcuenca hacia María Tecún y el bosque mixto también predomina en la parte norte. Las áreas urbanas representan 44.00 km<sup>2</sup> (27.57%).

#### 1.3.6.2 Clasificación de las áreas boscosas

Los bosques naturales en esta región cubren un área bastante reducida, los cuales se localizan en bloques aislados uno del otro. El área de mayor cobertura forestal se localiza en la parte alta. La mayoría de los bosques han desaparecido, dando lugar al desarrollo de agricultura en terrenos con capacidad forestal.

Sin embargo, se puede distinguir áreas que aún conservan bosque de las cuales las más importantes son: cumbre de María Tecún, cerro de San Marcos y áreas aledañas. Estos bosques tienen un número reducido de especies arbóreas en donde predomina el género *Pinus sp*, y las *Fagaceas* del género *Quercus sp*, en una forma menos frecuente y formando masas espaciadas se encuentran las *Cupressaceas* cuya única especie es *Cupressus lusitanica*. También se pueden encontrar otras familias tales como *Ulmaceae*, *Lauraceae*, *Ericaceae*, *Clethraceae*, *Solanaceae*, *Rubiaceae* y *Compositae*.

Los bosques situados en esta zona son quizás los más importantes si se les enfoca desde el punto de vista económico forestal. Están constituidos especialmente por tres especies de Pino: *Pinus pseudostrobus*, *Pinus ayacahuite* y *Pinus oocarpa*. El primero es la especie que presenta una mayor distribución en el área. Las zonas de vida para este pino son el Bosque muy Húmedo Montano Subtropical y el Bosque Húmedo Montano bajo

Subtropical; en la primera zona se encuentra mezclado con *Abies guatemalensis* y *Cupressus lusitanica* y en la segunda zona con *Pinus oocarpa*. El *Pinus ayacahuite* habita grandes alturas (2,300 a 3,200 msnm) y se encuentra confinado a áreas bastante frías donde se mezcla con pinabete (*Abies guatemalensis*). Este tipo de bosque es característico del área de la cumbre de María Tecún.

Los bosques que se encuentran en la cumbre María Tecún, del Desconsuelo y áreas cercanas, son considerados como meros relictos de lo que en otra época fueron uno de los bosques majestuosos de Guatemala. En estos se alcanzan alturas superiores a los 3,000 msnm, por lo que la vegetación está caracterizada por especies adaptadas a alturas elevadas y a un clima de baja temperaturas, particulares del Bosque muy Húmedo Montano Subtropical. La cobertura forestal en esta zona está bastante afectada por la extracción de madera para aserrío y el pastoreo de ovejas, encontrándose en ciertas áreas árboles aislados y en otras, áreas con pequeños bosquetes.

En las partes más altas las especies más comunes son *Pinus ayacahuite* o pino curtidor, siendo este la especie dominante, los encinos como *Quercus acatenanguensis*, son bastantes abundantes. Otras especies que se pueden encontrar son laurel del olor *Litsea guatemalensis*, huelle de noche *Cestrum spp.* El bosque denso se concentra en las partes más altas del cerro, donde el terreno es bastante accidentado formando barrancos profundos y desfiladeros con pendientes muy pronunciadas. Este está rodeado por rodales bastantes intervenidos. En las partes más altas existe un bosque mixto en el que predominan las especies latifoliadas. En esta área se localiza la zona de vida Bosque muy Húmedo Montano bajo Subtropical, caracterizado por su alto grado de humedad durante todo el año, favoreciendo la existencia de gran número de plantas epífitas tales como orquídeas y tillandsias. Aquí se pueden encontrar especies como *Pinus ayacahuite* y *Pinus pseudostrobus* entremezclados con encinos *Quercus sp.* e ilamo *Alnus jurullensis*. En la parte más bajas crecen especies latifoliadas características de un bosque más seco, de las que se pueden mencionar el canac *Chirantodendrom pendadactylon*, especie en peligro de extinción e indicadora del Bosque muy Húmedo Montano Bajo, madrón *Arbutus xalapensis*, cerezos como *Prunus spp.*

El lo que respecta a la cobertura forestal de la subcuenca del río Quiscab, la parte alta que se localiza en el Nor-Oeste, la pendiente es mayor de 45%, en los que en su mayoría son bosques comunales, los cuales son administrados por las diferentes comunidades o caseríos que se localizan dentro del área. Estos bosques cuentan con guarda recursos, los cuales velan por la sanidad del bosque, extracción de madera y leña. Ubicado en su mayoría en la parte central del área, constituido principalmente por cinco especies forestales (*Pinus oocarpa*, *Pinus ayacahuite*, *Abies guatemalensis*, *Quercus sp.* y *Alnus sp.*) y con aproximadamente unas 77 especies herbáceas que componen el sotobosque.

### 1.3.6.3 Tipos de cobertura forestal

En la subcuenca del río Quiscab, existen cinco diferentes tipos de cobertura boscosa, los cuales son:

- a. Bosque ralo de pino,
- b. Bosque denso de pino,
- c. Bosque denso de pino con pinabete y
- d. Bosque ralo latifoliado con pino.

Por otro lado también se puede mencionar el área agrícola y el área urbana.

#### A. Bosque ralo de pino

Se caracteriza por tener una densidad de alrededor de 150 árboles/ha de *Pinus ayacahuite* con un contacto entre copas casi nulo, con árboles desde 0.10 a 0.30 m. de diámetro a la altura del pecho (DAP). De manera general podría decirse que este rodal corresponde a una etapa de desarrollo madura (C3) en la que se pueden extraer productos maderables como troza de diámetros menores y leña. En este estrato el 100% de la población arbórea es mayor de los 15 años. El estado fitosanitario del rodal en la actualidad se logró registrar presencia de gorgojo (*Dendroctonus*) en el que se pueden observar grumos, este no ha llegado a afectar más por la baja densidad y por no ser muy amplia las extensiones boscosas.

#### B. Bosque denso de pino

Se caracteriza por una alta densidad de árboles, con gran contacto entre copas, con árboles desde 0.37 a 0.94 m. de diámetro a la altura del pecho (DAP) con una densidad de

700 árboles/ ha. Este rodal se encuentra en una etapa de desarrollo C4, lo cual indica que son árboles maduros de los cuales se pueden extraer productos maderables como trozas y leña. La edad de los árboles es mayor de 40 años presentando alturas promedio de 20 m. El estado fitosanitario de este estrato es de características similares al anterior. Es importante mencionar que en este estratos se pueden encontrar especies de *Pinus ayacahuite* en la parte mas baja del rodal y *Pinus oocarpa* en la parte más alta del mismo.

### **C. Bosque denso de pino con pinabete**

La densidad es de 340 árboles/ha de los cuales el 74% son de *Pinus oocarpa* y el 26 % de *Abies guatemalensis* Rehder, también en el estrato se pueden encontrar árboles con diámetros a la altura del pecho que van desde los 0.34 a 0.85 m. El estrato también se encuentra en una clase de desarrollo C4 lo que indica que es un rodal maduro con árboles mayores a los 40 años. En este estrato se encuentran tres focos de gorgojo, los cuales ya presentan los síntomas comunes de esta plaga (árboles muertos, amarillo-café y verdes con grumos). Además cuenta con diez nacimientos de agua.

### **D. Bosque latifoliado con pino**

Este rodal se caracteriza por poseer una densidad de 200 árboles/ha de los cuales un 40% pertenece a la especie *Pinus oocarpa* y un 60% a especies latifoliadas como: *Quercus sp.* y *Alnus*. También en el estrato se pueden encontrar diámetros desde 0.20 a 0.60 m. a la altura del pecho, presenta un buen estado fitosanitario y también se encuentra en una clase de desarrollo C4.

#### **1.3.6.4 Inventario forestal**

Para la determinación de las existencias forestales se levantaron parcelas de dimensión variable, donde se determinó que en promedio existen en cuanto área basal 20 m<sup>2</sup>/ha encontrando variaciones de 15 m<sup>2</sup>/ha a 25 m<sup>2</sup>/ha, en algunos lugares el mal aprovechamiento de los ecosistemas forestales ubica áreas con un amplio estado de fragmentación.

Este se llevó a cabo por medio del relascopio simple, el cual es de dimensión variable, por lo que las mediciones que se llevaron a cabo brindan el área basal en metros cuadrados por hectárea. Para determinar el volumen aproximado de madera presente en la región, el valor dado se multiplica por la altura, y se logra el volumen en metros cúbicos. El inventario se realizó en tres puntos diferentes, los cuales fueron tomados al azar. Las parcelas de dimensión variable fueron realizadas en Caserío La Esperanza, Totoncapán, Cooperativa Xaquijya, Caserío Yaxón, Sololá, y en el caserío Panimaja, Nahulá, Sololá.

**A. Parcela uno: Caserío La Esperanza, Totoncapán.**

Coordenadas UTM:

Latitud: 1640672.

Longitud: 0689975.

Altitud: 2450 msnm

Se logró determinar un área basal de 20 m<sup>2</sup>/ha y una altura promedio de 21 m, se utilizó un factor de corrección de 0.5, lo que nos brinda un total de 210 m<sup>3</sup>/ha.

**B. Parcela dos: Cooperativa Xaquijya, Aldea el Tablón, Sololá.**

Coordenadas UTM:

Latitud: 1640249

Longitud: 0695415

Altitud: 2405 msnm.

Se calculó un área basal de 12 m<sup>2</sup>/ha, el cual es un bosque joven, con diámetros menores a los 0.25 m, presenta una altura promedio de 18 m, y un total de 108 m<sup>3</sup> de madera.

**C. Parcela tres: Caserío Panimaja, Nahuala, Sololá.**

Coordenadas UTM:

Latitud: 1640440

Longitud: 0688356

Altitud: 2393 msnm.

Los datos de referencia son del poblado ya que no se logro obtener las coordenadas en el área boscosa donde se realizó el inventario, por la falta de señal de satélite. Es un bosque maduro, el cual cuanta con un área basal de 25 m<sup>2</sup>/ha y una altura promedio de 23 m, y un total de 287.50 m<sup>3</sup>/ha de madera aprovechable.

Las parcelas uno y tres presentan los diámetros y alturas más homogéneas, esto se debe a que son bosques comunales los cuales se les brinda protección, por los comités que en estas comunidades están confirmadas, la protección es de mucha importancia para ellos el cual les brinda protección a los manantiales de agua.

### 1.3.7 Fauna

#### 1.3.7.1 Mamíferos

Cuadro 26 Mamíferos presentes en la subcuenca del río Quiscab.

Nombre común	Nombre científico
Conejo de monte	<i>Sylvilagus sp.</i>
Gato de monte	<i>Lynx rufus</i>
Ratón	<i>Mus musculus</i>
Tepezcuintle	<i>Agouti paca (linnaeus, 1756)</i>
Armadillo	<i>Dasyus novemcinctus</i>
Tigrillo	<i>Felis wiedii</i>
Murciélago	<i>Diphylla ecaudata</i>
Taltuza	<i>Thomomys umbrinus</i>
Perros domésticos	<i>Canis familiares</i>
Coyote	<i>Canis latrans</i>
Ardilla gris	<i>Sciurus aureogaster</i>
Comadreja	<i>Mustela frenata</i>
Mapache	<i>Procyon lotor</i>
Puercoespín	<i>Erethizon dorsatum</i>
Zorrillos	<i>Mephitis mephitis</i>

Fuente: Comisión Nacional de Áreas Protegidas.

El puma (*Felis concolor*), con mayor capacidad de adaptación que el jaguar, tiene más posibilidades de supervivencia que éste. En las mismas condiciones se encuentra el ocelote (*Felis pardalis*), el venado (*Odocoileus virginianus*), el cabrito (*Mazama americana*) y el coche de monte (*Tayasu tajacu*), aún mantienen poblaciones capaces de sobrevivir si se mantiene su hábitat y control sobre su caza.

### 1.3.7.2 Aves

Cuadro 27 Aves presentes en la subcuenca del río Quiscab.

Nombre común	Nombre científico
Corolita	<i>Penelopina purpuracens</i>
cayaya o chachalaca negra	<i>Penelopina nigra</i>
pajuil o faisán Crax	
Quetzal	<i>Pharomacrus mocinno</i>
paloma morada	<i>Columba flavirostris</i>
la garceta verde	<i>Butorides virescens</i>

Fuente: Comisión Nacional de Áreas Protegidas.

Existe una alta variabilidad de aves en la subcuenca, debido a que el área es un corredor biológico natural dentro de estas tenemos: *Tinamidae*, *Podicipedidae*, *Accipitridae*, *Falconidae*, *Cracidae*, *Phasianidae*, *Psittacidae*, *Strigidae*, *Trochilidae*, *Trogonidae*, *Ramphastidae*, *Tyrannidae*, *Turdidae*, *Emberizidae*, *Thraupidae*.

Estado actual de algunas poblaciones importantes de fauna en la región:

- Chachalaca negra o cayaya (*Penelopina nigra*): su hábitat se localiza entre los 900 y 2,300 msnm. La dificultad de acceso a las áreas donde habita, con profundos barrancos, han favorecido la existencia de importantes poblaciones.
- El Quetzal (*Pharomacrus mocinno*): está presente pero es rara, localizada en ciertos puntos; su población se mantiene estable aunque está fuertemente amenazada por el alto grado de deforestación de los habitats naturales

### 1.3.7.3 Insectos

Cuadro 28 Insectos que se encuentran en la subcuenca río Quiscab.

Nombre científico	Localidad
<i>Diplotaxis angustula</i>	Panajachel
<i>Diplotaxis brevopilosa</i>	Panajachel
<i>Diplotaxis puncticollis</i>	Panajachel
<i>Diplotaxis angustula</i>	Panajachel
<i>Chrysina quetzalcoatli</i>	Panajachel
<i>Ptichopus angulatus</i>	Concepción
<i>Publius agassizi</i>	Sololá
<i>Spurius bicornis</i>	Sololá
<i>Passalinae Vindex</i>	Finca Santa Victoria
<i>Cyclocephala weidneri</i>	Finca Santa Victoria
<i>Cyclocephala weidneri</i>	Finca Santa Victoria
<i>Chrysina moroni</i>	Churrunel Central
<i>Phyllophaga obsoleta</i>	Churrunel Central
<i>Passalidae, Proculus sp.</i>	Aserradero, Finca Santa Victoria

Fuente: Comisión Nacional de Áreas Protegidas.

### 1.3.7.4 Peces

En 1958 se identificaron 12 especies de peces y 1 de cangrejo, habiendo observado y calculado sus abundancias a lo largo de la zona marginal de aguas poco profundas.

Cuadro 29 Especies de peces que se pueden encontrar en el lago de Atitlán

Familia	Nombre científico
<i>Cyprinidae</i>	<i>Cyprinus carpio</i>
<i>Cyprinodontidae</i>	<i>Profundulus punctatus</i>
<i>Cyprinodontidae</i>	<i>P. guatemalensis</i>
<i>Poeciliidae</i>	<i>Poecilia sphenops</i>
<i>Poeciliidae</i>	<i>Poeciliopsis gracilis</i>
<i>Cichlidae</i>	<i>Archocentrus nigrofasciatum</i>
<i>Cichlidae</i>	<i>Archocentrus spilurum</i>
<i>Cichlidae</i>	<i>Nandopsis trimaculatum</i>
<i>Cichlidae</i>	<i>Astheteras macracanthus</i>
<i>Cichlidae</i>	<i>Theraps godmani</i>
<i>Cichlidae</i>	<i>Aureochromis mossambica</i> *
<i>Centrarchidae</i>	<i>Micropterus salmoides</i>
<i>Centrarchidae</i>	<i>M. dolomieu</i> *
<i>Centrarchidae</i>	<i>Lepomis macrochirus</i>
<i>Characidae</i>	<i>Pomoxis nigromaculatum</i>
<i>Characidae</i>	<i>Astyanax fasciatus</i> ^

Fuente: Comisión Nacional de Áreas Protegidas.

### **1.3.7.5 Herpetofauna**

Dentro del área, arriba de los 1,000 msnm, se encuentran anfibios en los bosques húmedos de varios géneros de salamandra *Pseudoeurycea sp.*, *Chiropterotriton sp.*, *Lincatriron sp.*, *Bolitoglossa sp.*, *Oedipina sp.* En los anuros se encuentran 25 especies de *Eleutherodactylus sp.*, y otros géneros como *Hyla sp.*, *Bufo sp.*, *Smilisca sp.* Entre las serpientes se pueden encontrar los géneros *Geophis sp.*, *Mastridium sp.*, *Trimetopon sp.*, *Micrurus sp.* y otras. En las montañas altas son comunes las lagartijas de los géneros *Sceloporus sp.*, *Malachiticus sp.* y *Gerrhonotus sp.* En los bosques altos se encuentran ranas de la familia *Hylidae*, que viven en los bosques tropicales húmedos y bosques nubosos del altiplano del país.

### **1.3.7.6 Distribución de las especies y usos**

La fauna existente en las comunidades aledañas al cauce del río Quiscab, son utilizadas con dos objetivos primordiales, uno de ellos es el Ecoturismo aprovechando con ello la belleza escénica que muestran los paisajes del lugar, en algunas comunidades existe la caza de subsistencia, algunos en busca de carne para alimentarse y otros buscando la piel de algunos mamíferos para su comercialización, de igual manera sucede con los peces la gran cantidad de peces que obtienen los pobladores son para subsistir ya que no tienen un mercado establecido para su comercialización.

### **1.3.8 Problemas ambientales**

#### **1.3.8.1 Deforestación**

El mal manejo de los recursos forestales está relacionado con los incendios, con grandes extensiones de bosques, en la mayoría de casos son provocados por agricultores del municipio. Con este tipo de actividades se pierde la capa cultivable del suelo. Esto trae como consecuencia la baja producción de actividades agrícolas, deslaves, poca infiltración del agua en los acuíferos subterráneos, la pérdida de gran cantidad de flora y fauna del bosque.

Uno de los factores que contribuye a la disminución de la cobertura forestal es la leña como fuente de energía para cocinar sus alimentos, en la mayoría de los hogares de los municipios.

La tendencia sobre el uso de recurso forestal, se ve acelerada por tres factores principales: en primer lugar la fuerte presión demográfica, que aumenta la necesidad no solo de tierras para cultivar si no también de madera y leña para usos domésticos, en segundo lugar el carácter extensivo de agricultura local y por ultimo la ausencia de otras actividades productivas que ofrezcan fuentes de ingreso para la población.

En el área de la subcuenca del río Quiscab específicamente en Totonicapán donde han sido conservados los bosques, pues los consideran lugares sagrados para la realización ceremonias mayas y relacionan directamente al bosque con la cantidad de agua que provienen de los manantiales de las montañas; se observó que la gran mayoría de la población se dedica a la carpintería, principalmente en la comunidad La Esperanza, que utilizaban madera de otros lugares de Sololá para no dañar sus bosque pero deforestando otras áreas.

#### **1.3.8.2 Erosión**

La erosión del suelo en la región es causada por el uso insostenible del bosque que repercute directamente en la pérdida de la capa cultivable del suelo. Debido a la pendiente de los suelos que la subcuenca posee, es un área de vocación forestal que al ser deforestada permite su explotación durante los primeros años, posteriormente a la erosión de la capa fértil, queda el subsuelo pobre en nutrientes para cultivos agrícolas y con poca o casi nula cantidad de humedad.

De hecho la misma población reconoce que tienen mucho desconocimiento no solo en cuanto al manejo forestal, si no sobre la importancia de la flora y fauna y temas ambientales en general. Esto es producto de que los habitantes no han recibido capacitación sobre el manejo de los recursos naturales. Tampoco los niños y niñas reciben en las escuelas orientación sobre la conservación del medio ambiente.

### **1.3.8.3 Contaminación del agua**

La contaminación del agua en la subcuenca de estudio es el efecto de la actividad humana debido a las diferentes actividades que realizan, entre ellas: actividades domésticas (limpieza del hogar, higiene personal, lavado de ropas, agrícolas, etc).

En todo el municipio de San José Chacayá no se cuenta con basurero formal, únicamente informales y clandestinos el 87.12 % de las viviendas tienen letrina de tipo pozo ciego, solamente la cabecera cuenta con drenaje de agua sucia pero sin tratamiento final, a excepción de la escuela Urbana Mixta, Instituto Básico por Cooperativa y la municipalidad que cuentan con fosas sépticas que desembocan en los ríos, causando contaminación de estos.

### **1.3.8.4 Contaminación atmosférica**

Debido a la quema de los bosques, la falta de drenajes en algunas comunidades, la aplicación de dosis altas de productos químicos, aplicación de fuertes cantidades de fertilizantes en los suelos, el uso masivo de la leña para la producción de alimentos en la región, la eutrofización en los ríos, y la saponificación existe una gran producción de gases volátiles como dióxido de carbono que afecta principalmente la atmósfera.

### **1.3.8.5 Desechos sólidos y líquidos**

La contaminación ambiental se da básicamente por el mal manejo de desechos generados por la población tanto líquidos (aguas servidas y restos de combustibles), y sólidos (envases de pesticidas, productos sintéticos y plásticos, latas metálicas, llantas, vidrios, baterías y otros). Esta situación es alarmante en las zonas tanto rurales como urbanas, por la multiplicación en la última década del uso de productos no biodegradables.

La iniciativa de algunos habitantes, esencialmente en el entierro de ciertos desechos y la quema de otros, están lejos de permitir la mitigación del problema. Esta contaminación se hace sentir directamente con la propagación de enfermedades gastrointestinales e infecciones respiratorias, contaminación visual, auditiva y alta producción de dióxido de carbono. Además influye en la mala calidad de las aguas, que también son afectadas por

los productos químicos de uso agrícola que son arrastrados por las lluvias hasta los ríos y riachuelos.

#### **1.3.8.6 Extinción de especies**

Las principales razones que han llevado a las diferentes poblaciones de flora y fauna a un estado crítico son:

- La deforestación para la habilitación de tierras para la agricultura o urbanización.
- La degradación de los hábitats de las poblaciones de fauna por la extracción de leña y otros productos.
- La cacería indiscriminada de algunas de las especies.
- Los incendios forestales.

La fauna de esta zona se encuentra tipificada por especies en peligro de extinción. Dentro del grupo de los mamíferos, 9 especies se encuentran incluidas dentro de los listados rojos para Guatemala, lo que representa alrededor del 35% de los mamíferos mayores que se pueden encontrar en el área.

Existen varias especies forestales endémicas que ya están perdiendo su hábitat debido al deterioro del lugar por las alteraciones naturales ocurridas en los últimos años.

## 1.4 Conclusiones

- La formulación de planes de manejo integrados dentro de la subcuenca, permitirá conocer los recursos existentes dentro del área así como el estado de los mismos y problemas de índole socioeconómico y ambiental; esto para una posterior formulación de directrices de manejo en la subcuenca, que permitan hacer un uso eficiente de los recursos así como la consecución del desarrollo ambiental y socioeconómico dentro del área.

### a. Aspectos socioeconómicos

- La población total que se encuentra localizada dentro de la subcuenca río Quiscab es de 82,699 habitantes donde 62.68% (51,833 habitantes) pertenece al municipio de Sololá, en Santa Lucía Utatlán, el 17.31% (14,312 habitantes), San José Chacayá un 4.81% (3,979 habitantes), Nahualá 6.47% (5,350 habitantes) y Totonicapán un 8.74% (7,225 habitantes). La densidad poblacional dentro de la subcuenca es de 518 hab/km<sup>2</sup> siendo una densidad media.
- En los municipios de San José Chacayá, Santa Lucía Utatlán, Nahualá y Sololá la etnia predominante es la maya ya que en cada municipio constituyen arriba del 90%, en la cual se hablan las lenguas Cakchiquel y Quiché.
- La desnutrición crónica infantil en la subcuenca del río Quiscab constituye una de las más elevadas del país siendo del 73%.
- Las cinco primeras causas de morbilidad dentro de la subcuenca río Quiscab son:
  1. Resfriado Común
  2. Enfermedad Péptica
  3. Bronconeumonía
  4. Faringe amigdalitis
  5. Parasitismo Intestinal

## **b. Aspectos biofísicos**

- Temperatura mínima de 12.9 °C, media de 14.8 °C y una máxima de 16.1 °C.
- La subcuenca del río Quiscab se ubicaron tres zonas de vida según el sistema de Clasificación de Holdrige y modificado por De la Cruz, en la parte alta de la subcuenca la zona de vida de Bosque Muy Húmedo Montano Subtropical y la parte media el Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Subtropical y la parte baja presenta una zona de vida de Bosque Húmedo Montano bajo Subtropical, en la cual precipitación pluvial anual varía entre 975 ml a 1836.8 ml, tomado para los años de 1994 a 2007, la época húmeda se presenta esencialmente de mayo a octubre.
- Las principales fuentes de contaminación del agua son las siguientes:
  1. El mal manejo de desechos sólidos y líquidos generados por la población, al realizar sus actividades diarias (higiene personal, lavado de ropa), y la contaminación de los ríos al no existir drenajes.
  2. La aplicación de productos químicos en el campo agrícola (fertilizantes, herbicidas, fungicidas, insecticidas, etc.)
  3. Los principales usos del agua en la subcuenca es a nivel agrícola tanto el agua superficial como el agua subterránea, así como para la utilización de consumo en algunas comunidades de Santa Lucia Utatlán, San José Chacayá y Sololá.
- En cuanto a la taxonomía de suelos encontramos el suborden Udands que ocupa un área 107.43 kms<sup>2</sup>, Ustands ocupa 45.0 kms<sup>2</sup> y Orthents 7.17 kms<sup>2</sup>.
- La subcuenca en su mayoría posee un uso de agricultura limpia, posee áreas boscosas en las cumbres de los paisajes montañosos, muchos de estos deforestados en sus partes medias, ocasionando con ello una erosión de suelo bastante severa. La fragmentación del bosque es bastante notable, ya que se pueden apreciar con notoriedad, la dispersión amplia de los bosques.

- Por el lado de la fauna: esta zona se encuentra tipificada por especies en peligro de extinción. Dentro del grupo de los mamíferos mayores, 9 especies se encuentran incluidas dentro de los listados rojos para Guatemala, lo que representa alrededor del 35% de los mamíferos mayores que se pueden encontrar en el área.





## CAPITULO II

### INVESTIGACIÓN

**IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA NATURAL EN LA SUBCUENCA DEL RÍO QUISCAB, CUENCA DEL LAGO DE ATITLÀN.**

**IDENTIFICATION OF NATURAL GROUNDWATER RECHARGE AREAS IN THE QUISCAB RIVER BASIN OF THE ATITLAN LAKE.**



## 2.1 Presentación

Es importante tomar en cuenta que en el país existe una alta degradación de los recursos naturales que es cada día más evidente, principalmente en las áreas rurales y pobres, esto debido a la falta de información e investigación en el área sobre el recurso agua, esto ha provocado grandes daños, en salud, económicos y ambientales en diferentes áreas, debido a la falta de información e investigación específica en el área de recursos hídricos, lo que motiva a generar información en este campo de estudio.

En esta investigación se identificaron las áreas de mayor recarga hídrica natural dentro de la subcuenca del río Quiscab, la cual es parte del proyecto, denominado Impacto Hidrológico Derivado del Uso del Suelo en Plantaciones de Coníferas en la Cuenca del Lago de Atitlán, financiado por el Ministerio de Alimentación y Ganadería (MAGA) a través del fondo competitivo de desarrollo tecnológico agroalimentario (Agrocyt) y la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala (FAUSAC). Para lograr realizar esta investigación se contó con el apoyo de Ingenieros del área de suelos de la FAUSAC, así como de personas particulares conocedoras de las diferentes áreas que se localizan dentro de la subcuenca, tomando como base el manual de recarga hídrica elaborado por los docentes de la Facultad de Agronomía, el cual está basado en investigaciones reales, y es utilizado por otras instituciones importantes del país como el Instituto Nacional de Bosques (INAB).

Además se generó información básica para la conservación y manejo de áreas críticas de recarga hídrica dentro de la subcuenca, identificando las principales áreas de recarga natural, realizando balances hídricos de los suelos. Para la obtención de resultados se realizaron tres fases, una fase de gabinete inicial que consistió en la recopilación general de información y elaboración de mapas, una fase de campo que consistió en determinar factores climáticos, suelos, relieve, estratigrafía geológica, escorrentía y cobertura (vegetal e infraestructura) y una última fase de gabinete que consistió en análisis de la información generada para determinar la recarga hídrica natural en la subcuenca del río Quiscab.

Al identificar las principales áreas de recarga hídrica se pretende dar una herramienta de aporte para la reducción del deterioro de los recursos naturales causado por el uso de la tierra, ya que se incentivarán y se promoverá el cuidado y la sostenibilidad de los recursos naturales. La alteración de uno de los recursos, bosque, suelo y agua, repercute en los demás debido a que están íntimamente relacionados, además son elementos importantes en la regulación del ciclo hidrológico, ayudan a mantener la productividad de los suelos, calidad del agua, la sostenibilidad del caudal a lo largo del año y la reducción de desastres naturales

La investigación realizada es la primera dentro del área con el enfoque de recarga hídrica, por lo que la información que se generó, es valiosa para las comunidades, autoridades municipales, ONG's y entidades del gobierno central que se localizan dentro del área, ya que conocerán el potencial que existe en el lugar para que puedan promover proyectos de desarrollo y manejo integrado de los recursos.

## 2.2 Planteamiento del problema

Actualmente en Guatemala existe un gran conflicto por el uso inadecuado de los recursos naturales, lo que repercute en la reducción del recurso hídrico, reduce la biodiversidad, los recursos forestales y el uso del suelo, así como el deterioro del paisaje.

En la subcuenca del río Quiscab, Sololá, se observa un alto deterioro de los recursos naturales, debido a que sus pobladores por la necesidad de cultivar la tierra, obtener leña, madera y la falta de un plan de manejo forestal, han deforestado parte del área y han aumentado el crecimiento de la producción agrícola a causa del alto crecimiento poblacional de la región y la existencia de minifundios. Esto produce que en la época seca, exista escasez del recurso hídrico, donde se reducen los caudales de las fuentes de agua que abastece a los pobladores dentro de la subcuenca y poblados aledaños. En época lluviosa las precipitaciones pluviales registran altas intensidades en períodos cortos y la vulnerabilidad de la subcuenca produce desastres como derrumbes, inundaciones, deslaves, enfermedades y escasez de alimentos.

Dentro de la subcuenca existen varias fuentes de recursos hídricos que abastecen de agua a los pobladores, para consumo familiar, uso agrícola y otros usos, sin embargo la falta de manejo y sostenibilidad puede afectar en un futuro a los pobladores que se benefician con estos recursos. La subcuenca del río Quiscab, pertenece a la cuenca del lago de Atitlán y como tal es un área protegida por la Comisión Nacional de Áreas Protegidas (CONAP).

## **2.3 Marco teórico**

### **2.3.1 Marco conceptual**

#### **2.3.1.1 Ciclo hidrológico**

Los recursos hídricos tienen como referencia al ciclo hidrológico, el cual consiste en la continua circulación de agua sobre nuestro planeta.

El ciclo hidrológico inicia con la evaporación del agua en los océanos transportándose hacia los continentes a través de masa móviles de aire que bajo condiciones adecuadas se condensan y forma nubes o también pueden transformarse en precipitación. La precipitación se dispersa, parte es retenida por el suelo regresando a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas. Otra porción viaja por la superficie en forma de escorrentía y una pequeña parte llega a los acuíferos en forma de agua subterránea. Por gravedad, tanto el agua superficial como la subterránea llegan en algún momento a ser parte de los océanos aunque hay pérdidas por evaporación, transpiración y escorrentía superficial y subterránea (Johnson 1975).

Según Aparicio (2001), es un ciclo que al describirlo se puede partir del punto en que el agua se evapora de los océanos (en mayor proporción) y de la superficie terrestre por efecto de la radiación solar y el viento. Este vapor se transporta y eleva por la atmósfera en forma de nubes hasta condensarse y precipitarse nuevamente a la tierra.

Custodio & Llamas (2001), menciona que, el ciclo hidrológico es un proceso continuo en el que una partícula de agua evaporada del océano, vuelve a él después de pasar por las etapas de precipitación y escorrentía superficial o subterránea. A lo largo del ciclo, existen múltiples cortos circuitos o ciclos menores. También hay que tener en cuenta que el movimiento del agua en el ciclo hidrológico se caracteriza por la irregularidad, tanto en el espacio como en el tiempo.

Las fases principales del ciclo hidrológico son:

- Evaporación.
- Formación y desplazamiento de nubes y niebla.

- Condensación del agua y precipitación en forma de lluvia, granizo, etc.
- Escorrentía superficial, sobre el suelo.
- Infiltración, en el perfil del suelo.
- Percolación a estratos más profundos.
- Flujo subterráneo y retorno a la superficie. (manantiales y pozos)
- Formación de corrientes superficiales como ríos y arroyos.
- Descarga en lagos, océanos y mares.

Los principales componentes del ciclo hidrológico dentro de una cuenca para la estimación del balance hídrico están: las precipitaciones, la escorrentía, la infiltración y la evapotranspiración.

#### **2.3.1.2 Recarga hídrica**

Recarga natural es el volumen de agua que entra en un embalse subterráneo durante un periodo de tiempo, a causa de la infiltración de las precipitaciones o de un curso de agua, lo que es equivalente a la infiltración eficaz, además se define como el proceso que implica un incremento de agua hasta la zona de saturación, donde se encuentra el nivel de las aguas subterráneas. Es decir, es la cantidad de agua adicionada a través de pozos de inyección principalmente (recarga artificial) o absorbida a través del suelo y percolada hasta llegar a un acuífero (recarga natural). Esta puede ser directa (infiltración de lluvia) y lateral (aporte de otras áreas o cuencas) (Custodio y Llamas, 2001).

Es el proceso que implica un incremento de agua en el nivel de las aguas subterráneas. Este incremento puede ser por adición de agua (irrigación, inundación, pozos o zanjas excavadas) de otras áreas (recarga artificial) o bien por la absorción de la precipitación de la lluvia (precipitación efectiva) e infiltración de los ríos influentes y lagos, que abastece a un acuífero (recarga natural). Además puede ser vertical (infiltración directa) y lateral (aporte de otras áreas o cuencas) (Herrera, 2002).

La recarga de agua en los acuíferos cuando proviene de fuentes superficiales, comprende tres pasos: infiltración del agua desde la superficie a la zona de suelo, el movimiento

descendente de agua a través de los materiales comprendidos en la zona de aireación y la emigración de parte del agua al manto freático, aumentando así las reservas subterráneas (Padilla. 2003).

Las áreas críticas de recarga hídrica natural son aquellas que por sus características específicas se consideran susceptibles a disminuir su potencial de recarga cuando se someten a un manejo contrario a su capacidad. Estas áreas deberán ser objeto de un manejo especial que permita mantener y/o mejorar sus características. La recarga hídrica es importante, como fuente de abastecimiento al manto freático, permitiendo la sostenibilidad del recurso (Fuentes 2005).

### **2.3.1.3 Acuíferos**

Es el estrato o formación geológica que permite la circulación del agua por sus poros o grietas, en donde el hombre puede aprovechar el agua en cantidades económicamente apreciables para subvenir a sus necesidades (Padilla. 2003).

Si se analiza determinadamente esta definición, (del latín agua = agua y fero = llevar), se aprecia que el agua encerrada en una formación geológica cualquiera (gravas de un río, calizas muy agrietadas, areniscas porosas) puede estar ocupado ya sea los poros o vacíos ínter granulares que presenta la misma, o bien fracturadas, diaclasas o grietas que también pueden darse (Custodio & Llamas, 2001).

Los tipos de acuíferos existentes son:

- Acuíferos libres, no confinados o freáticos: Son aquellos en los cuales existe una superficie libre de agua encerrada en los mismos y que está en contacto directo con el aire y por lo tanto, a presión atmosférica (Salguero, 2002).
- Acuíferos cautivos, confinados a presión: El agua está sometida a una cierta presión, superior a la atmosférica y ocupa la totalidad de los poros o huecos de la formación geológica que lo contiene, saturándola completamente (Salguero, 2002).
- Acuíferos semicautivos o semiconfinados: donde el muro (parte inferior) y/o techo (parte superior) que los encierra no es totalmente impermeable sino acuitado, es

decir un material que permita la filtración vertical del agua, muy lenta, que alimenta el acuífero principal en cuestión, a partir de un acuífero o masa de agua situada encima o debajo del mismo (Custodio y Llamas, 2001).

#### **2.3.1.4 Manantiales**

Son áreas dentro de la superficie donde existen descargas de agua provenientes de acuíferos, también son conocidos como los desagües por donde sale la infiltración.

El manantial es un punto o zona de la superficie del terreno en la que, de modo natural, fluye a la superficie una cantidad apreciable de agua, procedente de un acuífero o embalse subterráneo. Los manantiales son los desagües o aliviaderos por los cuales sale la infiltración o recarga que reciben los embalses subterráneos y pueden ser locales y regionales (Padilla, 2003).

Los manantiales representan descargas de aguas subterráneas que salen a la superficie del terreno, en el lugar donde el nivel de saturación del agua en el acuífero corta la superficie topográfica y se forman debido a cambios verticales u horizontales en la conductividad hidráulica de los materiales geológicos (Vargas, citado por Fuentes, 2005).

#### **2.3.1.5 Cuenca**

Una cuenca es un área de terreno, donde el agua que se precipita o se escurre converge en un mismo punto o corriente principal, donde el límite de una cuenca es conocido como parte aguas (Padilla, 2003).

Las cuencas hidrográficas son unidades morfográficas superficiales. Sus límites quedan establecidos por la divisoria geográfica principal de las aguas de las precipitaciones; también conocido como "parteaguas". El parteaguas, teóricamente, es una línea imaginaria que une los puntos de máximo valor de altura relativa entre dos laderas adyacentes pero de exposición opuesta; desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de emisión, en la zona hipsométricamente más baja. Al interior de las cuencas se pueden delimitar subcuencas o cuencas de orden inferior. Las divisorias que delimitan las

subcuencas se conocen como parteaguas secundarios (Según Medina, citado por Padilla, 2003).

### **2.3.1.6 Balance hídrico**

El balance hídrico, cuantifica la situación hidrológica de un área en un período de tiempo determinado tomando en cuenta factores como el clima, suelo, cobertura vegetal y topografía, también permite comprobar el cálculo de recarga del acuífero (Padilla, 2003).

El Balance Hidrológico, va estar determinado por:

$$\text{Entrada (E)} - \text{Salidas (S)} = \text{Cambio de Almacenamiento } (\Delta S)$$

Según Ridder, citado por García, (2005). El método de balance hídrico tiene las siguientes cuatro características:

- Puede ser estimado para cualquier subsistema del ciclo hidrológico, así como para diferente tamaño de área e intervalo de tiempo.
- Sirve para controlar, si todo el flujo y los componentes involucrados, han sido considerados cuantitativamente.
- Permite calcular los elementos desconocidos de una ecuación de balance, previendo que los otros componentes son conocidos.
- También puede ser considerado como un modelo del proceso hidrológico completo bajo estudio, esto indica que se puede usar para predecir como afectan los cambios imperantes en ciertos componentes que podrían estar sobre otros componentes del sistema o subsistema.

La recarga directa al acuífero se puede estimar y comprobar en base al balance hídrico de suelos ya que integra todos los valores en los cuales se divide la precipitación que cae sobre una determinada zona (Padilla, 2003).

El balance hídrico de suelos se define de la siguiente manera:

$$P = ETR + E_s + Ret + Rec$$

Donde:

P = Precipitación

ETR = Evapotranspiración

Es = Escorrentía superficial

Ret = Retención (vegetal y techos)

Rec = Recarga al acuífero

El balance hídrico de suelos se puede expresar en unidades de longitud (mm) y en unidades de caudal (m<sup>3</sup>/año) (Padilla, 2003).

### **2.3.1.7 Proceso de la recarga hídrica**

El agua proveniente de las precipitaciones y que alcanza la superficie de la cuenca, después de saturar los espacios vacíos; poros y/o fisuras de la superficie, y que se llenen de agua las pequeñas depresiones superficiales, da inicio a dos tipos de movimiento: uno superficial siguiendo las líneas de máximo gradiente de energía y otro a través de los espacios vacíos del suelo y subsuelo de acuerdo con el gradiente piezométrico y con la permeabilidad del medio (Muños, 1998).

El agua cuando se infiltra en la superficie terrestre y que no es retenida por la humedad se mueve hacia las corrientes subsuperficiales o se infiltra hacia el manto freático. Otra de las fuentes que alimentan la recarga hídrica son los volúmenes de agua que se almacenan sobre la superficie de una cuenca, concentrándose los corrientes de agua (Custodio & Llamas, 2001).

### **2.3.1.8 Factores que determinan la recarga hídrica**

La capacidad que tiene un acuífero de infiltrar depende de las interacciones que se pueden suscitar entre el tipo de suelo, la formación geológica existente, el tipo de vegetación, la topografía y el régimen de lluvias, principalmente, que pueden presentar interacciones para favorecer o perjudicar la recarga de un acuífero. Entre los factores que determinan la recarga hídrica encontramos:

### **2.3.1.8.1 Clima**

Según Padilla, (2003) los factores del clima que influyen en la recarga hídrica natural son precipitación, temperatura y evapotranspiración.

#### **A. Precipitación pluvial**

Uno de los componentes principales es la precipitación, es considerado como un factor esencial para la determinación de la recarga hídrica, la distribución en el tiempo y espacio es variable y está influenciada por la elevación.

Son todas las formas de humedad que caen a la tierra: llovizna, lluvia, escarcha, granizo y nieve, producto de la condensación del vapor de agua atmosférico. También existen varios tipos de precipitación entre ellos, la precipitación orográfica que resulta del ascenso del aire cuando en su camino se interponen barreras debido a la forma de la tierra (montañas), esta influencia orográfica es tan marcada en terrenos quebrados que los patrones de las tormentas tienden a parecerse a aquellos de la precipitación media anual (Herrera, 2002).

La precipitación se mide generalmente con pluviómetros, que son recipientes estandarizados en los cuales puede medirse la lámina precipitada. La precipitación también se puede estimar por medio de fotos de satélite; el color y la forma de las nubes permiten a los expertos estimar la cantidad de agua precipitada que aquellas podrían producir (Padilla, 2003).

En estudios de balance hídrico es necesario conocer la precipitación media sobre una cuenca ya que la cantidad de lluvia que cae en un sitio dado difiere de la que cae en los alrededores y para ello se puede utilizar uno de los siguientes métodos: Promedio Aritmético, Polígonos de Thiessen e Isoyetas (Herrera, 2002).

### **a. Precipitación efectiva**

La precipitación efectiva es la porción de la precipitación que puede estar disponible en la zona ocupada por la raíces de las plantas, por lo tanto, se considera como la cantidad de humedad que realmente puede ser aprovechada por las plantas (Herrera, 1995).

Desde el punto de vista de recarga a los acuíferos, la precipitación efectiva se considera como la porción de la precipitación pluvial que logra infiltrarse en el suelo y que se encuentra disponible para ser utilizada por las raíces de las plantas o para recargar al acuífero (Padilla, 2003).

La precipitación efectiva está afectada por varios factores que son útiles, como:

- a) intensidad de la precipitación,
- b) velocidad de infiltración en el suelo,
- c) cobertura vegetal y
- d) topografía.

A partir de estos factores existen diversos métodos para calcular la precipitación efectiva (Padilla, 2003).

### **b. Método Schosinsky & Losilla**

Este método fue desarrollado en Costa Rica, mediante el análisis de datos de bandas de pluviógrafos, incluyendo aspectos relacionados con la precipitación efectiva, como la cobertura vegetal, la pendiente y la velocidad de infiltración. Considerando que Costa Rica y Guatemala pertenecen al istmo centroamericano y tienen características climáticas similares, este método es el más recomendado, el cual se describirá en la metodología.

## **B. Evapotranspiración**

Monsalve citado por Fuentes (2005), define la evapotranspiración como la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y por la transpiración de las plantas. El mismo autor define evapotranspiración potencial y real de la siguiente manera:

- a. Evapotranspiración potencial: pérdida de agua observada en una superficie líquida o sólida saturada, por evaporación y transpiración de las plantas, que ocurriría en el caso que hubiera un adecuado abastecimiento de humedad de agua al suelo en todo momento.
- b. Evapotranspiración real: pérdida de agua observada en una superficie líquida o sólida saturada, en las condiciones reinantes atmosféricas y de humedad del suelo, por fenómenos de evaporación y transpiración de las plantas.

Según Cabrera, citado por Fuentes (2005). Los valores de temperatura y de humedad relativa del área de estudio son muy importantes. Los valores típicos de evapotranspiración potencial varían entre 1 a 3 mm/día para los climas templados, de 5 a 8 mm/día en los trópicos húmedos y de 10 a 12 mm/día en regiones áridas.

Los factores que intervienen en la evapotranspiración son tres: el clima, el suelo y la planta.

- El clima: principalmente el factor que más influye en la evapotranspiración es la temperatura, pero también afecta la humedad relativa, la velocidad del viento, el número de horas luz y la radiación solar.
- El suelo: afecta respecto a la cantidad de agua que puede almacenar, cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo, el agua es cedida fácilmente tanto a la atmósfera como a la planta, no así cuando se acerca al punto de marchites permanente, el agua es retenida con mucha fuerza por las partículas del suelo, dificultando su salida y por ende la evapotranspiración.
- La planta: en la planta hay que tomar en cuenta: el número de estomas por unidad de superficie que se presentan entre las especies, el período vegetativo en que se encuentre y la profundidad radicular.

Para el cálculo existen varios métodos modernos que pueden ser determinados directamente o indirectamente. Los métodos directos se apoyan en la utilización de instrumentos como lisímetros y parcelas de campo. En los métodos indirectos se utilizan varias fórmulas para determinar ETP, entre estos están: Blaney y Criddle, Método de Thornthwaite, Método de Penman, Método de Hargreaves, entre otros.

### **2.3.1.8.2 Suelo**

#### **A. Textura y estructura**

En el estudio físico de un suelo interesan dos aspectos: La textura o proporción relativa en que se presentan los distintos materiales sólidos que lo componen. Esta proporción se expresa en porcentaje del peso de materiales comprendidos en un intervalo de tamaños, respecto al peso de la muestra seca. Por otro lado, la estructura, es la disposición relativa de estos materiales en las condiciones naturales de un determinado suelo (Sandoval, 1989).

La textura del suelo influye por sí y por la influencia en la estabilidad de la estructura, tanto menor cuanto mayor sea la proporción de materiales finos que contenga, un suelo con gran cantidad de limos y arcillas está expuesto a la disgregación y arrastre de estos materiales por el agua, con el consiguiente llenado de poros más profundos y la estructura define el tamaño de los poros, la existencia de poros grandes reduce la tensión capilar pero favorece directamente la entrada de agua (Custodio y Llamas, 2001).

#### **B. Densidad aparente**

La densidad aparente depende básicamente de la textura del suelo, pero puede ser modificada por la compactación, cuando se compacta un suelo aumenta su densidad aparente porque se reduce el espacio entre las partículas del suelo disminuyendo el volumen del espacio poroso (Sandoval, 1989).

Es de vital importancia en el análisis del balance hídrico, normalmente el material sólido que compone un suelo tiene una densidad real del orden de 2.5, pero el volumen que ocupa realmente en el terreno es mucho mayor y surge el concepto de densidad aparente, pues el volumen aumenta debido a la cantidad de poros del suelo, los cuales están llenos de aire o de agua (Padilla, 2003).

### **C. Grado de saturación del suelo (contenido de humedad)**

Es la diferencia entre el contenido de humedad del suelo a capacidad de campo, como límite superior aprovechable y el punto de marchitamiento permanente como límite inferior aprovechable (Sandoval, 1989).

Existen diferentes formas en las cuales se encuentra el agua en el suelo, debido a esto se establecen los siguientes tipos: agua retenida por fuerzas no capilares, agua retenida por fuerzas capilares y agua retenida en el suelo (Custodio & Llamas, 2001).

El grado de saturación de los suelos permite la determinación de la recarga hídrica para obtener la capacidad de un suelo para retener el agua infiltrada, los determinantes de las constantes de humedad de un suelo son:

- Capacidad de campo (cc): Es el grado de humedad de una muestra que ha perdido su agua gravitacional.
- Punto de marchitamiento permanente (pmp): Es el grado de humedad de un suelo donde la fuerza de succión de las raíces es menor que la retención del agua por el terreno y en consecuencia las plantas no pueden extraerla.
- Agua utilizable por las plantas (humedad aprovechable): Es el agua utilizable por las plantas, esta es el agua sobrante o la diferencia que exista entre la capacidad de campo y punto de marchitamiento permanente.

### **D. Infiltración**

La infiltración es un proceso donde el agua penetra desde la superficie del suelo en un determinado tiempo, hasta las capas de suelo existentes, por efecto de las fuerzas gravitacional y capilar (Custodio & Llamas, 2001).

La infiltración se define como el proceso por el cual el agua penetra por la superficie del suelo en un determinado tiempo, atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo o las formaciones geológicas subyacentes, llegando

hasta sus capas inferiores saturadas. Es decir alcanzando un nivel freático e incrementando el volumen acumulado anteriormente (Padilla, 2003).

La capacidad de infiltración de un suelo puede ser influenciada por la condición y las características físicas del suelo, además está la vegetación, las características de la lluvia, la topografía del terreno, la estratificación, la temperatura del agua y el suelo y el estado físico-químico del mismo.

Existen diferentes métodos para definir la tasa de infiltración básica de un suelo, siendo los más utilizados, los permeámetros, método de doble cilindro y método de Porchet. Para este tipo de estudio el más utilizado es el método Porchet, por ser uno de los métodos con bastante precisión y con facilidad de aplicarlo en el campo, también es conocido como el de cilindro excavado en el suelo o cilindro invertido (Padilla, 2003).

#### **2.3.1.8.3 Relieve**

El relieve es un factor importante en la infiltración, en lugares de mayor pendiente existe menor infiltración, debido a que la infiltración se da cuando el agua se mantiene sobre la superficie con más tiempo, provocando a que se aumente la escorrentía, por lo que la recarga hídrica disminuye.

El relieve influye debido al tiempo de contacto del agua con la superficie, en condiciones planas el agua cae a la superficie y su movimiento será lento lo que dará un mayor tiempo para que esta se infiltre, caso contrario en condiciones accidentadas el agua cae y debido a la inclinación del terreno se desplaza a mayor velocidad pasando más rápido a formar parte del agua de escorrentía (Padilla, 2003).

#### **2.3.1.8.4 Estratigrafía geológica**

Un estudio de la estratigrafía de la zona, permite conocer la disposición de los diferentes materiales geológicos, ya que estos pueden afectar grandemente la cantidad de recarga hídrica (Orozco, 2003).

La estratigrafía o secuencia de rocas que han sufrido deformaciones por la acción de fuerzas de compresión y tensión presentan diferentes grados de fracturamiento, que modifican sus condiciones originales de porosidad y permeabilidad. Es por ello que muchas rocas que originalmente presentaban condiciones poco favorables para la transmisión y almacenamiento del agua subterránea se convierten en las zonas de mayor permeabilidad y llegan a constituir sitios adecuados para el almacenamiento de agua (Herrera, 2002).

Es de gran importancia realizar un estudio de la estratigrafía de la zona, es decir conocer la disposición de los diferentes materiales geológicos, ya que estos pueden afectar grandemente la cantidad de recarga hídrica. Por ejemplo, puede existir una cuenca cuyas características climáticas, de suelo y de cobertura vegetal favorezcan la infiltración del agua en el suelo, pero si existe una capa impermeable, no permitirá el paso del agua a mayor profundidad y se generará un flujo subsuperficial que alimentará un cauce cercano o bien daría lugar a manantiales (Padilla, 2003).

#### **A. Roca ígnea**

Las rocas ígneas se forman cuando roca (magma), se enfría y solidifica, con ó sin cristalización, bajo la superficie como rocas intrusivas (plutónicas), ó en la superficie como rocas extrusivas (volcánicas). Este magma se puede derivar de los derretimientos parciales de rocas pre-existentes en cualquier capa, ó en la corteza de la Tierra. Típicamente, el derretimiento es causado por uno, ó más de los procesos siguientes, -- un aumento de temperatura, una disminución de la presión, ó un cambio en la composición. Sobre 700 tipos de rocas ígneas, han sido descritas, la mayor parte de ellas, formadas bajo la superficie, de la corteza terrestre (Herrera, 2002).

De acuerdo al modo de enfriamiento presentan distintos tipos de cristalización, yendo desde cristales visibles a simple vista en las rocas de enfriamiento más lento, hasta la estructura vítrea de la obsidiana, producida por una violenta reducción de temperatura en el curso de una erupción volcánica. Por lo general las rocas ígneas, junto con las

metamórficas, son más competentes que las sedimentarias. Por esta razón se utilizan con frecuencia en la construcción.

#### **a. Significancia geológica**

Las rocas ígneas componen aproximadamente, el noventa y cinco por ciento de la parte superior de la corteza terrestre, pero su gran abundancia es ocultada en la superficie de la Tierra, por una capa relativamente fina pero extensa de rocas sedimentarias y metamórficas.

Las rocas ígneas, son geológicamente importantes porque:

- sus minerales, y química global dan información sobre la composición del manto, de la cual algunas rocas ígneas, son extraídas, y de la temperatura, y condiciones de presión, que permitieron esta extracción, y/o de otra roca pre-existente que se fundió;
- sus edades absolutas, pueden ser obtenidas de varias formas, de datado radiométrico, y así puede ser comparado, con estratos geológicos adyacentes, permitiendo una secuencia de tiempo de los eventos;
- sus características, se corresponden usualmente, con características de un ambiente tectónico específico, permitiendo reconstituciones tectónicas (ver tectónica de placas);
- en algunas circunstancias especiales, ellos hospedan, importantes depósitos minerales: por ejemplo, tungsteno, estaño, y uranio, son comúnmente asociados a granitos, mientras que minerales de cromo, y platino, son comúnmente asociados a gabros.

#### **b. Rocas ígneas intrusivas**

Las rocas ígneas intrusivas son formadas desde el magma, que se enfría y solidifica dentro de la Tierra. Rodeado por roca pre -existente (llamada roca base), el magma se enfría lentamente, y como resultado éstas rocas son de grano grueso. Los granos minerales en tales rocas, pueden generalmente ser identificadas, a simple vista. Rocas intrusivas, pueden también ser clasificadas según su forma, y tamaño del cuerpo intrusivo, y su relación con otras formaciones, en las cuales ésta se incluye. Formaciones intrusivas

típicas, son batolitos, acciones, lacolitos, travesaños, diques. Los tipos extrusivos, usualmente son llamadas lavas.

Las áreas centrales de las montañas mayores ó importantes, consisten en rocas ígneas intrusivas, usualmente granito. Cuando es expuesto por erosión, estos corazones (llamados *batolitos*), pueden ocupar áreas enormes de la superficie de la Tierra. Las rocas ígneas intrusivas de grano grueso, que se forman en las profundidades (dentro) de la Tierra, son llamadas como abisales; las rocas ígneas intrusivas, que se forman más cerca de la superficie, son llamadas *hipabisales*.

### **c. Las rocas ígneas extrusivas**

Las rocas ígneas extrusivas, o volcánicas, se forman cuando el magma fluye hacia la superficie de la Tierra y hace erupción o fluye sobre la superficie de la Tierra en forma de lava; y luego se enfría y forma las rocas. La lava que hace erupción hacia la superficie de la Tierra puede provenir de diferentes niveles del manto superior de la Tierra, entre 50 a 150 kilómetros por debajo de la superficie de la tierra.

Cuando la lava hace erupción sobre la superficie de la tierra, se enfría rápidamente. Si la lava se enfría en menos de un día o dos, los elementos que unen a los minerales no disponen de mucho tiempo. En su lugar, los elementos son congelados dentro del cristal volcánico. Con frecuencia, la lava se enfría después de unos cuantos días o semanas, y los minerales disponen de suficiente tiempo para formarse, pero no de tiempo para crecer y convertirse en grandes pedazos de cristal. Las rocas basalto son el tipo más común de rocas ígneas extrusivas y el tipo de roca más común sobre la superficie de la Tierra.

### **B. Rocas sedimentarias**

Se llama rocas metamórficas a las rocas formadas por la presión y las altas temperaturas. Proceden indistintamente de la transformación de rocas ígneas y de rocas sedimentarias. El proceso para que se conviertan en metamórficas se denomina metamorfismo. Se trata de un proceso lento. A medida que estas rocas son sometidas a altas presiones y temperaturas, de los elementos químicos existentes surgen gradualmente nuevos

minerales que cristalizan para formar la nueva roca. Las rocas metamórficas se clasifican según sus propiedades físicas. Los factores que definen o clasifican las rocas metamórficas son dos: los minerales que las forman y las texturas que presentan dichas rocas. Las texturas son de dos tipos, foliadas y no foliada.

- **Textura foliada:** Algunas de ellas son la pizarra (al romperse se obtienen láminas), el esquisto (se rompe con facilidad) y el gneis (dentro tiene minerales claros y oscuros).
- **Textura no foliada:** Algunas de ellas son el mármol (aspecto cristalino y se obtiene de calizas y dolomías), la cuarcita (es blanca pero puede cambiar por las impurezas), la serpentinita (que al transformarse origina el asbesto) y la canchagua.

#### a. Tipos de metamorfismo

Los principales tipos de metamorfismo dependen del carácter de la energía aportada para su puesta en marcha, que puede ser en forma de calor o en forma de presión:

- **Metamorfismo térmico:** Ocurre cuando la transformación de las rocas se debe solo a las altas temperaturas a las que se ven sometidas. A este tipo también se le denomina metamorfismo de contacto. Se da en circunstancias tales como la intrusión de magma en rocas ya existentes, como plutones, diques o diques concordantes. El mármol es un ejemplo de roca que se forma mediante este proceso.
- **Metamorfismo regional:** Esta es la forma más común de metamorfismo. Cuando ambos factores, presión y temperatura, se dan a la vez, se denomina metamorfismo regional. Estos procesos se dan en mayor medida en grandes profundidades y en regiones de formación de grandes montañas. Un ejemplo de roca que se forma mediante este proceso es el gneis.
- **Metamorfismo dinámico:** Es producido por fuertes presiones dirigidas, como las que se producen en el entorno de deformaciones tectónicas como las fallas. Se llama cataclastitas a las rocas derivadas del dinamo-metamorfismo. Un ejemplo son las milonitas.

### 2.3.1.8.5 Cobertura vegetal

La vegetación en el suelo protege de la compactación debido al impacto de la lluvia, disminuye el volumen y la velocidad de la escorrentía, permitiendo mayor infiltración por las raíces al abrir grietas en el suelo. La cobertura de la vegetación participa en la recarga principalmente en dos aspectos, los cuales son la profundidad radicular y la intercepción del agua.

**A. Profundidad radicular:** Determina en gran parte la lámina de agua aprovechable por los cultivos. Depende del tipo de cultivo, condiciones del suelo y clima. Para la mayoría de plantas las raíces que absorben agua se encuentran dentro de los 30 cm. de suelo, para cultivos agrícolas y pueden alcanzar más de un metro en coberturas de bosque y cultivos permanentes de frutales u otros. Al aumentar la profundidad radicular, se aumenta también el rango de agua edáfica que puede ser aprovechada por la vegetación existente (Padilla, 2003).

**B. Intercepción:** Según Nittler, Barahona. Citado Por García 2005, es el proceso de retención de la precipitación en los estratos de vegetación y broza limitando la cantidad de agua que llega al suelo. La intercepción puede captar y guardar hasta 30 % de la precipitación en bosques húmedos tropicales. En áreas áridas, con menos vegetación, la intercepción es menor, sin embargo áreas de pastos y arbustos pueden tener cifras entre 10 y 20 %.

La capacidad de intercepción se reduce a mayor velocidad del viento, pero la tasa de evaporación aumenta. Se ha encontrado que un bosque de árboles maderables de unos 50 años de edad intercepta hasta un 20 % de lluvia. (Linsley. citado por García, 2005) Ver la importancia de la intercepción resulta bastante sencillo pero su medición a nivel de la cuenca es difícil, dado las variaciones climáticas, físicas y de la vegetación que se encuentran en la cuenca (Nittler, Barahona, citado por García, 2005).

### **2.3.1.8.6 Esgurrimiento**

#### **A. Componentes de la escorrentía**

Es la cantidad de agua que fluye dentro de un trayecto desde que alcanza la superficie terrestre hasta llegar al cauce se clasifica en tres: escorrentía superficial, escorrentía subsuperficial y escurrimento subterráneo (Orozco, Padilla, Salguero. 2003).

##### **a. Esorrentía superficial**

Es la parte de agua que circula por la superficie de la tierra y se concentra dando lugar a la formación de barrancos, arroyos y ríos, ó es el volumen de agua que avanza sobre la superficie de la tierra hasta alcanzar un canal (Padilla, 2003).

La porción de agua que se infiltra a través de la superficie de la tierra puede moverse lateralmente en las capas superiores del suelo hasta llegar al cauce de la corriente. Se mueve más lentamente que la esorrentía superficial y alcanza las corrientes posteriormente (Orozco, Padilla, Salguero. 2003).

##### **b. Esorrentía subterránea**

Se forma por infiltración del agua en el terreno y luego percola, formando los acuíferos, la cual circula por conductos, constituyendo ríos subterráneos. Parte de está circulación aflora en fuentes y manantiales, los que también dan lugar a la formación de arroyos y ríos. Lo que viene a constituir el caudal base de los ríos (Padilla, 2003).

#### **B. Aforo**

Es el conjunto de operaciones que conducen a la valorización del caudal o gasto, que es el volumen de agua que pasa por una sección específica del cauce de un río, en un tiempo determinado (Herrera, 1995).

#### **C. Aforos diferenciales**

Los aforos diferenciales en algunos tramos del río sirven para determinar los sectores en los cuales la precipitación pluvial constituye una recarga potencial al acuífero (precipitación efectiva), después de los efectos de suelo, vegetación, topografía, etc. Parte de ella, es

posible que emerja como manantiales (corrientes secundarias) o directamente alimente a la corriente superficial principal de la cuenca (río efluente). Por lo tanto haciendo medidas de caudal en intervalos relativamente pequeños sobre la longitud del cauce, se pueden detectar los sectores en los que el río se comporta como efluente o bien a través de infiltración de agua dentro de su cauce pasa a constituir también una recarga al acuífero (río influente) (Orozco, Padilla, Salguero. 2003).

Uniendo el conocimiento de la recarga potencial en cada una de las unidades de mapeo definidas y los caudales aforados, es posible realzar la importancia de los aportes de las partes altas de una cuenca principalmente (Padilla, 2003).

#### **2.3.1.9 Áreas críticas de recarga hídrica natural**

Se les denomina a aquellas áreas que por sus características específicas, se consideran susceptibles a disminuir su recarga potencial al ser sometidas a un manejo inadecuado, éstas se determinarán a partir de las áreas principales de recarga hídrica natural. Las áreas críticas deben ser objeto de un manejo especial que permita mantener y/o manejar sus características (Orozco, Padilla, Salguero. 2003).

Las áreas críticas se podrán reconocer considerando básicamente los siguientes aspectos: geología, infiltración básica, recarga anual (lamina anual) y pendiente. Para cada uno de estos aspectos se utilizan criterios o categorías a las cuales se les asignó un valor específico (Orozco, Padilla, Salguero. 2003).

## **2.4 Objetivos**

### **2.4.1 Objetivo general**

- Identificar las principales áreas de recarga hídrica natural en la subcuenca del río Quiscab, de la cuenca del lago de Atitlán, para determinar estrategias para el manejo racional y sostenible del recurso hídrico.

### **2.4.2 Objetivos específicos**

- Realizar el balance hídrico en los suelos de la subcuenca para estimar la recarga hídrica natural que se produce en la subcuenca del río Quiscab.
- Identificar las áreas de mayor vulnerabilidad (áreas críticas) de recarga hídrica natural.
- Determinar estrategias para el manejo racional y sostenible del recurso hídrico.

## **2.5 Metodología**

### **2.5.1 Fase de gabinete inicial**

#### **2.5.1.1 Recopilación de información básica**

En esta etapa se recopiló información básica de aspectos biofísicos de la subcuenca, como: suelos, recurso hídrico, antecedentes de estudios realizados en el área, vegetación, entre otros. Esta información se recopiló, realizando visitas a centros de documentación como bibliotecas, ONG's, o información en instituciones gubernamentales y no gubernamentales que trabajan en el área.

Se adquirieron 5 mapas, 4 topográficos y 1 mapa geológico a escala 1:50,000, en el Instituto Geográfico Nacional –IGN-

- Chichicastenango, Hoja 1960 I
- Sololá, Hoja 1960 II
- Santa Catarina Ixtahuacán, Hoja 1960 III
- Totonicapán, Hoja 1960 IV y
- Mapa Geológicos, Hoja Sololá 1960 II

Se adquirieron 16 fotografías aéreas a escala 1:40000, tomadas en el año 2007, para realización de mapas y análisis de la información.

Se elaboraron los mapas de ubicación, centros poblados y vía de acceso, hidrografía, fisiográficos, geología, uso actual y unidades de mapeo utilizando el software ArcView GIS.

Se consultaron mapas temáticos de Guatemala con Información de serie de suelos, clasificación taxonómica, zonas de vida, cuencas hidrográficas, entre otros.

#### **2.5.1.2 Información climática**

Se identificaron las estaciones meteorológicas que existen dentro de la subcuenca del río Quiscab y Panajachel. Todas las estaciones se localizaron geográficamente y la altitud en que se encuentran.

Los datos climáticos que se generaron se tabularon en datos medios mensuales de precipitación pluvial y temperatura máxima y mínima.

### **2.5.1.3 Identificación y mapeo de áreas de recarga hídrica**

Se elaboró un mapa de uso actual (Año 2007), geología, cobertura vegetal y pendientes a una escala de 1:50000, para la elaboración de estos mapas se fotointerpreto las fotografías aéreas y para la elaboración de los mapas se utilizó el software Arc View GIS versión 3.3.

Para la delimitación de las unidades de mapeo se sobrepuso los mapas elaborados de suelos, geología y uso actual, después de obtener las unidades mínimas de mapeo, se realizó caminamientos de campo para la verificación de las unidades.

## **2.5.2 Fase de campo**

### **2.5.2.1 Generación de información climática**

Para la generación de información climática se utilizó la estación meteorológica de tipo A de El Tablón, las estaciones ubicadas en el municipio de Panajachel, la Escuela de Formación Agropecuaria (EFA) y la que se ubica en la aldea Novillero, Santa Lucia Utatlan, Sololá.

### **2.5.2.2 Estimación de la infiltración básica del suelo**

Se realizaron pruebas de infiltración básica de los suelos, utilizando el método de Porchet o cilindro invertido. El procedimiento fue el siguiente:

- Para la realización de esta prueba fue necesario limpiar el área, hacer un agujero utilizando un barreno.
- Se excava un agujero con radio y altura conocida, se le agrega agua cerca del punto de saturación del suelo y se toman las lecturas en intervalos de tiempo conocidos.
- El radio del cilindro se conoce como R, la altura conocida h, y el cambio de tiempo dt para encontrar la capacidad de infiltración f.
- Para determinar f se utilizó la siguiente ecuación:

$$f = (R/2(t_2-t_1)) * \ln ((2h_1 + R)/(2h_2 + R))$$

- Y para determinar  $f$ , basto medir pares de valores  $(h_1, t_1)$ ,  $(h_2, t_2)$ , de forma que  $t_2$  y  $t_1$  no difieran demasiado y entrar con ellos en la expresión dada.

### **2.5.2.3 Determinación de constantes de humedad y densidad aparente**

Se realizó muestreos de suelos y se llevo al laboratorio de análisis de suelo y agua “Salvador Castillo” de la Facultad de Agronomía para realizar los siguientes análisis:

- Densidad aparente
- Textura
- Constantes de humedad (capacidad de campo y punto de marchites permanente).

### **2.5.2.4 Aforos**

Se ubicaron los puntos de aforo, para ello se utilizó el método de sección velocidad. La velocidad del flujo se determinó con flotador, utilizando el modelo siguiente:

#### **2.5.2.4.1 Determinación del área de la sección**

Esta fue determinada por mediciones de ancho y profundidad del cauce. Para la determinación de profundidades, el ancho del cauce fue dividido en tramos o secciones con distancias conocidas, en el cual se tomaron las profundidades de inicio y al final del tramo, para luego obtener la media de profundidad y multiplicarlo por el ancho de la sección, así se obtuvo el área en metros cuadrados.

#### **2.5.2.4.2 Determinación de la velocidad**

La determinación de la velocidad se efectuó por medio de flotadores, para lo cual se escogió un tramo recto dentro del cauce, libre de obstáculos, luego se determino tres secciones, las cuales son las orillas y el centro del río, para obtener la velocidad se tomo el tiempo que tardo en recorrer el tramo de longitud conocida, siendo la velocidad distancia recorrida por el tiempo que tardo. El valor obtenido en la velocidad (m/seg) al multiplicarlo por el área (m<sup>2</sup>), dará el caudal del río (m<sup>3</sup>/seg)

### 2.5.3 Fase de gabinete final

#### 2.5.3.1 Balance hídrico de los suelos

En ésta fase se analizó la información generada y recopilada en la fase de gabinete inicial y la fase de campo para poder determinar el volumen total de recarga en la subcuenca del río Quiscab.

Se estimó el balance hídrico del suelo, utilizando una hoja de cálculo en Excel, elaborado por Schosinsky, G (2007), en la cual se ingresaron las variables: características físicas del suelo (textura, densidad aparente), infiltración básica, constantes de humedad (CC y PMP), clima (precipitación y ETP), cobertura y profundidad radicular.

#### 2.5.3.2 Determinación de la evapotranspiración potencial

Para la determinación de la evapotranspiración, se utilizó el método de Hargreaves debido a que éste método está diseñado para la región centroamericana y por ser un método práctico y confiable. La ecuación es la siguiente:

$$ETP = 0.0075 \times TMF \times RSM$$

Donde:

ETP: Evapotranspiración en mm/mes

TMF: Temperatura media mensual en grados Fahrenheit

RSM: Radiación solar incidente mensual

$$RSM = 0.075 \times RMM \times S^{1/2}$$

Donde:

RMM: Radiación mensual extraterrestre en mm/mes. (Cuadro 5)

S: Brillo medio mensual en (%)

$$RMM = RS \times \text{No. de días del mes}$$

Donde:

RS: Radiación solar (Cuadro 5)

$$S = K_s \times (100 - HR)^{1/2}$$

Donde:

Ks: Constante para Centroamérica igual a 12.5

HR: Humedad relativa media en %

En el área de estudio no se cuenta con datos de humedad media, el brillo medio mensual se calculó por medio de tablas y se aplica la siguiente fórmula:

$$S = \left( \frac{N}{24} \right) \times 100$$

Donde:

N: Número de horas de brillo solar (Cuadro 6)

Cuadro 30 Valores medios mensuales de radiación solar extraterrestre (mm/día).

Latitud Norte	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	15.07	15.53	15.71	15.27	14.47	13.97	14.19	14.95	15.61	15.66	15.23	14.90
5	14.23	14.96	15.56	15.55	15.09	14.74	14.90	15.39	15.63	15.24	14.47	13.98
10	13.30	14.28	15.27	15.72	15.61	15.42	15.51	15.72	15.54	14.71	13.61	12.98
15	12.29	13.51	14.83	15.77	16.02	16.00	16.02	15.93	15.33	14.07	12.66	11.91
20	11.20	12.64	14.37	15.70	16.32	16.48	16.42	16.04	15.00	13.33	11.63	10.76

Fuente: Herrera. 2002

Cuadro 31 Duración máxima, media y diaria de horas de brillo solar para diferentes meses y latitudes.

Latitud Norte	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1
5	11.8	11.9	12.0	12.2	12.3	12.4	12.3	12.3	12.1	12.0	11.9	11.8
10	11.6	11.8	12.0	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5
15	11.3	11.6	12.0	12.5	12.8	13.0	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2
20	11.0	11.5	12.0	12.6	13.1	13.3	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9

Fuente: Orozco, EO; Padilla, T; Salguero, M. 2003.

### 2.5.3.3 Determinación de precipitación efectiva

Para la determinación de la precipitación media en el área de estudio, se utilizó el método de las isoyetas debido a que se adapta mejor a las características de la subcuenca del río Quiscab porque toma en cuenta los accidentes geográficos. Se utilizó la siguiente ecuación:

$$P_m = \frac{\sum (P_i \times A_i)}{A_t}$$

Donde:

P<sub>m</sub>: Precipitación media

P<sub>i</sub>: Precipitación media entre dos isoyetas.

A<sub>i</sub>: Área entre dos isoyetas y el parte aguas de la cuenca.

A<sub>t</sub>: Área total.

Para la determinación de la precipitación efectiva se utilizó el método de Schosinsky & Losilla (2003). La fórmula general generada por Schosinsky y Losilla (2003) para la determinación de la precipitación efectiva es la siguiente:

$$P_{ef} = (1 - K_i) \times C_i \times P$$

Donde:

P<sub>ef</sub>: Precipitación efectiva (precipitación que infiltra)

P: Precipitación mensual

C<sub>i</sub>: Coeficiente de infiltración.

K<sub>i</sub>: Valor de retención vegetal (para bosque es de 0.20; para cultivos en general 0.12 y para techos de casas, caminos y áreas construidas, es de 0.10 a 0.05)

La relación entre la infiltración y precipitación, la infiltración y pendiente y la infiltración y cobertura vegetal, estos aspectos proporcionan el coeficiente de infiltración para un determinado suelo e indica la capacidad de infiltración del mismo.

$$C_i = K_{fc} + K_p + K_v$$

Donde:

C<sub>i</sub>: Coeficiente de infiltración

K<sub>fc</sub>: Factor de infiltración por efecto del suelo

K<sub>p</sub>: Factor de infiltración por efecto de la pendiente

K<sub>v</sub>: Factor de infiltración por efecto de la cobertura vegetal.

Schosinsky G. (2007), obtuvo una ecuación que relaciona la capacidad de infiltración de agua en el suelo (infiltración básica) con la intensidad de la lluvia, y es la siguiente:

$$K_{fc} = 0.267 \times \ln(fc) - 0.000154(fc) - 0.723$$

Donde:

K<sub>fc</sub>: Factor de infiltración de agua en el suelo e intensidad de lluvia.

Ln: Logaritmo neperiano (natural)

f<sub>c</sub>: Valor de infiltración básica en mm/día

Los valores del factor de infiltración por efecto de la pendiente (K<sub>p</sub>) y el factor de infiltración por efecto de la cobertura vegetal (K<sub>v</sub>) propuestos por Schosinsky (2007), se presentan a continuación:

Cuadro 32 Valores de Infiltración básica por efecto de la pendiente (K<sub>p</sub>)

<b>Pendiente</b>	<b>%</b>	<b>Coficiente</b>
Muy plana	0.02 – 0.06	0.30
Plana	0.3 – 0.4	0.20
Algo plana	1 – 2	0.15
Promedio	2 – 7	0.10
Fuerte	> 7	0.06

Fuente: Schosinsky 2007

Cuadro 33 Valores de Infiltración básica por efecto de la cobertura vegetal (K<sub>v</sub>)

<b>Cobertura vegetal</b>	<b>Coficiente</b>
Zacate (< 50%)	0.09
Terrenos cultivados	0.10
Con pastizales	0.18
Bosques	0.20
Zacate (> 75%)	0.21

Fuente: Schosinsky 2007

El factor K<sub>v</sub>, se obtuvo mediante el mapa de cobertura vegetal de la subcuenca del río Quiscab.

#### 2.5.3.4 Cálculo del balance hídrico de los suelos

Con la ayuda de una hoja de cálculo de Excel se estimó el balance hídrico, en el cual se ingresaron variables como: características físicas del suelo (textura, densidad aparente), infiltración básica, grados o constantes de humedad (CC, PMP), clima (precipitación y evapotranspiración), cobertura y profundidad radicular.

### 2.5.3.5 Cálculo de la recarga hídrica

Para el cálculo de la recarga hídrica natural se utilizó la siguiente ecuación:

$$Rh = P_{ef} + HIS - HFS - ETR$$

Donde:

Rh: Recarga hídrica.

$P_{ef}$ : Precipitación efectiva.

HIS: Humedad inicial del suelo.

HFS: Humedad final del suelo.

ETR: Evapotranspiración real.

### 2.5.3.6 Determinación de áreas críticas de recarga hídrica

Las áreas críticas se establecieron considerando aspectos geológicos, infiltración, recarga anual y pendiente. Para determinar las áreas de recarga hídrica se utilizaron ciertos criterios que se identificaron en el manual de recarga hídrica, donde para cada uno de estos aspectos se utilizan criterios o categorías, los cuales fueron evaluadas en cada uno de los aspectos y luego la sumatoria de todos los códigos dio como resultado la categoría de cada área (Orozco, EO; Padilla, T; Salguero, M. 2003.).

Las categorías a considerar fueron las siguientes:

Cuadro 34 Matriz de criterios de geología para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural

<b>Geología</b>	<b>Código</b>
Rocas ígneas o metamórficas no fracturadas	0
Rocas ígneas o metamórficas fracturadas	1
Arenas finas, basaltos permeables, karst	2
Arenas gruesas y gravas	3

Fuente: Orozco, EO; Padilla, T; Salguero, M. 2003.

Cuadro 35 Matriz de criterios de infiltración básica para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural

<b>Tasa de Infiltración Básica (cm/hr)</b>	<b>Código</b>
< 0.15	0
0.15 – 1.5	1
>1.5 – 15	2
>15	3

Fuente: Orozco, EO; Padilla, T; Salguero, M. 2003.

La tasa de infiltración tiene influencia en la velocidad con la cual el agua penetra en las primeras capas del suelo, mientras mayor sea esa tasa de infiltración mayor será la oportunidad de las precipitaciones de infiltrar en el perfil del suelo, los valores más bajos de tasas de infiltración son para suelos de granulometría fina los cuales causan mayor escorrentía al momento de intensidades de lluvia altas (Padilla, 2003).

Cuadro 36 Matriz de criterios de recarga anual para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural

<b>Recarga anual (mm/año)</b>	<b>Código</b>
0 – 50	0
50 – 100	1
100 – 150	2
150 – 200	3
>200	4

Fuente: Orozco, EO; Padilla, T; Salguero, M. 2003.

Cuadro 37 Matriz de criterios de pendiente para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural

<b>Pendiente (%)</b>	<b>Código</b>
0 – 12	0
12 – 26	1
26 – 36	2
36 – 55	3
> 55	4

Fuente: Orozco, EO; Padilla, T; Salguero, M. 2003.

La pendiente es un factor importante pues es determinante al momento de la escorrentía y sus efectos al suelo, los suelos con relieves más planos no favorecen la escorrentía del agua y permiten un mayor tiempo de contacto del agua con el suelo favoreciendo la infiltración, mientras que suelos de altas pendientes aumentan la velocidad de la escorrentía, por lo tanto se consideran críticas las áreas que tienen altas pendientes por el grado de degradación que pueden causar y la alteración de las condiciones actuales de recarga de estas áreas (Padilla, 2003).

Cuadro 38 Criterios de susceptibilidad de áreas a ser consideradas áreas críticas de recarga hídrica natural

<b>Categoría</b>	<b>Rango</b>
Baja	0 – 5
Moderada	6 – 9
Alto	10 – 12
Muy alta	13 – 14

Fuente: Orozco, EO; Padilla, T; Salguero, M. 2003.

### **2.5.3.7 Elaboración de mapas**

Se elaboraron mapas que contienen los valores de recarga anual, que muestre las áreas principales de recarga hídrica y un mapa de áreas críticas de recarga natural a un nivel de semidetalle en una escala 1:50,000, agrupándose las áreas con recargas similares codificando los colores y texturizándolos.

### **2.5.3.8 Elaboración de informe final**

Con la información obtenida se ordenó y se analizó de acuerdo a la metodología propuesta, con la finalidad de generar información de la subcuenca, el balance hídrico de los suelos y las áreas críticas de recarga hídrica natural para dar conclusiones y recomendaciones finales de acuerdo a los objetivos, para el manejo del recurso hídrico de la subcuenca.

## **2.6 Resultados**

### **2.6.1 Precipitación pluvial**

Para la determinación de la precipitación pluvial, se utilizaron los datos de las estaciones meteorológicas Tipo "A" instalada y monitoreada por el INSIVUMEH y Tipo "C", instaladas y monitoreadas por epesistas. Siendo las estaciones El Tablón (tipo A), de Panajachel, Escuela de Formación Agrícola (EFA) y del Novillero (tipo C), las cuales se ubican dentro del área, en las estaciones se midió la precipitación pluvial, temperatura máxima y mínima diaria. La ubicación de las estaciones se muestra en el cuadro 39.

La falta de información climática en el área es una limitante, ya que no existen registros históricos climáticos, sólo la del Tablón, por lo que se tomaron los datos de las estaciones de Panajachel, Novillero y de la EFA por la cercanía que se tiene. La World Meteorological Organization (1970), recomienda que lo ideal para zonas montañosas es 1 pluviómetro cada 100 o 250 km<sup>2</sup>.

Es importante mencionar, que dada la problemática en el área, así como en muchas partes del país, es la falta de información climática lo cual constituye un obstáculo para la realización de investigaciones especialmente para las de este tipo, por lo cual los resultados obtenidos son solamente de un año de información climática.

Las estaciones ubicadas en Panajachel y la de EFA, se realizó un monitoreo constante desde el mes de Agosto 2007, y para la estación de El Novillero la cual fue instalada en la segunda semana de noviembre 2007 y se inicio su monitoreo el 14 de noviembre 2007. Los datos de precipitación pluvial se muestran en el cuadro 40.

Por lo que se estimó que la precipitación promedio anual de la estación el Tablón es de 1,426.34 mm, calculados de un promedio de 14 años, de las precipitaciones tomadas desde los años 1994 a 2007. Para la estación de Panajachel es de 1,127.66 mm, de la EFA es de 1,253.34 mm. y la del Novillero es de 1367.80 mm. Correspondiente a los meses de Agosto del 2007 a Julio 2008.

### **2.6.2 Evapotranspiración**

Para el cálculo de evapotranspiración potencial se contó con datos de temperatura máxima, mínima y media, como se muestra en el cuadro 41, de las estaciones monitoreadas.

El método que se utilizó para calcular la evapotranspiración potencial fue el de Hargreaves (1970), recomendado por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, (INSIVUMEH) por presentar buen ajuste a las variaciones climáticas del país. Los resultados se muestran en los cuadros 42, 43, 44 y 45.

Cuadro 39 Ubicación geográfica y equipo de las estaciones meteorológicas situadas en la subcuenca del río Quiscab.

Estación	Ubicación	Coordenadas grados		Altitud (msnm)	Equipo	Tipo
		N	W			
Panajachel	Panajachel	14.746295	-91.151446	1590	- Pluviómetro - Termómetros de máx. y mín.	C
Corazón del Bosque	Aldea El Novillero, Santa Lucia Uatlán	14.792061	-91.262226	2380	- Termómetros de máx. y mín. - Pluviómetro	C
El Tablón	Aldea El Tablón, Sololá	14.810006	-91.177897	2400	- Pluviógrafo - Termómetro de máx. y mín.	A
EFA	Sololá	14.762096	-91.168376	2060	- Pluviómetro - Termómetro de máx. y mín.	C

Cuadro 40 Precipitación media mensual (mm) de las estaciones situadas en la subcuenca del río Quiscab

Estación	Año 2007					Año 2008							Total (mm/año)
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Panajachel	164.06	219.27	180.02	28.27	0.00	0.00	14.06	0.93	11.71	105.40	196.80	207.20	1,127.66
EFA	165.35	250.56	183.26	40.40	0.06	1.24	28.32	2.12	15.44	116.74	225.60	224.3	1,253.34
Novillero	166.14	287.98	186.34	54.08	0.12	1.85	33.00	3.55	19.15	129.95	244.87	240.8	1,367.80
El Tablón	166.36	306.23	185.36	62.56	0.16	2.45	33.23	4.16	21.66	141.79	255.03	247.35	1,426.34

Cuadro 41 Temperaturas máxima, mínima y media promedio mensual en las estaciones situadas en la subcuenca del río Quiscab (°C)

Estación		Año 2007					Año 2008						
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
EFA	T° min	12.67	11.12	10.53	9.57	8.36	6.69	5.90	7.03	9.87	9.90	10.27	10.23
	T° max	25.33	28.72	25.30	27.43	27.14	26.92	26.62	27.61	28.04	28.33	27.90	28.74
	T° med	19.00	19.92	17.92	18.50	17.75	16.81	16.26	17.32	14.53	19.12	19.08	19.48
Novillero	T° min	3.96	3.70	4.16	4.63	5.93	3.12	2.60	4.86	6.86	4.56	4.63	5.36
	T° max	25.50	24.80	24.84	24.88	25.14	26.76	30.93	30.29	31.29	31.89	29.38	26.29
	T° med	14.73	14.25	14.50	14.75	15.54	14.94	16.77	17.62	19.07	18.22	17.00	15.82
Panajachel	T° min	14.00	14.10	14.00	11.47	12.65	11.48	10.97	11.94	12.90	12.77	12.43	12.57
	T° max	27.90	26.87	28.00	28.63	29.00	30.48	30.48	30.16	30.07	29.87	29.47	29.20
	T° med	20.95	20.48	21.00	20.05	20.82	20.98	20.72	21.05	21.48	21.32	20.95	20.88
El Tablón	T° min	10.22	9.98	9.73	8.70	7.29	6.07	6.05	6.56	8.72	10.82	10.58	10.28
	T° max	20.70	19.97	20.17	20.18	20.15	19.93	20.55	20.60	20.84	20.38	20.29	20.41
	T° med	15.47	14.77	14.79	14.20	13.63	13.00	13.44	14.19	15.34	15.34	15.21	15.36

Cuadro 42 Evapotranspiración potencial (mm) en la estación meteorológica Panajachel, Sololá.

Mes	Días	Temperatura		Radiación Extraterrestre		Brillo solar Horas/día	Brillo medio mensual (%)	Radiación solar mensual (mm)	ETP	
		°C	°F	mm/día	mm/mes				mm/día	mm/mes
Ene	31	20.98	69.77	12.20	378.20	11.30	47.08	194.63	3.29	101.85
Feb	29	20.72	69.30	13.45	390.05	11.60	48.33	203.38	3.65	105.71
Mar	31	21.05	69.89	14.80	458.80	12.00	50.00	243.32	4.11	127.53
Abr	30	21.48	70.67	15.65	469.50	15.50	64.58	282.98	5.00	149.99
May	31	21.32	70.38	15.95	494.45	12.80	53.33	270.82	4.61	142.95
Jun	30	20.95	69.71	15.80	474.00	13.00	54.17	261.64	4.56	136.79
Jul	31	20.88	69.59	15.80	489.80	12.90	53.75	269.32	4.53	140.57
Ago	31	20.95	69.71	15.70	486.70	12.60	52.50	264.49	4.46	138.29
Sep	30	20.48	68.87	15.05	451.50	12.20	50.83	241.43	4.16	124.71
Oct	31	21.00	69.80	14.00	434.00	11.80	49.17	228.24	3.85	119.48
Nov	30	20.05	68.09	12.60	378.00	11.40	47.50	195.39	3.33	99.78
Dic	31	20.82	69.48	11.80	365.80	11.20	46.67	187.42	3.15	97.66

Cuadro 43 Evapotranspiración potencial (mm) en la estación meteorológica EFA, Sololá.

Mes	Días	Temperatura		Radiación Extraterrestre		Brillo solar horas/día	Brillo medio mensual (%)	Radiación solar mensual (mm)	ETP	
		°C	°F	mm/día	mm/mes				mm/día	mm/mes
Ene	31	16.81	62.25	12.20	378.20	11.30	47.08	194.63	2.93	90.87
Feb	29	16.26	61.27	13.45	390.05	11.60	48.33	203.38	3.22	93.45
Mar	31	17.32	63.18	14.80	458.80	12.00	50.00	243.32	3.72	115.30
Abr	30	14.53	58.16	15.65	469.50	15.50	64.58	282.98	4.11	123.44
May	31	19.12	66.41	15.95	494.45	12.80	53.33	270.82	4.35	134.89
Jun	30	19.08	66.35	15.80	474.00	13.00	54.17	261.64	4.34	130.20
Jul	31	19.48	67.07	15.80	489.80	12.90	53.75	269.32	4.37	135.48
Ago	31	19.00	66.20	15.70	486.70	12.60	52.50	264.49	4.24	131.32
Sep	30	19.92	67.86	15.05	451.50	12.20	50.83	241.43	4.10	122.87
Oct	31	17.92	64.25	14.00	434.00	11.80	49.17	228.24	3.55	109.98
Nov	30	18.50	65.30	12.60	378.00	11.40	47.50	195.39	3.19	95.69
Dic	31	17.75	63.95	11.80	365.80	11.20	46.67	187.42	2.90	89.89

Cuadro 44 Evapotranspiración potencial (mm) en la estación meteorológica El Novillero, Santa Lucia Utatlán, Sololá.

Mes	Días	Temperatura		Radiación Extraterrestre		Brillo solar horas/día	Brillo medio mensual (%)	Radiación solar mensual (mm)	ETP	
		°C	°F	mm/día	mm/mes				mm/día	mm/mes
Ene	31	14.94	58.89	12.20	378.20	11.30	47.08	194.63	2.77	85.97
Feb	29	16.77	62.18	13.45	390.05	11.60	48.33	203.38	3.27	94.85
Mar	31	17.62	63.71	14.80	458.80	12.00	50.00	243.32	3.75	116.26
Abr	30	19.07	66.33	15.65	469.50	15.50	64.58	282.98	4.69	140.77
May	31	18.22	64.80	15.95	494.45	12.80	53.33	270.82	4.25	131.62
Jun	30	17.00	62.60	15.80	474.00	13.00	54.17	261.64	4.09	122.84
Jul	31	15.82	60.48	15.80	489.80	12.90	53.75	269.32	3.94	122.16
Ago	31	14.73	58.52	15.70	486.70	12.60	52.50	264.49	3.74	116.07
Sep	30	14.25	57.65	15.05	451.50	12.20	50.83	241.43	3.48	104.39
Oct	31	14.50	58.10	14.00	434.00	11.80	49.17	228.24	3.21	99.45
Nov	30	14.75	58.55	12.60	378.00	11.40	47.50	195.39	2.86	85.80
Dic	31	15.54	59.96	11.80	365.80	11.20	46.67	187.42	2.72	84.29

Cuadro 45 Evapotranspiración potencial (mm) en la estación meteorológica El Tablón, Sololá.

Mes	Días	Temperatura		Radiación Extraterrestre		H.R.	Brillo medio mensual (%)	Radiación solar mensual (mm)	ETP	
		°C	°F	mm/día	mm/mes				mm/día	mm/mes
Ene	31	13.00	55.40	12.20	378.20	73.00	64.95	228.60	3.06	94.98
Feb	29	13.40	56.12	13.45	390.05	71.00	67.31	240.01	3.48	101.02
Mar	31	14.20	57.56	14.80	458.80	75.00	62.50	272.03	3.79	117.44
Abr	30	15.30	59.54	15.65	469.50	75.00	62.50	278.38	4.14	124.31
May	31	15.30	59.54	15.95	494.45	80.00	55.90	277.27	3.99	123.81
Jun	30	15.20	59.36	15.80	474.00	83.00	51.54	255.22	3.79	113.62
Jul	31	15.40	59.72	15.80	489.80	79.00	57.28	278.03	4.02	124.53
Ago	31	15.50	59.90	15.70	486.70	80.00	55.90	272.92	3.96	122.61
Sep	30	14.80	58.64	15.05	451.50	85.00	48.41	235.61	3.45	103.62
Oct	31	14.80	58.64	14.00	434.00	83.00	51.54	233.68	3.32	102.77
Nov	30	14.20	57.56	12.60	378.00	78.00	58.63	217.08	3.12	93.71
Dic	31	13.60	56.48	11.80	365.80	75.00	62.50	216.89	2.96	91.88

La estación El Novillero registró una menor evapotranspiración (ETP) (1304.47 mm) y la estación que registro la mayor evapotranspiración es la de Panajachel (1885.31 mm) esto debido a la diferencia de altitudes. Para la estación El Tablón el ETP fue de 1314.31 mm y para la estación EFA fue de 1373.37 mm. A mayor elevación la ETP tiende a disminuir, siguiendo el patrón de la temperatura.

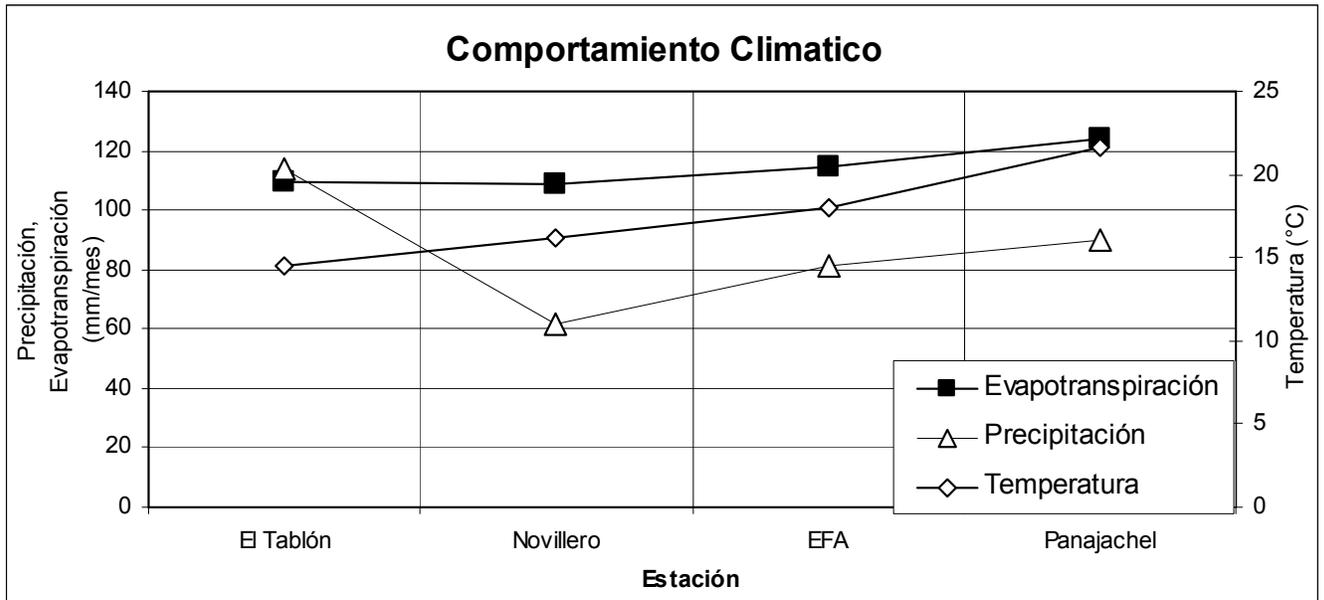


Figura 23 Comportamiento climático de las estaciones ubicadas dentro de la subcuenca del río Quiscab.

Como se observa en la figura 23, el comportamiento de la temperatura aumenta conforme la altitud disminuye, ya que la estación El Tablón (2400 msnm) presenta una temperatura media de 14.6 °C, y la de Panajachel (1590 msnm) una temperatura media de 20.9 °C, así mismo sucede con la ETP ya que la del Tablón presenta 1314 mm/año y la de Panajachel 1485 mm/año. Con respecto a la precipitación, a mayor altura hay una mayor precipitación ya que la estación El Tablón presenta una precipitación de 1426. mm/año y la de Panajachel 1127 mm/año.

La evapotranspiración potencial varía entre 1 a 3 mm/día en climas templados y de 5 a 8 mm/día en trópicos húmedos, por lo que el método sobrestima ligeramente la evapotranspiración potencial, ya que en la estación El Novillero los valores diarios varían de 2.72 mm a 4.69 mm, es un lugar de clima templado. En el caso de la estación

Panajachel los valores oscilan entre 3.15 mm a 5.21 mm, considerándose aceptables, el clima de la localidad es calido-templado. (Fuentes, 2005)

### **2.6.3 Escorrentía superficial**

#### **2.6.3.1 Aforos**

Se aforaron 12 puntos de las corrientes principales del río Quiscab, en época lluviosa y época seca como se observa en el cuadro 47. Donde el caudal de la época lluviosa aumento considerablemente, localizando los valores entre 86.01% máximo, registrado en el río Hierbabuena y un aumento mínimo de 62.40% para el río Chuiscalera, los valores para los otros puntos de aforo se pueden observar en el cuadro 47, esto se dio debido al comportamiento de la lluvia.

En el cuadro 46, se observa el caudal promedio mensual de cada punto de aforo, en donde se denota la diferencia de caudales tanto en la época seca y lluviosa, en el cual existe un aumento del caudal, el cual se debe al comportamiento de la lluvia de estas dos épocas. En la figura 27, se logra ver los diferentes puntos donde se llevaron a cabo los aforos, en el cual se abarcaron las áreas de mayor escorrentía. Para conocer la cantidad de escorrentía superficial que sale de la subcuenca, se determinó el caudal, en el punto de aforo ubicado en la desembocadura del río Quiscab hacia el lago de Atitlán, para la época seca y época lluviosa.

El caudal medio de escorrentía superficial es de 791035,494.43 m<sup>3</sup>/año, tomando en consideración todos los aforos realizados en el área, y una escorrentía máxima de 1851223,624.32 m<sup>3</sup>/año, registrada el 22 julio 2008, y un caudal mínimo de 401260,153.22 m<sup>3</sup>/año correspondiente al 5 de marzo del 2008. La aplicación de este criterio es solamente para tener una aproximación general del caudal medio, ya que no se puede estimar con precisión, debido a que la información hidrológica disponible no es suficiente.

Es importante mencionar que el caudal del cauce principal disminuye considerablemente, ya que en su último tramo recorre un área denominada playa aluvial, por lo que ocurre infiltración del agua, la cual posteriormente drena al lago de forma subterránea, esto debido a que el área es arenosa, al compararlo con los dos puntos de aforo realizados, en

el río Chuiscalera y río Xibalbay los cuales se unen para formar el cauce principal del río Quiscab. La mayor escorrentía promedio mensual presentada en el punto de aforo fue en el mes de Agosto del 2008, esto debido a las precipitaciones que se dieron en el área.

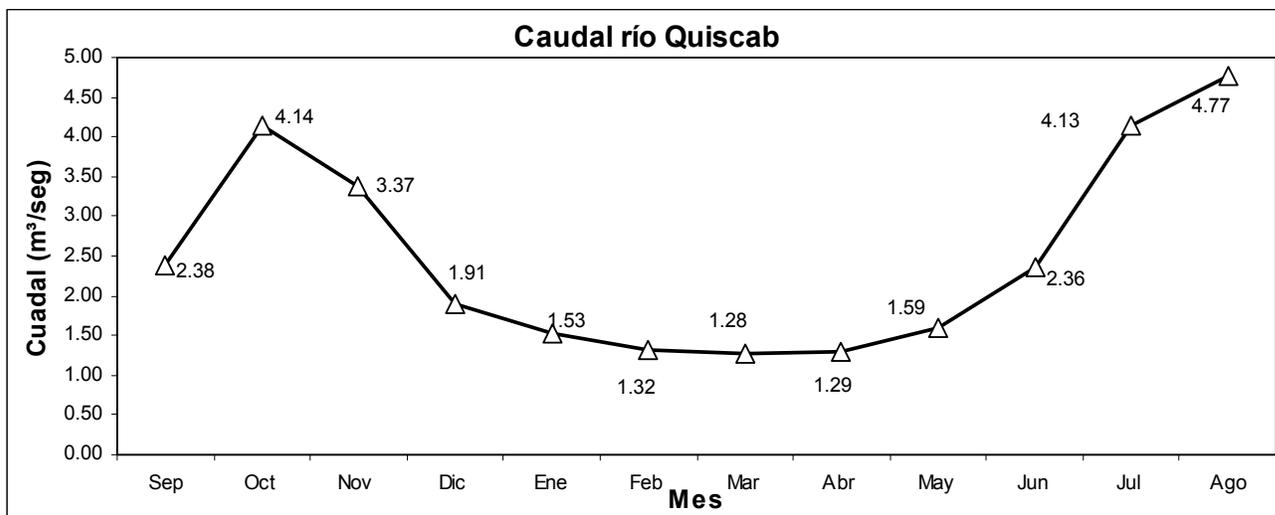


Figura 24 Caudal promedio mensual del punto de aforo del río Quiscab.

Cuadro 46 Caudal promedio mensual de la subcuenca del río Quiscab (m<sup>3</sup>/seg)

	Mes \ Río	Hierbabuena	Xibalbay	Chuiscalera	Chuiscalera San Jose	Novillero Xiquel	Novillero Puente	Novillero	Argueta	Maria Tecun	Xaquijya	Xibalbay La Cuchilla	Quiscab
2007	Septiembre		0.7856	0.4478		0.8890			0.3708	0.1710	0.0339	0.0556	2.3762
	Octubre	0.0644	3.0106	3.2082	0.3719	1.4459	1.1972	0.2946	1.9055	0.6772	0.1063	0.2068	4.1444
	Noviembre	0.0252	1.3951	1.7591	0.1893	0.9584	0.5884	0.0980	0.8331	0.4522	0.0752	0.1104	3.3719
	Diciembre	0.0117	0.8746	1.6111	0.1176	0.7239	0.3663	0.0531	0.5286	0.1573	0.0505	0.0751	1.9086
2008	Enero	0.0040	0.8095	1.2695	0.1081	0.7208	0.3084	0.0399	0.4391	0.0651	0.0376	0.0633	1.5297
	Febrero	0.0037	0.7025	0.8474	0.0864	0.6890	0.2986	0.0384	0.2160	0.0397	0.0352	0.0614	1.3164
	Marzo	0.0031	0.6806	0.8006	0.0819	0.6477	0.2900	0.0342	0.1986	0.0357	0.0298	0.0585	1.2810
	Abril	0.0112	0.7110	0.9696	0.1080	0.6059	0.3047	0.2579	0.1946	0.0405	0.0205	0.1234	1.2935
	Mayo	0.0321	0.8772	1.3212	0.1777	0.7189	0.4019	0.3297	0.3855	0.1658	0.0327	0.1922	1.5863
	Junio	0.0770	1.5765	1.9280	0.1900	1.0400	0.6635	0.4370	2.1165	0.4500	0.0620	0.3200	2.3635
	Julio	0.0750	3.7833	2.8235	0.2478	1.6695	1.2455	0.6565	2.8938	0.8365	0.0980	1.0148	4.1349
	Agosto	0.0530	2.9945	2.3175	0.4965	1.7210	1.1210	0.6160	1.4700	0.8440	0.0915	0.4135	4.7680

Cuadro 47 Caudal de los puntos de aforo de la subcuenca del río Quiscab (m<sup>3</sup>/seg)

No	Lugar	Coordenadas		Altitud m.s.n.m	Caudal Estiaje		Caudal Lluviosa		Aumento %
		Y	X		l/s	m <sup>3</sup> /día	l/s	m <sup>3</sup> /día	
1	Río Hierbabuena	14.775951	-91.195058	1,960	9.81	847.44	60.31	5210.90	86.01
2	Río Xibalbay	14.778202	-91.198314	1,970	862.21	74495.25	2171.28	187598.31	71.58
3	Río Chuiscalera	14.776101	-91.199511	2,000	1209.55	104505.38	2007.70	173464.90	62.40
4	Río Chuiscalera San Jose	14.772403	-91.225383	2,280	115.20	9953.14	296.78	25641.53	72.04
5	Río Xiquel	14.795884	-91.220132	2,260	724.28	62578.05	1247.32	107768.34	63.26
6	Río Novillero Puente	14.802455	-91.224284	2,280	359.40	31052.06	925.84	79992.26	72.04
7	Río Novillero	14.795049	-91.264286	2,340	86.92	7509.69	466.77	40328.59	84.30
8	Río Argueta	14.809654	-91.220459	2,280	401.66	34703.54	1523.68	131645.74	79.14
9	Río Maria Tecun	14.810945	-91.210669	2,300	131.74	11382.06	524.08	45280.53	79.91
10	Río Xaquijya	14.814995	-91.198207	2,360	41.47	3583.41	70.74	6111.56	63.04
11	Río Xibalbay La Cuchilla	14.809628	-91.193213	2,300	82.01	7085.26	367.15	31721.84	81.74
12	Río Quiscab	14.740832	-91.183884	1,600	1783.51	154095.68	3228.88	278975.52	64.42

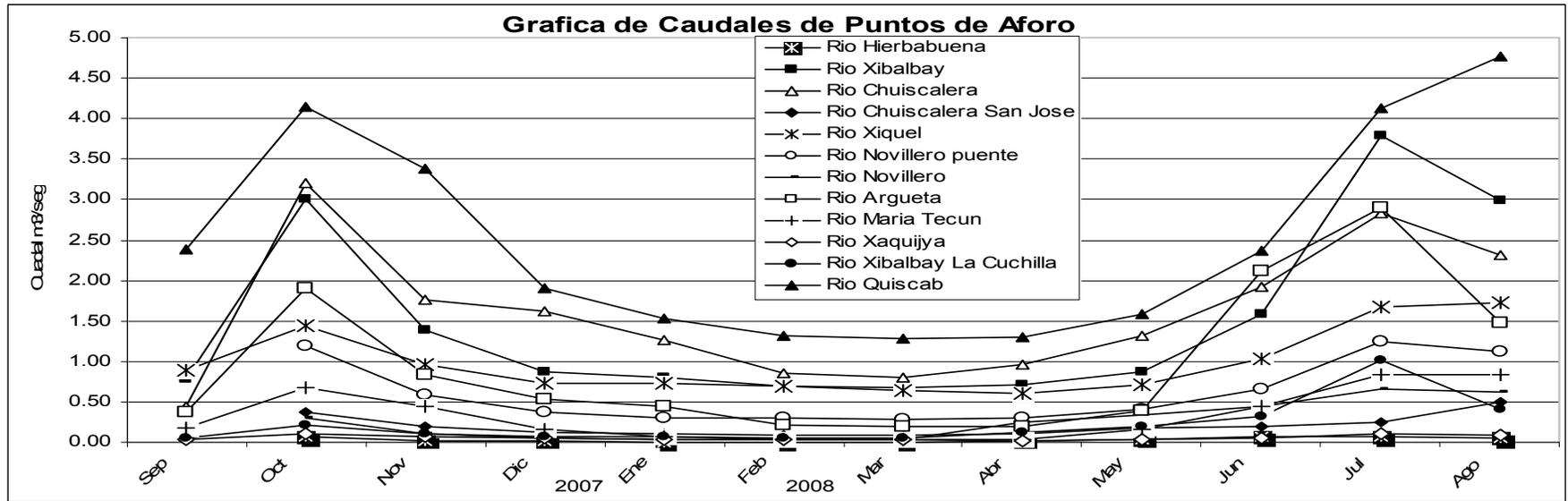


Figura 25 Grafica de caudales mensuales de los cauces principales de la subcuenca del río Quiscab.

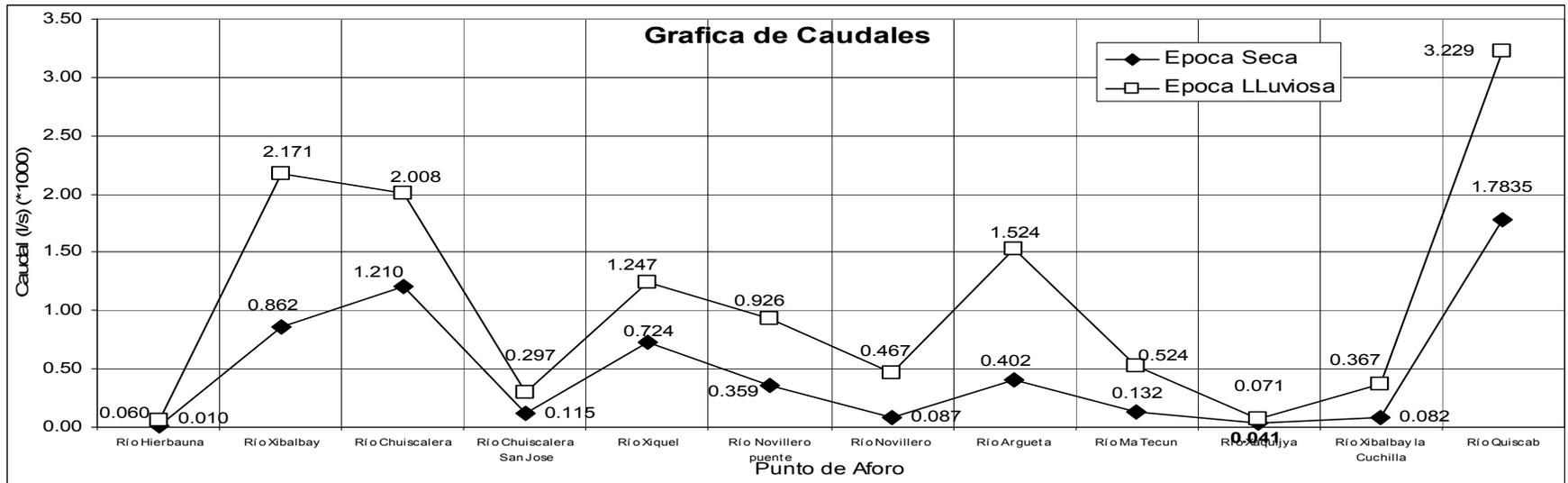


Figura 26 Grafica de caudales por épocas (Lluviosa y Seca), de los principales ríos de la subcuenca del río Quiscab.



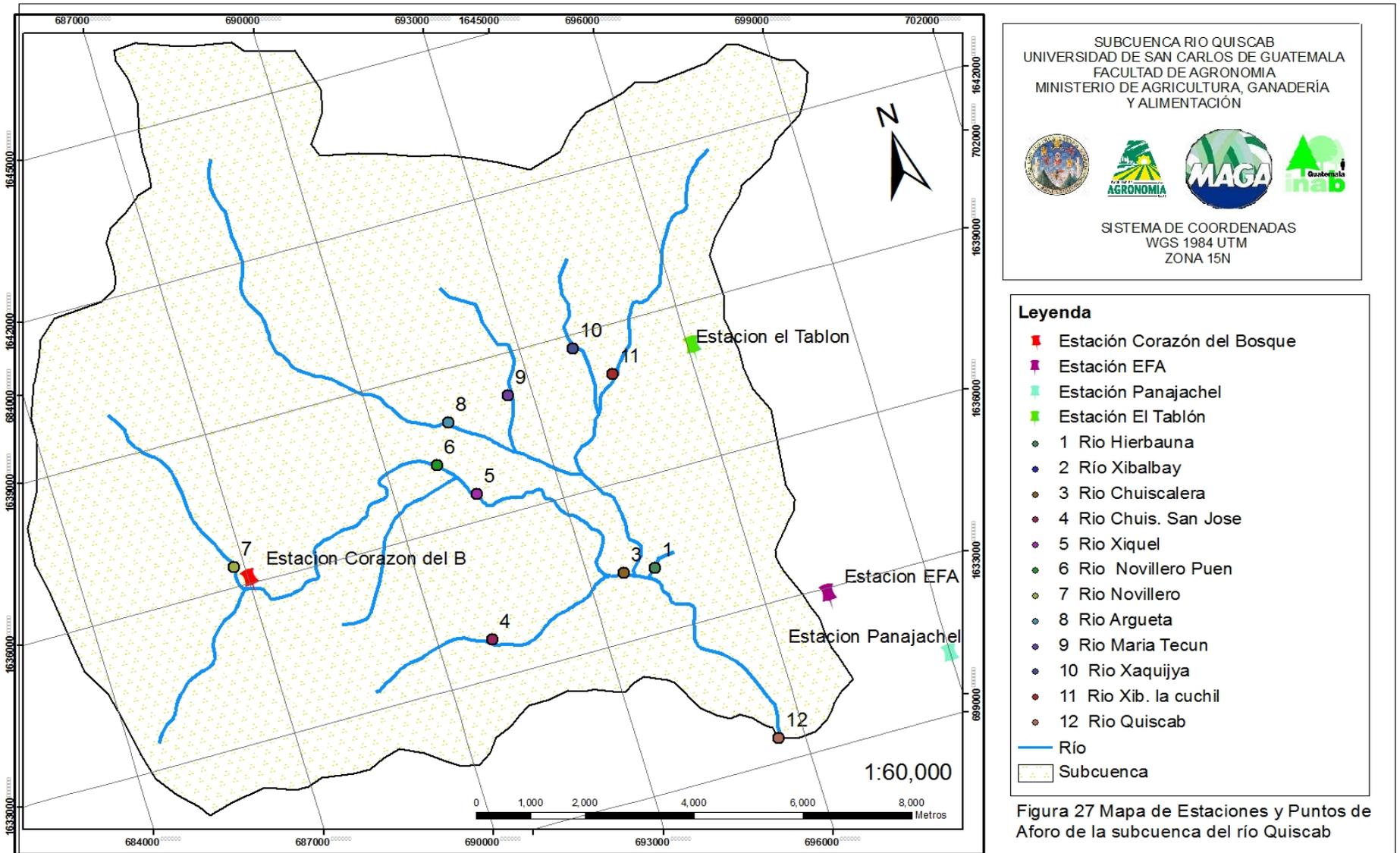


Figura 27 Mapa de estaciones y puntos de aforo de la subcuenca del río Quiscab



#### **2.6.4 Estimación de la infiltración básica del suelo**

La diferencia entre el volumen de agua que llueve en una cuenca y el que escurre por su salida recibe el nombre de pérdidas. En general, las pérdidas están constituidas por la intercepción del follaje de las plantas y en los techos de las construcciones, la retención en depresiones (que posteriormente se evapora o se infiltra), la evaporación y la infiltración (Aparicio, 2001).

La velocidad de infiltración o su sinónimo velocidad de entrada, se puede definir como la velocidad de penetración del agua en el perfil del suelo, cuando la superficie del terreno esta cubierta por una capa de agua poca profunda (Aparicio, 2001).

Este proceso depende de las características físicas del suelo, tales como: textura, estructura, compactación y contenido de humedad. En este caso, los suelos con textura gruesa, poco grado de saturación y compactación y un bajo contenido de humedad, tienen mayor capacidad de infiltración que los suelos con características diferentes. Existen diferentes métodos para definir la tasa de infiltración básica de un suelo, siendo los más utilizados, los permeámetros, método de doble cilindro y método de Porchet (Custodio y Llamas, 2001).

Para la estimación de la infiltración en la subcuenca del río Quiscab se utilizó el método de Porchet o cilindro invertido. En el cual se toman en cuenta diferentes variables para su análisis, los cuales son: el tiempo, altura del agua, profundidad del agujero y diámetro.

Cabe mencionar que si el suelo se encuentra en condiciones secas la velocidad de infiltración será mucho mayor que la que se obtiene en condiciones húmedas o saturadas. Esto quiere decir que a medida que el suelo se humedece o sature la velocidad de infiltración disminuye hasta alcanzar un punto de equilibrio, el cual se le denomina capacidad de infiltración saturada o infiltración básica ( $f_c$ ), la cual se considera cercana a la conductividad hidráulica o permeabilidad (Orozco, 2003).

El análisis de las pruebas de infiltración, así como la gráfica de infiltración básica vrs tiempo se realizaron en una hoja Excel, además se trazo una línea de tendencia. En total se realizaron 25 pruebas de infiltración, los cuales se muestran en el cuadro 48.

Cuadro 48 Velocidad de infiltración básica de los suelos de la subcuenca del río Quiscab

Prueba	Referencia	Coordenadas		Altitud msnm	Infiltración Básica	
		N	W		cm/h	m/día
1	Chacaya Chojolomatie	14.763782	-91.211929	2250	1.86	0.45
2	Xibalbay Chuiscalera	14.836470	-91.181223	1650	0.40	0.10
3	Playa	14.844295	-91.204805	1600	0.45	0.11
4	Maria Tecun	14.811573	-91.210374	2400	1.30	0.31
5	La Esperanza Sta Lucia	14.782767	-91.238108	2380	2.38	0.57
6	Corazón del Bosque	14.790402	-91.263428	2350	4.40	1.06
7	ENRO	14.779364	-91.258707	2450	2.86	0.69
8	Xajaxaq	14.827037	-91.172533	2325	0.90	0.22
9	Chunimanzana	14.816048	-91.177994	2280	1.80	0.43
10	Novillero Aforo	14.807206	-91.224933	2300	1.51	0.36
11	Xibalbay pasto	14.776988	-91.198229	2270	2.45	0.59
12	Poblado Sololá	14.775474	-91.185429	2250	0.85	0.20
13	Los Encuentro Vista	14.857050	-91.162587	2600	1.60	0.38
14	Panca	14.782855	-91.191131	1975	0.35	0.08
15	Panimaju Bosque	14.834256	-91.263814	2800	3.28	0.79
16	Panimaju Cultivo	14.831966	-91.253451	2490	1.18	0.28
17	Cultivo Barreneche	14.835916	-91.215250	2625	2.60	0.62
18	Barrio San Antonio P	14.777533	-91.194189	2050	1.95	0.47
19	San Jorge	14.836584	-91.181025	1630	0.50	0.12
20	Piedra de fuego	14.773285	-91.199993	2110	1.33	0.32
21	Barrio San Antonio C	14.775443	-91.192274	2000	1.28	0.31
22	Cultivo U del valle	14.786008	-91.187156	2200	1.80	0.43
23	Argueta	14.767704	-91.229010	2550	1.17	0.28
24	Planta tratamiento	14.760846	-91.179303	1835	0.41	0.10
25	Bosque U del valle	14.790817	-91.186582	2250	1.55	0.37

Se logró determinar que la subcuenca tiene un alto grado de infiltración, ya que los suelos localizados en el área en su mayoría son Franco Arenosos, el valor de menor infiltración se registró en el área denominada Panca con 0.35 cm/h, el cual es un suelo Franco Arenoso, ya que en el área la pendiente es mayor al 55%, y se localizan áreas con alta cantidad de pedregosidad y la de mayor infiltración en la subcuenca se localiza en el área de Corazón del Bosque registrando 4.40 cm/h, perteneciente a un suelo Franco Arcilloso Arenoso.

#### **2.6.4.1 Determinación de constantes de humedad y densidad aparente y textura**

Las propiedades físicas analizadas fueron: textura, densidad aparente, y constantes de humedad (Punto de Marchites Permanente y Capacidad de Campo) estas están estrechamente relacionados con el movimiento y retención del agua en el suelo. Para lograr obtener las propiedades físicas del suelo, se analizó una muestra de suelo representativa del perfil donde se perforo con el cilindro para medir la infiltración básica.

Las texturas predominantes en los suelos de la subcuenca son Franco Arenoso y Franco Arcilloso Arenoso, las cuales se caracterizan por facilitar la infiltración del agua en el suelo. Los valores de densidad variaron entre 0.80 a 1.14 gr/cc. Estas características son de vital importancia ya que se puede estimar la cantidad de agua de precipitación pluvial, que luego de infiltrarse en el suelo, se pierde por fuerzas gravitacionales a estratos más profundos, es decir, el agua de percolación que recarga la capa freática.

Cuadro 49 Propiedades físicas de los suelos, por unidad de muestreo de la subcuenca del río Quiscab.

Id.	Poblado	Infiltración	Densidad	Humedad %		%			Clase Estructural
		Cm/h	gr/cc	CC	PMP	Arcilla	Limo	Arena	
1	Chacaya Chojolomatie	1.86	1.0000	35.74	27.48	11.97	26.17	61.86	Franco Arenoso
2	Xibalbay Chuiscalera	0.4	1.0000	30.64	24.11	20.75	23.69	55.56	Franco Arcilloso Arenoso
3	Playa	0.45	1.1250	55.4	46.62	11.59	26.54	61.86	Franco Arenoso
4	Maria Tecun	1.3	0.8000	33.36	21.76	18.65	29.99	51.36	Franco
5	La Esperanza Santa Lucia	2.38	1.0256	36.78	27.7	16.17	26.54	57.26	Franco Arenoso
6	Corazón del Bosque	4.4	1.0256	29.68	25.39	32.59	18.14	49.26	Franco Arcilloso Arenoso
7	ENRO	2.86	1.1111	18.71	13.63	18.27	26.92	54.81	Franco Arenoso
8	Xajaxaq	0.9	1.0811	27.98	19.92	19.89	30.74	51.36	Franco Arenoso
9	Chunimanzana	1.8	0.9091	36.02	29.87	15.79	30.74	53.46	Franco Arenoso
10	Novillero Aforo	1.51	1.1111	19.11	12.05	18.27	20.62	61.11	Franco Arenoso
11	Xibalbay pasto	2.45	1.1111	31.78	24.47	22.47	28.27	49.26	Franco
12	Poblado Sololá	0.85	1.0000	29.26	23.86	28.39	28.11	42.96	Franco Arcilloso Arenoso
13	Los Encuentro Vista	1.6	0.9091	46.26	53.08	16.17	19.87	63.96	Franco Arenoso
14	Panca	0.35	0.9091	28.3	21.55	19.99	20.24	59.79	Franco Arenoso
15	Panimaju Bosque	3.28	1.0256	35.42	28	15.79	26.54	57.06	Franco Arenoso
16	Panimaju Cultivo	1.18	1.1429	17.35	12.72	13.69	20.24	66.06	Franco Arenoso
17	Cultivo Barreneche	2.6	1.0526	30.72	23.87	19.99	20.24	59.76	Franco Arenoso
18	Barrio San Antonio P	1.95	0.9756	40.9	24.66	32.97	19.87	47.16	Franco Arcilloso
19	San Jorge	0.5	0.9756	30.09	22.96	31.25	23.69	45.06	Franco Arcilloso Arenoso
20	Piedra de fuego	1.33	1.0000	29.23	23.01	26.67	22.34	50.99	Franco Arcilloso Arenoso
21	Barrio San Antonio C	1.28	1.0526	22.51	17.61	18.27	20.24	61.49	Franco Arenoso
22	Cultivo U del valle	1.8	0.8511	42.91	35.69	11.59	20.24	68.16	Franco Arenoso
23	Argueta	1.17	1.1429	11.33	7.16	9.87	20.24	69.89	Franco Arenoso
24	Planta tratamiento	0.41	0.9091	36.7	30.91	12.75	19.49	68.16	Franco Arenoso
25	Bosque U del valle	1.55	0.9302	29.12	21.63	15.79	24.44	59.76	Franco Arenoso

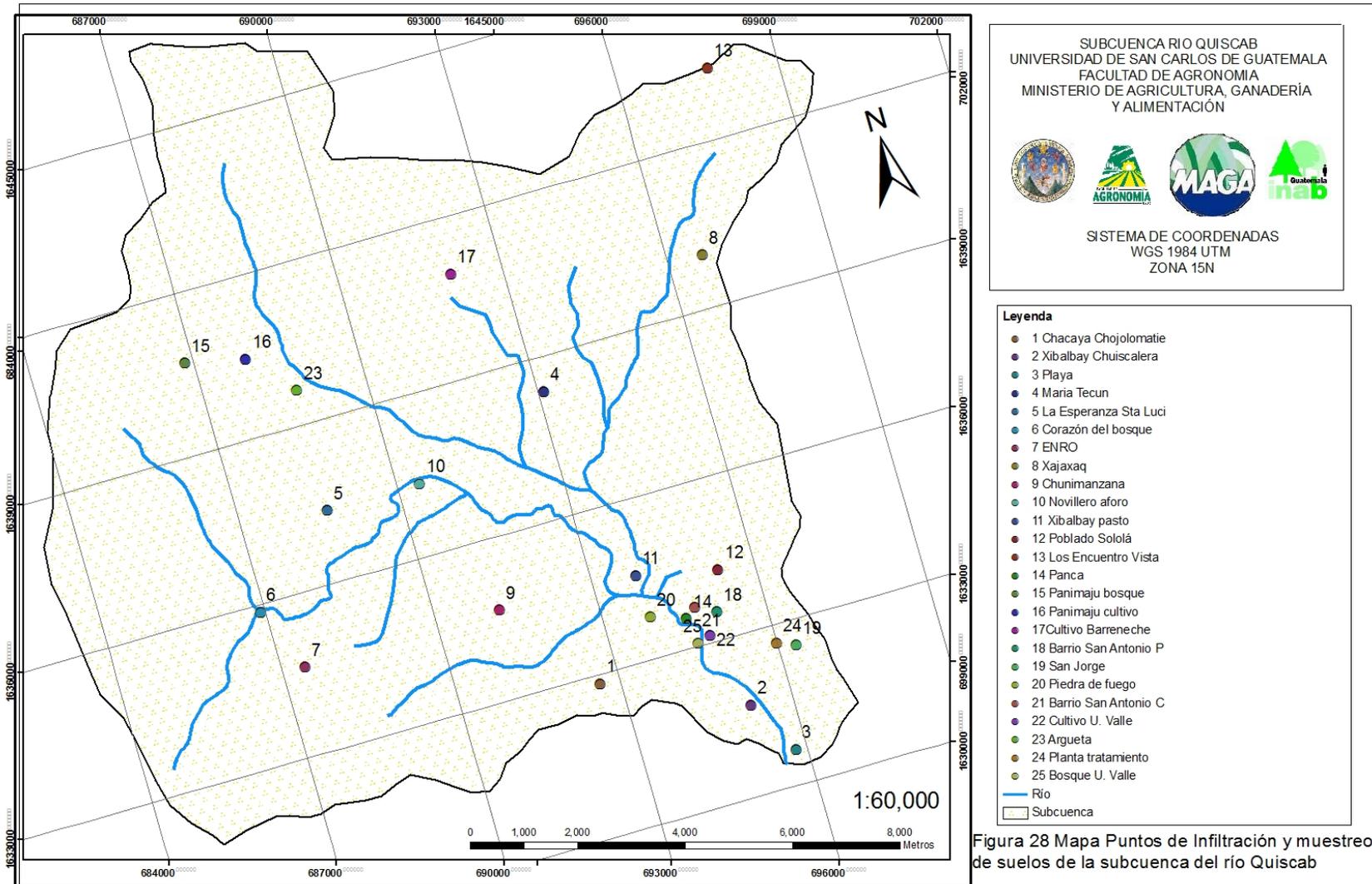


Figura 28 Mapa de puntos de infiltración y muestreo de suelos de la subcuenca del río Quiscab



## 2.7 Balance hídrico de los suelos

### 2.7.1 Factores que influyen en la recarga hídrica

#### 2.7.1.1 Unidades de muestreos

Se definieron 25 unidades de muestreo que se distribuyeron como se observa en la figura 29, para disminuir la variabilidad espacial que existe en los suelos de la subcuenca del río Quiscab, en cuanto a taxonomía, geología y uso.

Cuadro 50 Unidades de Muestreo de la subcuenca del río Quiscab.

Unidad	Descripción	Area (km <sup>2</sup> )	Area (ha)	%
1	Tv_Ds_Bosque Mixto	1.205	120.464	0.75
2	Qa_Eo_Bosque Mixto	0.436	43.578	0.27
3	Qa_Eo_Playa	0.238	23.845	0.15
4	Qp_Dd_Agricultura Anual	13.301	1330.090	8.33
5	Qp_Dd_Bosque Coniferas	2.837	283.741	1.78
6	Qp_Dd_Bosque Mixto	7.498	749.793	4.70
7	Qp_Dd_Poblado	12.078	1207.780	7.57
8	Qp_Ds_Agricultura anual	16.400	1639.966	10.28
9	Qp_Ds_Áreas Degradadas	0.443	44.286	0.28
10	Qp_Ds_Bosque Coniferas	0.234	23.386	0.15
11	Qp_Ds_Bosque Mixto	9.990	998.982	6.26
12	Qp_Ds_Poblados	14.887	1488.723	9.33
13	Tv_Dd_Agricultura Anual	17.075	1707.513	10.70
14	Tv_Dd_Áreas Degradadas	1.201	120.100	0.75
15	Tv_Dd_Bosque Coniferas	36.656	3665.599	22.97
16	Tv_Dd_Bosque Mixto	4.866	486.583	3.05
17	Tv_Dd_Poblado	12.053	1205.326	7.55
18	Tv_Ds_Agricultura Anual	1.157	115.695	0.72
19	Tv_Ds_Café	0.086	8.648	0.05
20	Tv_Ds_Poblado	0.819	81.882	0.51
21	Tv_Eo_Agricultua Anual	0.696	69.595	0.44
22	Tv_Eo_Áreas Degradadas	0.695	69.528	0.44
23	Tv_Eo_Bosque Mixto	2.475	247.546	1.55
24	Tv_Eo_Café	1.344	134.403	0.84
25	Tv_Eo_Playa	0.929	92.950	0.58
	Total	159.60	15960.00	100.00
Taxonomía		Geología		
Dd	Andisol Udands	Qp	Roca tipo ígnea y metamórfica	
Ds	Andisol Ustands	Tv	Rocas volcánicas	
Eo	Entisol Orthents	Qa	Rocas sedimentarias	

De las 25 unidades de muestreo que se identificaron la unidad 15 Tv\_Dd\_Bosque de Coniferas representa un 22.97% (36.646 km<sup>2</sup>) de la superficie total, y la que presenta una menor área es la unidad 19 Tv\_Ds\_Café, con un 0.05% (0.086 km<sup>2</sup>),

#### **2.7.1.1.1 Infiltración básica por unidad de muestreo**

Se determinó la velocidad de infiltración en cada unidad de muestreo. Los valores de infiltración básica se resumen en el cuadro 51, donde se establece que oscilan entre 0.35 a 4.40 cm/h. Estos valores son debido a que los suelos son de origen volcánico, con textura gruesa, lo que indica que tienden a tener una mayor infiltración, ya que existe una alta porosidad entre las partículas del suelo. Una limitante importante en la infiltración es la pendiente y la cobertura vegetal, ya que al no existir una cobertura adecuada y un porcentaje alto de pendiente el agua tiende a escurrir y provocar erosión en los suelos.

Cuadro 51 Infiltración básica de los suelos de la subcuenca del río Quiscab.

Unidad	Descripción	Coordenadas		Altitud msnm	Infiltración Básica (fc)		
		N	W		cm/h	m/día	mm/día
1	Tv_Ds_Bosque Mixto	14.763782	-91.211929	2250	1.86	0.45	446.4
2	Qa_Eo_Bosque Mixto	14.836470	-91.181223	1650	0.40	0.10	96
3	Qa_Eo_Playa	14.844295	-91.204805	1600	0.45	0.11	108
4	Qp_Dd_Agricultura Anual	14.811573	-91.210374	2400	1.30	0.31	312
5	Qp_Dd_Bosque Coniferas	14.782767	-91.238108	2380	2.38	0.57	571.2
6	Qp_Dd_Bosque Mixto	14.790402	-91.263428	2350	4.40	1.06	1056
7	Qp_Dd_Poblado	14.779364	-91.258707	2450	2.86	0.69	686.4
8	Qp_Ds_Agricultura anual	14.827037	-91.172533	2325	0.90	0.22	216
9	Qp_Ds_Áreas Degradadas	14.786008	-91.187156	2280	1.80	0.43	432
10	Qp_Ds_Bosque Coniferas	14.807206	-91.224933	2300	1.51	0.36	362.4
11	Qp_Ds_Bosque Mixto	14.776988	-91.198229	2270	2.45	0.59	588
12	Qp_Ds_Poblados	14.775474	-91.185429	2250	0.85	0.20	204
13	Tv_Dd_Agricultura Anual	14.857050	-91.162587	2600	1.60	0.38	384
14	Tv_Dd_Áreas Degradadas	14.782855	-91.191131	2550	0.35	0.08	84
15	Tv_Dd_Bosque Coniferas	14.834256	-91.263814	2800	3.28	0.79	787.2
16	Tv_Dd_Bosque Mixto	14.831966	-91.253451	2490	1.18	0.28	283.2
17	Tv_Dd_Poblado	14.835916	-91.215250	2625	2.60	0.62	624
18	Tv_Ds_Agricultura Anual	14.777533	-91.194189	2050	1.95	0.47	468
19	Tv_Ds_Café	14.836584	-91.181025	2040	0.50	0.12	120
20	Tv_Ds_Poblado	14.773285	-91.199993	2110	1.33	0.32	319.2
21	Tv_Eo_Agricultua Anual	14.775443	-91.192274	2000	1.28	0.31	307.2
22	Tv_Eo_Áreas Degradadas	14.816048	-91.177994	1800	1.80	0.43	432
23	Tv_Eo_Bosque Mixto	14.767704	-91.229010	1975	1.17	0.28	280.8
24	Tv_Eo_Café	14.760846	-91.179303	1835	0.41	0.10	98.4
25	Tv_Eo_Playa	14.790817	-91.186582	1630	1.55	0.37	372

### 2.7.1.1.2 Coeficiente o porcentaje de infiltración

Con la ecuación de Schosindky G. (2007), en el cálculo de la precipitación que infiltra mensualmente, se han considerado los siguientes factores: la precipitación mensual, la retención pluvial mensual en el follaje y el coeficiente de infiltración, determinando el porcentaje de infiltración por cada unidad de muestreo de la subcuenca del río Quiscab, reportándose que los valores oscilan entre 0.57 a 1.00, como se muestra en el cuadro 52.

Cuadro 52 Coeficiente de infiltración por unidad de mapeo de la subcuenca del río Quiscab.

Unidad	fc (mm/día)	Kfc (0.01%)	Kp (0.01%)	Kv (0.01%)	Pef pi %
1	446.40	0.84	0.20	0.2	0.89
2	96.00	0.48	0.06	0.2	0.62
3	108.00	0.51	0.06	0.2	0.58
4	312.00	0.76	0.15	0.1	1.00
5	571.20	0.88	0.20	0.1	0.92
6	1056.00	0.97	0.06	0.2	0.92
7	686.40	0.92	0.06	0.1	0.94
8	216.00	0.68	0.15	0.1	0.93
9	432.00	0.83	0.20	0.1	0.99
10	362.40	0.79	0.06	0.2	0.91
11	588.00	0.89	0.15	0.1	0.99
12	204.00	0.67	0.20	0.09	0.96
13	384.00	0.81	0.06	0.1	1.00
14	84.00	0.45	0.15	0.1	0.74
15	787.20	0.94	0.06	0.18	1.00
16	283.20	0.74	0.10	0.1	0.98
17	624.00	0.90	0.15	0.2	1.08
18	468.00	0.85	0.10	0.1	0.93
19	120.00	0.54	0.15	0.1	0.73
20	319.20	0.77	0.10	0.1	0.92
21	307.20	0.76	0.15	0.1	0.92
22	432.00	0.83	0.15	0.18	0.87
23	280.80	0.74	0.10	0.2	0.83
24	98.40	0.49	0.06	0.1	0.57
25	372.00	0.80	0.20	0.18	0.75

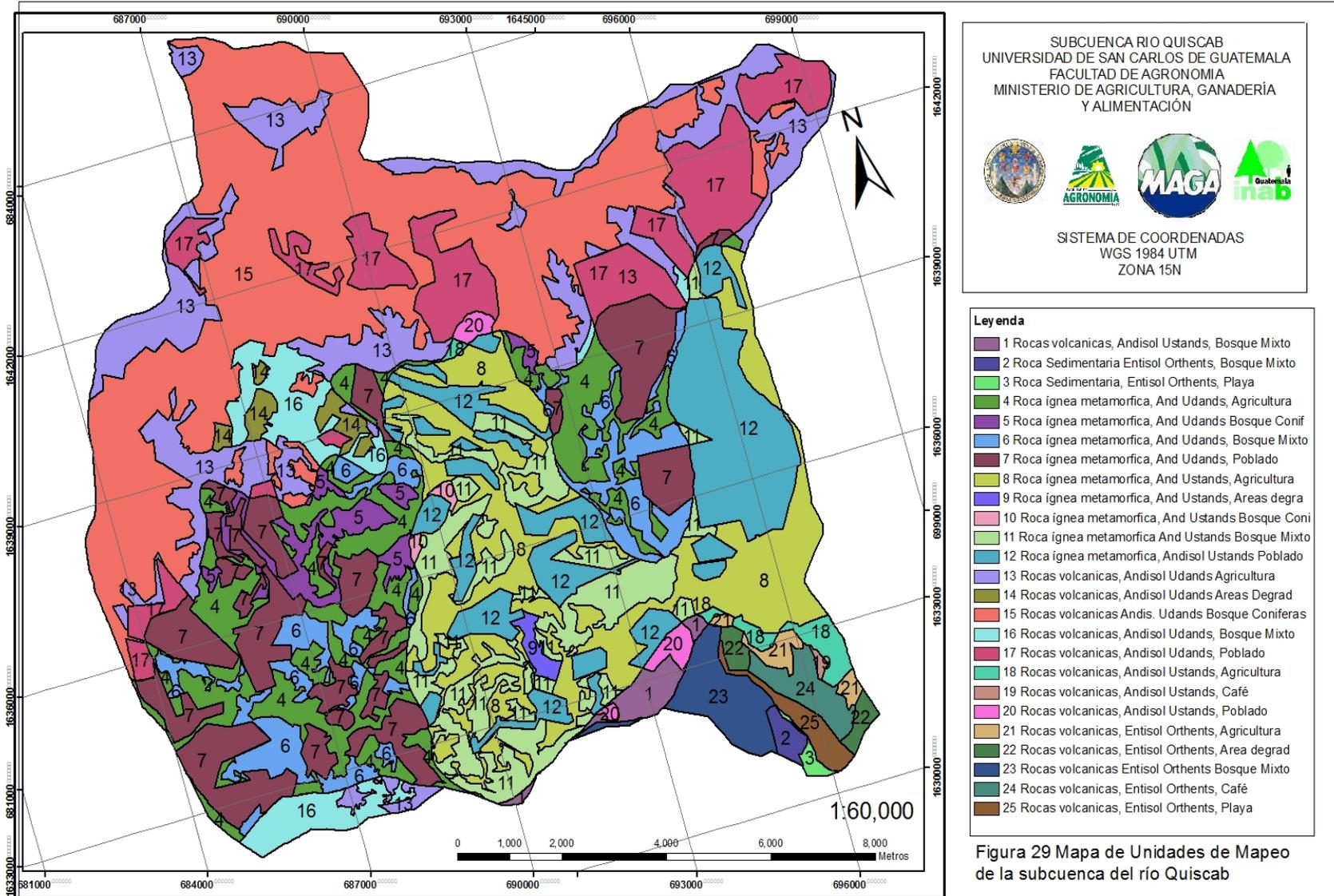


Figura 29 Mapa de unidades de mapeo de la subcuenca del río Quiscab



### **2.7.1.2 Precipitación media mensual**

Se determinó la precipitación media mensual para cada unidad de muestreo, por el método de las Isoyetas, los valores se presentan en el cuadro 53. Esto también influye para lograr determinar que unidades de muestreo son de mayor relevancia en el área. Es importante destacar que las unidades de muestreo que presentan una mayor precipitación son: Qp\_Dd\_Poblado (7), Tv\_Dd\_Agricultura Anual (13), Tv\_Dd\_Áreas Degradadas (14), Tv\_Dd\_Bosque Coníferas (15), Tv\_Dd\_Bosque Mixto (16) y Tv\_Dd\_Poblado (17), ya que la precipitación es uno de los factores más importantes que contribuyen a la recarga hídrica en las partes altas de la subcuenca.

Cuadro 53 Precipitación media mensual y anual en mm, para cada unidad de muestreo

Unidad	Altura msnm	Año 2007					Año 2008							total
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
1	2250	165.87	280.16	184.78	51.79	0.11	1.77	30.50	3.22	18.57	129.03	240.11	236.55	1342.46
2	1650	164.23	220.59	180.41	28.78	0.00	0.15	16.41	0.98	11.93	105.56	199.96	208.50	1137.52
3	1600	164.09	215.63	180.05	26.87	0.00	0.01	15.24	0.80	11.37	103.61	196.62	206.17	1120.45
4	2400	166.28	295.05	185.88	57.55	0.14	2.18	34.02	3.78	20.23	134.94	250.21	243.61	1393.85
5	2380	166.23	293.06	185.73	56.78	0.13	2.12	33.55	3.71	20.01	134.16	248.87	242.67	1387.02
6	2350	166.14	290.08	185.51	55.63	0.13	2.04	32.84	3.59	19.67	132.98	246.86	241.27	1376.77
7	2450	166.42	300.01	186.24	59.46	0.15	2.31	35.19	3.97	20.78	136.89	253.56	245.95	1410.93
8	2325	166.08	287.60	185.33	54.67	0.12	1.97	32.26	3.50	19.40	131.97	245.12	240.06	1368.08
9	2280	165.95	283.13	185.00	52.95	0.12	1.85	31.20	3.33	18.90	130.21	242.11	237.95	1352.71
10	2300	166.01	285.12	185.15	53.71	0.12	1.91	31.67	3.41	19.12	130.99	243.45	238.89	1359.54
11	2270	165.92	282.14	184.93	52.56	0.11	1.82	30.97	3.30	18.79	129.81	241.44	237.49	1349.29
12	2250	165.87	280.16	184.78	51.79	0.11	1.77	30.50	3.22	18.57	129.03	240.11	236.55	1342.46
13	2600	166.83	314.90	187.33	65.22	0.17	2.72	38.71	4.53	22.44	142.72	263.53	252.91	1462.01
14	2550	166.69	309.94	186.97	63.30	0.16	2.58	37.54	4.34	21.89	140.81	260.25	250.62	1445.08
15	2800	167.38	334.75	188.79	72.89	0.21	3.26	43.41	5.27	24.65	150.59	276.97	262.31	1530.47
16	2490	166.53	303.98	186.53	61.00	0.15	2.42	36.13	4.12	21.22	138.46	256.23	247.82	1424.59
17	2625	166.90	317.38	187.52	66.18	0.18	2.78	39.30	4.62	22.72	143.74	265.26	254.13	1470.70
18	2050	165.32	260.30	183.33	44.12	0.07	1.23	25.80	2.48	16.35	121.25	226.79	227.25	1274.30
19	2040	165.29	259.31	183.25	43.74	0.07	1.20	25.57	2.44	16.24	120.86	226.12	226.78	1270.88
20	2110	165.49	266.26	183.76	46.43	0.09	1.39	27.21	2.70	17.02	123.59	230.81	230.05	1294.79
21	2000	165.18	255.34	182.96	42.21	0.07	1.09	24.63	2.29	15.80	119.29	223.45	224.91	1257.22
22	1800	164.64	235.48	181.51	34.54	0.03	0.55	19.94	1.54	13.59	111.47	210.06	215.56	1188.91
23	1975	165.12	252.86	182.78	41.25	0.06	1.03	24.04	2.20	15.52	118.31	221.77	223.74	1248.68
24	1835	164.73	238.96	181.76	35.88	0.04	0.65	20.76	1.67	13.97	112.84	212.41	217.20	1200.86
25	1630	164.17	218.61	180.27	28.02	0.00	0.09	15.95	0.91	11.70	104.82	198.69	207.62	1130.84

### **2.7.1.3 Evapotranspiración potencial mensual**

La evapotranspiración potencial media mensual que se muestra en cuadro 54, se determinó trazando Isopletras, ya que esta sigue el patrón de las temperaturas y los datos de las estaciones meteorológicas evidencia que para la subcuenca del río Quiscab, la temperatura es inversamente proporcional a la elevación, o sea que la temperatura disminuye conforme la elevación aumenta.

Las unidades que presentaron un mayor índice de evapotranspiración potencial son, Qa\_Eo\_Bosque Mixto (2), Qa\_Eo\_Playa (3), Tv\_Eo\_Agricultura Anual (21), Tv\_Eo\_Áreas Degradadas (22), Tv\_Eo\_Bosque Mixto (23), Tv\_Eo\_Café (24) y Tv\_Eo\_Playa (25), ya que estas se localizan en la parte baja de la subcuenca, en condiciones reales las plantas y el suelo van a liberar más agua a la atmósfera y por lo mismo tienen menores posibilidades de recarga hídrica, en cambio las unidades Qp\_Dd\_Poblado (7), Tv\_Dd\_Agricultura Anual (13), Tv\_Dd\_Áreas Degradadas (14), Tv\_Dd\_Bosque Coníferas (15), Tv\_Dd\_Bosque Mixto (16) y Tv\_Dd\_Poblado (17), presentan menor evapotranspiración potencial, lo que expresa, que las plantas tienen menor disponibilidad de utilizar agua ya que es el límite máximo que las plantas y el suelo estaría liberando a la atmósfera. Esto implica una mayor recarga hídrica siempre que existe infiltración de agua y el suelo este a capacidad de campo.

Cuadro 54 Evapotranspiración potencial media mensual y anual en mm, por unidad de muestreo

Unidad	Altura msnm	Año 2007					Año 2008							Total
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
1	2250	123.65	108.20	104.64	91.96	89.28	91.49	97.51	117.33	131.72	130.57	122.46	127.55	1336.37
2	1650	138.04	126.26	118.45	99.48	96.22	99.61	102.75	124.93	144.36	142.54	137.27	141.20	1471.10
3	1600	139.24	127.61	119.60	100.11	96.80	100.28	103.18	125.56	144.97	143.12	137.98	141.86	1480.32
4	2400	120.06	105.99	101.19	90.08	87.55	89.46	96.21	115.43	128.67	127.67	118.88	124.24	1305.42
5	2380	120.54	106.53	101.65	90.33	87.78	89.73	96.38	115.68	129.07	128.05	119.36	124.68	1309.79
6	2350	121.26	107.34	102.34	90.71	88.13	90.14	96.64	116.06	127.65	126.70	117.68	123.14	1307.79
7	2450	118.86	104.64	100.04	89.45	86.97	88.79	95.77	114.79	127.65	126.70	117.68	123.14	1294.49
8	2325	121.86	108.02	102.91	91.02	88.42	90.48	96.86	116.38	130.19	129.12	120.67	125.89	1321.81
9	2280	122.94	109.24	103.95	91.58	88.94	91.09	97.25	116.95	131.11	129.99	121.74	126.89	1331.65
10	2300	122.46	108.69	103.49	91.33	88.70	90.82	97.08	116.69	130.70	129.60	121.27	126.44	1327.28
11	2270	123.18	109.51	104.18	91.71	89.05	91.22	97.34	117.07	131.32	130.18	121.98	127.11	1333.84
12	2250	123.65	110.05	104.64	91.96	89.28	91.49	97.51	117.33	131.72	130.57	122.46	127.55	1338.21
13	2600	115.26	100.59	96.58	87.57	85.24	86.76	94.46	112.89	124.59	123.8	114.1	119.84	1261.69
14	2550	116.46	101.94	97.74	88.20	85.81	87.44	94.90	113.53	125.61	124.77	115.3	120.94	1272.62
15	2800	110.47	95.18	91.98	85.06	82.92	84.05	92.72	110.36	120.51	119.94	109.33	115.44	1217.97
16	2490	117.90	103.56	99.12	88.95	86.51	88.25	95.42	114.29	126.83	125.93	116.73	122.26	1285.74
17	2625	114.66	99.91	96.01	87.26	84.95	86.42	94.24	112.58	124.08	123.32	113.5	119.29	1256.23
18	2050	128.45	115.45	109.25	94.47	91.59	94.20	99.26	119.86	135.8	134.43	127.24	131.95	1381.94
19	2040	128.69	115.72	109.48	94.59	91.71	94.33	99.35	119.99	136.00	134.62	127.48	132.17	1384.12
20	2110	127.01	113.83	107.86	93.71	90.90	93.39	98.74	119.10	134.58	133.27	125.8	130.63	1368.82
21	2000	129.65	116.80	110.40	95.09	92.17	94.87	99.70	120.49	136.82	135.4	128.43	133.05	1392.87
22	1800	134.44	122.21	115.00	97.60	94.48	97.58	101.44	123.03	140.89	139.26	133.21	137.45	1436.59
23	1975	130.25	117.48	110.97	95.41	92.46	95.21	99.91	120.81	137.33	135.88	129.03	133.6	1398.33
24	1835	133.61	121.26	114.19	97.16	94.08	97.10	101.13	122.58	140.18	138.58	132.37	136.68	1428.94
25	1630	138.52	126.80	118.91	99.73	96.45	99.88	102.92	125.18	144.36	142.54	137.27	141.2	1473.76

## **2.7.2 Balance hídrico de los suelos**

### **2.7.2.1 Cálculo de la recarga hídrica**

El balance hídrico de suelos de forma mensual se aplicó a las 25 unidades de mapeo que se localizaron en la subcuenca, definidas en base a la sobreposición de tres temas: Taxonomía de suelos, geología y uso actual.

De acuerdo a los resultados obtenidos, que se muestran en el cuadro 55, potencialmente existe recarga hídrica natural muy alta en las unidades de 4, 7, 9, 13, 15 y 17 lo que representa aproximadamente el 57.40% (91.61 km<sup>2</sup>) del área total de la subcuenca del río Quiscab, localizadas en la parte alta y media de la subcuenca. La recarga hídrica alta lo representan las unidades 6, 8, 11, 12, 16, 20 y 21 con un 34.56% (55.16 km<sup>2</sup>), la recarga moderada se localiza en las unidades 5, 10, 22, 23 y 25 con un 4.49% (7.17 km<sup>2</sup>), la recarga baja con un 1.48% (2.36 km<sup>2</sup>) se localiza en las unidades 1 y 18, con una recarga muy baja las unidades 3, 14 y 19 con un 0.96% (1.53 km<sup>2</sup>), y con una recarga nula las unidades 2 y 24 con 1.12% (1.78 km<sup>2</sup>). El área presenta infiltraciones en las cuales los valores van de 0.10 a 1.06 m/día, con profundidades efectivas de suelo mayores a 0.60 metros. La recarga hídrica potencial constituye un 25.94% de la precipitación del área.

En el cuadro 56 se presenta el resumen del balance hídrico de suelos considerando la Precipitación Efectiva por la ecuación de Schosinsky y Losilla (2003), en este balance se estima un error de 0.002%. De acuerdo con estos valores se deduce que el volumen de los factores que constituye las salidas son mayores que el del calculado de la precipitación pluvial, como única forma de entrada de agua, siendo de 4,494.80, m<sup>3</sup>/año, mayor el de salida que el de entrada. Esto sucede ya que posiblemente exista una alimentación de agua por parte de cuencas vecinas, ya que regularmente las cuencas hidrológicas son de menor tamaño que las cuencas geológicas.

Cuadro 55 Recarga hídrica natural anual (2008) de las unidades de mapeo de la subcuenca del río Quiscab (m<sup>3</sup>/año)

Unidad	Precipitación (m <sup>3</sup> )	Evapotranspiración real (m <sup>3</sup> )	Escurrentía superficial (m <sup>3</sup> )	Retención (m <sup>3</sup> )	Recarga potencial (m <sup>3</sup> )
1	1617181.30	1063058.85	0.00	329902.50	224219.68
2	495696.81	313223.73	108334.26	77577.10	1063.30
3	267175.40	169872.87	54617.32	29193.00	13493.97
4	18539466.39	11870525.65	0.00	1987736.59	4681253.50
5	3935551.31	2541841.45	0.00	803472.24	590210.69
6	10322916.14	6157375.13	0.00	1904491.36	2261000.80
7	17040932.07	10053320.17	0.00	1827083.94	5160482.12
8	22436052.13	13814584.84	1423490.82	2405497.62	4792309.77
9	599060.41	371426.22	0.00	64228.10	163406.28
10	317947.44	195210.95	0.00	64880.67	57855.61
11	13479157.75	8436998.33	0.00	2091657.53	2950491.92
12	19985509.90	12706696.86	793609.98	2142733.03	4342455.93
13	24964003.77	14616136.41	742426.44	2676669.55	6928744.30
14	1735535.32	912624.86	469337.23	186082.32	167490.90
15	56100893.70	26797728.38	0.00	11468985.17	17834362.07
16	6931817.16	4046718.74	346009.39	1076273.62	1462815.40
17	17726724.22	10261901.46	0.00	1900677.27	5564144.76
18	1474295.77	1098913.20	0.00	158737.35	216649.63
19	109901.10	68800.61	20909.37	11836.51	8355.35
20	1060198.95	669998.84	30926.80	113957.29	245318.24
21	874960.22	602691.30	0.00	94344.91	177926.16
22	826627.40	585295.12	0.00	89691.43	151640.95
23	3091057.31	2041685.09	0.00	480632.91	568761.67
24	1613986.89	908494.28	507817.52	174923.14	22821.56
25	1051112.17	752390.49	0.00	114720.00	184003.19
total	226597761.04	131057513.80	4497479.14	32275985.14	58771277.77

Cuadro 56 Balance hídrico de los suelos de la subcuenca del río Quiscab, para el año 2008

Entrada		Salida		%
Factor	m <sup>3</sup> /año	Factor	m <sup>3</sup> /año	
Precipitación Pluvial	226597761.04	Evapotranspiración Real	131057513.80	57.837
		Escurrentía superficial	4497479.14	1.985
		Retención (Vegetal y techos)	32275985.14	14.244
		Recarga potencial	58771277.77	25.936
Sumatoria	226597761.04	Sumatoria	226602255.85	100.002

### 2.7.3 Principales áreas de recarga hídrica natural

Para la determinación de las principales áreas de recarga hídrica natural en cada una de las unidades de mapeo, se identificaron aquellas que por sus aportes en laminas de recarga potencial, constituyen áreas principales de recarga hídrica natural, por lo que la clasificación se realizó basándose en el volumen de recarga hídrica natural (Cuadro 57) de cada unidad de mapeo, obteniéndose los siguientes resultados.

Las unidades 4, 7, 9, 13, 15 y 17 se clasifican como Muy Alto con volúmenes de recarga que se encuentran entre 163,406 m<sup>3</sup> a 171834,362 m<sup>3</sup>, correspondiendo a un 57.40% (91.61 km<sup>2</sup>) del total del área por lo que solo con este valor se logra determinar que la subcuenca es una área de alto índice de recarga hídrica natural. La unidades 6, 8, 11, 12, 16, 20 y 21 se clasificaron como altas con 34.56% (55.16 km<sup>2</sup>), las unidades que presentaron una recarga moderada con 4.49% (7.17 km<sup>2</sup>) fueron la unidades 5, 10 22, 23, 25, estas tres clasificaciones aporta el 96.45% (153.94 km<sup>2</sup>) de recarga hídrica natural en la subcuenca del río Quiscab. El resto de la unidades se clasificaron como baja (1 y 18), muy baja (3, 14, 19) y sin recarga o nula (2 y 24), estas áreas son consideradas con la categoría nula, ya que presentan valores de recarga hídrica menores al 5%, esta recarga se ve afectada por la pendiente del área (mayor 55%).

De acuerdo al análisis de los datos se logro observar que las unidades 7, 12, 17 y 20, son poblados, y que la recarga hídrica natural, es alta (12 y 20) y muy alta (7 y 17), esto debido a que son áreas rurales, ya que cuentan con cultivos alrededor de las casas, siendo en la mayoría de las casas, mayor la dimensión del patio (área de cultivo), que la estructura de la casa.

Cuadro 57 Clasificación de recarga potencial, por unidad de muestreo

Unidad	Descripción	(km <sup>2</sup> )	Recarga hídrica natural (anual)			Recarga potencial (%)	Categoría
			mm	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>		
1	Tv_Ds_Bosque Mixto	1.20	186.13	224219.68	186130.00	13.86	Baja
2	Qa_Eo_Bosque Mixto	0.44	2.44	1063.30	2440.00	0.21	Nula
3	Qa_Eo_Playa	0.24	56.59	13493.97	56590.00	5.05	Muy Baja
4	Qp_Dd_Agricultura Anual	13.30	351.95	4681253.50	351950.00	25.25	Muy Alta
5	Qp_Dd_Bosque Coniferas	2.84	208.01	590210.69	208010.00	15.00	Moderada
6	Qp_Dd_Bosque Mixto	7.50	301.55	2261000.80	301550.00	21.90	Alta
7	Qp_Dd_Poblado	12.08	427.27	5160482.12	427270.00	30.28	Muy Alta
8	Qp_Ds_Agricultura Anual	16.40	292.22	4792309.77	292220.00	21.36	Alta
9	Qp_Ds_Areas Degradadas	0.44	368.98	163406.28	368980.00	27.28	Muy Alta
10	Qp_Ds_Bosque Coniferas	0.23	247.39	57855.61	247390.00	18.20	Moderada
11	Qp_Ds_Bosque Mixto	9.99	295.35	2950491.92	295350.00	21.89	Alta
12	Qp_Ds_Poblados	14.89	291.69	4342455.93	291690.00	21.73	Alta
13	Tv_Dd_Agricultura Anual	17.08	405.78	6928744.30	405780.00	27.75	Muy Alta
14	Tv_Dd_Areas Degradadas	1.20	139.46	167490.90	139460.00	9.65	Muy Baja
15	Tv_Dd_Bosque Coniferas	36.66	486.53	17834362.07	486533.36	31.79	Muy Alta
16	Tv_Dd_Bosque Mixto	4.87	300.63	1462815.40	300630.00	21.10	Alta
17	Tv_Dd_Poblado	12.05	461.63	5564144.76	461630.00	31.39	Muy Alta
18	Tv_Ds_Agricultura Anual	1.16	187.26	216649.63	187260.00	14.70	Baja
19	Tv_Ds_Cafe	0.09	96.62	8355.35	96620.00	7.60	Muy Baja
20	Tv_Ds_Poblado	0.82	299.60	245318.24	299600.00	23.14	Alta
21	Tv_Eo_Agricultura Anual	0.70	255.66	177926.16	255660.00	20.34	Alta
22	Tv_Eo_Areas Degradadas	0.70	218.10	151640.95	218100.00	18.34	Moderada
23	Tv_Eo_Bosque Mixto	2.48	229.76	568761.67	229760.00	18.40	Moderada
24	Tv_Eo_Cafe	1.34	16.98	22821.56	16980.00	1.41	Nula
25	Tv_Eo_Playa	0.93	197.96	184003.19	197960.00	17.51	Moderada
	Total	159.600	6325.54	58771277.77	6325543.36		

En el cuadro 58 se presentan los valores totales de las diferentes categorías de recarga hídrica presentes en la subcuenca del río Quiscab, en donde se puede observar el código, categoría, su extensión en hectáreas y kilómetros cuadrados así como el porcentaje que le corresponde.

Cuadro 58 Principales áreas de recarga potencial de la subcuenca del río Quiscab

Código	Categoría	Extensión		
		ha	km <sup>2</sup>	%
RMA	Recarga Muy Alta	9160.59	91.61	57.40
RA	Recarga Alta	5515.52	55.16	34.56
RM	Recarga Moderada	717.15	7.17	4.49
RB	Recarga Baja	236.16	2.36	1.48
RMB	Recarga Muy Baja	152.59	1.53	0.96
RN	Recarga Nula	177.98	1.78	1.12
Total		15960.00	159.60	100.00

Cuadro 59 Variables a comparar para la recarga potencial

Recarga potencial	Porcentaje %
Muy Alta	> 25
Alta	20 – 25
Moderada	15 – 20
Baja	10 -1 5
Muy Baja	5 – 10
Nula	< 5

Fuente: Plan maestro de riego y drenaje, 1991.



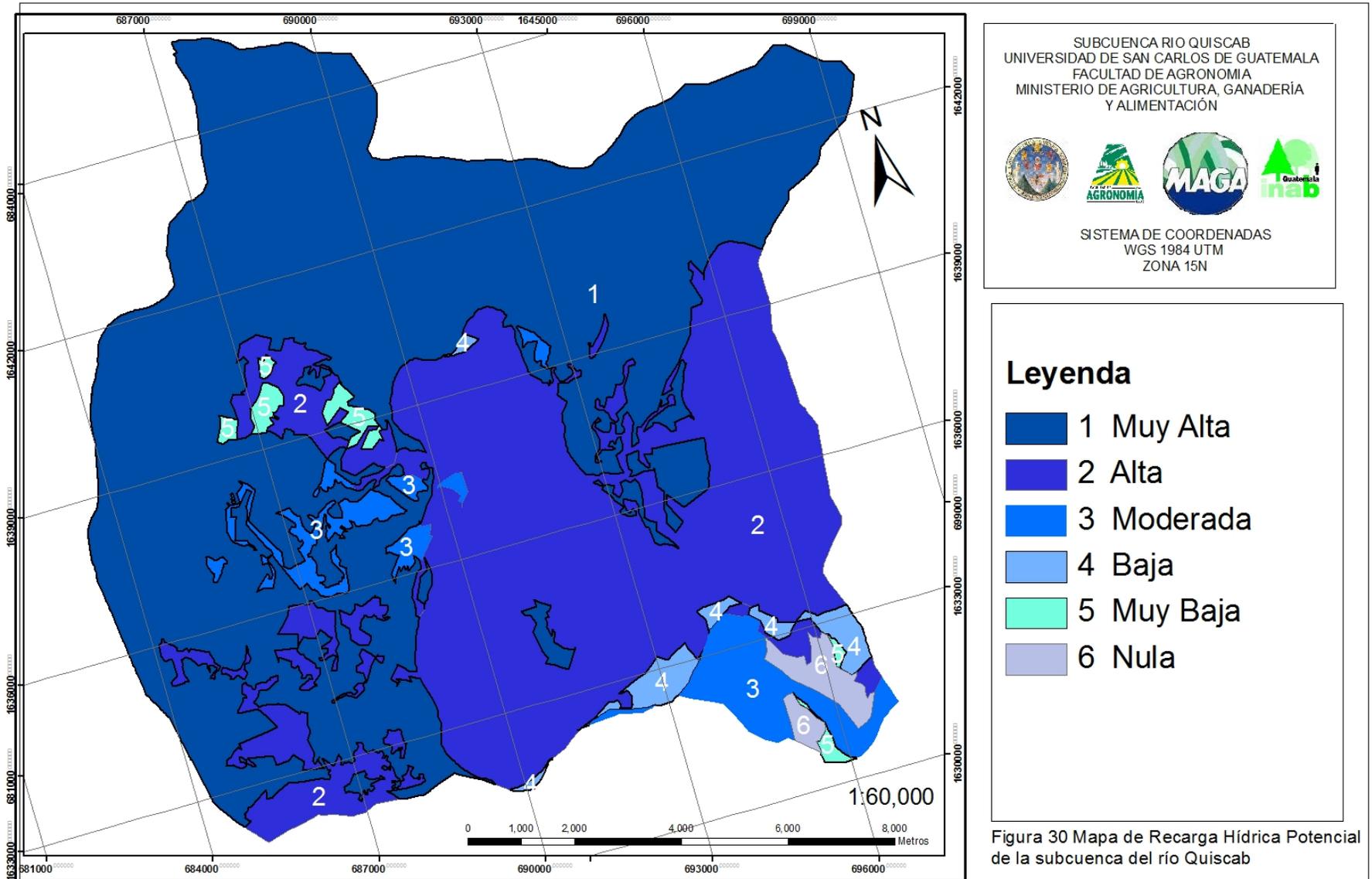


Figura 30 Mapa de recarga hídrica potencial de la subcuena del río Quiscab



#### **2.7.4 Determinación de áreas críticas de recarga hídrica**

Se priorizan como áreas de recarga hídrica natural a aquellas que por sus características específicas merecen una atención especial, partiendo de la premisa de que un manejo inapropiado disminuye el potencial de recarga hídrica natural o si se someten a un manejo contrario a su vocación.

Para ello se evaluaron las condiciones prevaecientes, geología, infiltración básica, recarga anual y pendiente, dando como resultado un valor que oscila entre 4 y 10 el cual es proporcional al grado de susceptibilidad.

En el cuadro 60 se presenta los valores asignados y la categoría otorgada a cada una de las unidades de mapeo, sobresaliendo que las áreas de recarga potencial muy alta y alta tienen una susceptibilidad alta y esto toma mayor relevancia ya que estas áreas se ubican en la parte alta y media de la subcuenca.

Por lo tanto es sumamente importante mantener la cobertura forestal en el área, ya que un manejo inadecuado, tendría repercusiones drásticas en el área, como la pérdida de suelos por erosión, cobertura forestal y de manantiales. Actualmente no existe un manejo sostenible de los recursos en las áreas críticas, existiendo problemas de avance de la frontera agrícola, poca adopción de prácticas de conservación de los suelos, contaminación de los principales ríos, en el cuadro 60 y 61 se muestran los valores.

Cuadro 60 Clasificación de susceptibilidad por unidad de muestreo

Unidad	Descripción	(km <sup>2</sup> )	Código Asignado				Suma	Susceptibilidad
			Geología	Infil. (Cm/h)	Recarga	Pendiente		
1	Tv_Ds_Bosque Mixto	1.20	1	2	3	0	6	Moderada
2	Qa_Eo_Bosque Mixto	0.44	2	1	0	2	5	Baja
3	Qa_Eo_Playa	0.24	2	1	1	3	7	Moderada
4	Qp_Dd_Agricultura Anual	13.30	1	1	4	1	7	Moderada
5	Qp_Dd_Bosque Coniferas	2.84	1	2	4	0	7	Moderada
6	Qp_Dd_Bosque Mixto	7.50	1	2	4	3	10	Alto
7	Qp_Dd_Poblado	12.08	1	2	4	3	10	Alto
8	Qp_Ds_Agricultura Anual	16.40	1	1	4	1	7	Moderada
9	Qp_Ds_Areas Degradadas	0.44	1	2	4	0	7	Moderada
10	Qp_Ds_Bosque Coniferas	0.23	1	2	4	2	9	Moderada
11	Qp_Ds_Bosque Mixto	9.99	1	2	4	1	8	Moderada
12	Qp_Ds_Poblados	14.89	1	1	4	0	6	Moderada
13	Tv_Dd_Agricultura Anual	17.08	1	2	4	3	10	Alto
14	Tv_Dd_Areas Degradadas	1.20	1	1	2	1	5	Baja
15	Tv_Dd_Bosque Coniferas	36.66	1	2	4	3	10	Alto
16	Tv_Dd_Bosque Mixto	4.87	1	1	4	2	8	Moderada
17	Tv_Dd_Poblado	12.05	1	2	4	1	8	Moderada
18	Tv_Ds_Agricultura Anual	1.16	1	2	3	2	8	Moderada
19	Tv_Ds_Cafe	0.09	1	1	1	1	4	Baja
20	Tv_Ds_Poblado	0.82	1	1	4	2	8	Moderada
21	Tv_Eo_Agricultua Anual	0.70	1	1	4	1	7	Moderada
22	Tv_Eo_Areas Degradadas	0.70	1	2	4	1	8	Moderada
23	Tv_Eo_Bosque Mixto	2.48	1	1	4	3	9	Moderada
24	Tv_Eo_Cafe	1.34	1	1	0	3	5	Baja
25	Tv_Eo_Playa	0.93	1	2	3	1	7	Moderada
	Total	159.60						

La categoría de Susceptibilidad Alta, ocupa una extensión de 73.31 km<sup>2</sup>, que representa, el 45.93%, el cual se ubica arriba de los 2400 msnm, encontrándose en esta área afloramiento de manantiales y la mayor cantidad de bosque, principalmente los bosque cantonales de Totonicapán, la categoría con Susceptibilidad Moderada es la que ocupa la mayor parte del área con 83.23 km<sup>2</sup>, correspondiente a un 52.15% , en la cual se localiza la mayor cantidad de cultivos y poblados del área, y el área de menor susceptibilidad o baja ocupa un área de 3.07 km<sup>2</sup>, con un porcentaje de 1.92%, el cual se puede observar en el cuadro 61.

Cuadro 61 Principales áreas de susceptibilidad de la subcuenca del río Quiscab

Código	Categoría	Extension		
		ha	Km <sup>2</sup>	%
SA	Susceptibilidad Alta	7330.68	73.31	45.93
SM	Susceptibilidad Moderada	8322.59	83.23	52.15
SB	Susceptibilidad Baja	306.73	3.07	1.92
SMA	Susceptibilidad Muy Alta	0.00	0.00	0.00
	Total	15960.00	159.60	100.00



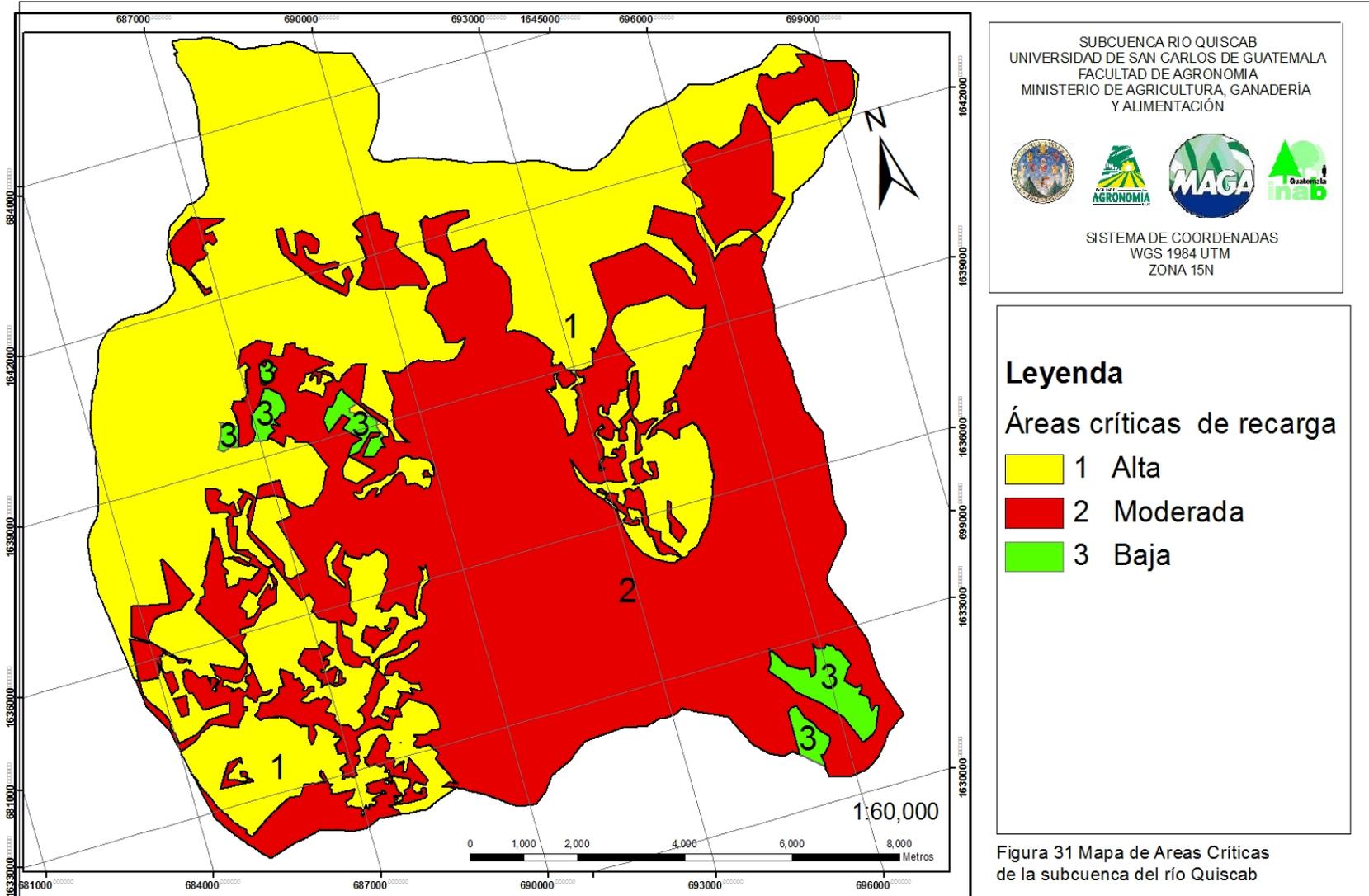


Figura 31 Mapa de áreas críticas de la subcuenca del río Quiscab



### **2.7.5 Consideraciones generales de manejo**

Estableciendo un área de manejo de 8,245.64 ha, que equivale al 51.67% de la superficie total de la subcuenca la cual se localiza en la parte alta de la misma, ya que se produce el 57.4% del total de la recarga potencial y se ha clasificado como área crítica de alta susceptibilidad, se propone las consideraciones generales para elaborar un proyecto de conservación y manejo de áreas de recarga hídrica.

#### **2.7.5.1 Restauración de áreas deforestadas**

Esta actividad se debe de llevar a cabo en un corto plazo ya que la subcuenca es la de mayor tamaño, y la de mayor aporte de agua drenada al lago de Atitlán, la mayor área deforestada se localiza en la parte media de la subcuenca la cual equivale a 5,515.52 ha, (34.56%), la cual su potencial de recarga es alta. Estas áreas se han deforestado con la finalidad de utilizarlos para cultivos de maíz, frijol, y otros, ya que las pendientes son moderadamente escarpadas. Para lograr llevar a cabo la reforestación se debe de efectuar talleres, capacitaciones, de aprovechamiento forestal y cultivos agroforestales.

#### **2.7.5.2 Manejo forestal sostenible**

Esta actividad se debe de implementar para el bosque de pino que existe en el lugar principalmente en la parte alta de la subcuenca, como La Esperanza Tonicapán, Maria Tecun, Sololá, Panimaju, Nahualá, debido a que cubre un área de 9,160.59 ha, donde se produce la mayor recarga hídrica de la subcuenca, para lo cual se recomienda tener en cuenta las siguientes actividades como mínimo para mantener el bosque natural: protección contra plagas y enfermedades, prevención y protección contra incendios forestales, mejoramiento y enriquecimiento del bosque, con las siguientes especies: *Pinus oocarpa*, *Pinus ayacahuite*, *Abies guatemalensis*, *Quercus sp.*

#### **2.7.5.3 Conservación del suelo**

Se deben de establecer prácticas de conservación de suelos en las áreas deforestadas que actualmente están siendo cultivadas con maíz, para contrarrestar la escorrentía superficial y mantener la infiltración de los suelos que contribuye a una mayor precipitación efectiva y por ende una mayor recarga potencial. También se debe de crear y brindar

alternativas de producción, a las personas que han transformado los bosques en áreas de cultivo ya que se compactan, alto grado de erosión, pérdida de nutrientes, con la cual disminuirá la infiltración y la recarga potencial, redundando en pérdidas y disminución de caudales de las fuentes de agua. Las prácticas de conservación de suelos aplicables en el área son: barreras vivas, sistemas agroforestales, acequias y construcción de diques en cárcavas.

#### **2.7.5.4 Sensibilidad social**

Los habitantes de las comunidades que existen en la subcuenca y otras que se abastecen de los recursos naturales que se da en la zona deben involucrarse conjuntamente con las autoridades municipales, ONGs y el INAB, para buscar el mantenimiento y la recuperación de áreas críticas de recarga hídrica.

En este aspecto se deben de considerar capacitaciones sobre, reforestación prevención y control de incendios forestales, vínculo hidrológico forestal, ordenamiento y capacitación sobre actividades agrícolas y manejo forestal.

#### **2.7.5.5 Conservación y protección del agua superficial**

Se deben de crear talleres para dar a conocer los efectos que provocan la deforestación, el cambio de uso del suelos, y crear conciencia sobre el drenaje de aguas servidas hacia los ríos, ya que esta agua llega directamente al lago de Atitlán, así mismo una alta erosión de los suelos, los cuales se pierden por la escorrentía superficial. Todo esto se debe a una falta de estrategia de manejo del recurso agua, la falta de agua en condiciones óptimas la población se ve obligada a consumir agua contaminada, corriendo el riesgo de contraer todo tipo de enfermedades.

## 2.8 Conclusiones

La subcuenca del río Quiscab, es un área de alta susceptibilidad, ya que presenta pendientes mayores al 55%, una degradación de los suelos por parte de la población, utilizando áreas boscosas para cultivos tradicionales (Maíz, frijol) por lo que se debe de crear un plan de trabajo para su conservación y manejo adecuado de los recursos naturales, tomando en cuenta que es una área protegida por CONAP, así mismo que sus aguas drenan directamente al lago de Atitlán.

La poca capacitación a la población sobre practicas de conservación ha llevado al mal uso del recurso suelo, el cual es sobre utilizado, ya que por sus características, de pendiente principalmente, el área es de uso forestal. Y actualmente la mayor parte tiende a ser utilizado para cultivos tradicionales (maíz y frijol).

El área presenta infiltraciones en los cuales los valores van de 0.10 a 1.06 m/día, con profundidades efectivas de suelo mayores a 0.60 metros. La recarga hídrica natural de la subcuenca equivale a un 25.94% del total de precipitación, perdiéndose la mayor parte por evapotranspiración (57.83%).

La subcuenca del río Quiscab, presenta una alta recarga hídrica como se observa en el cuadro 58, ya que tiene un 91.96 % del área con recarga muy alta y alta, esto debido a que la mayor parte de sus suelos presentan una textura Franca-Arenosa, y una infiltración alta. En la subcuenca predomina un potencial de recarga hídrica muy alta que representa a un 57.40% (91.61 km<sup>2</sup>) del área total, localizadas en la parte alta y media de la subcuenca. Una recarga hídrica alta con un 34.56% (55.16 km<sup>2</sup>), recarga moderada con un 4.49% (7.17 km<sup>2</sup>), la recarga baja con un 1.48% (2.36 km<sup>2</sup>), recarga muy baja con un 0.96% (1.53 km<sup>2</sup>), y con una recarga nula 1.12% (1.78 km<sup>2</sup>).

Una consideración muy importante es que las áreas de recarga potencial muy alta y alta tienen una susceptibilidad alta ya que ahí se localizan los bosques comunales de Totonicapan y esto toma mayor relevancia por que estas áreas se ubican en la parte alta y media de la subcuenca.

La categoría de susceptibilidad alta (área crítica) ocupa una extensión de 73.31 km<sup>2</sup>. (45.93%), el cual se ubica arriba de los 2400 msnm, encontrándose en esta área drenaje de manantiales y la mayor cantidad de bosque, la categoría con susceptibilidad moderada es la que ocupa la mayor parte del área con 83.23 km<sup>2</sup>. (52.15%), en la cual se localiza la mayor cantidad de cultivos y poblados del área, y el área de menor susceptibilidad baja ocupa un área de 3.07 km<sup>2</sup>. (1.92%).

## **2.9 Recomendaciones**

Continuar con el monitoreo y registro de la información climática, así como la instalación de nuevas estaciones meteorológicas dentro del área, principalmente en la parte alta, donde se ubica el caserío la Esperanza o la aldea Barreneche, en el que deben de intervenir organizaciones gubernamentales y ONG's, ya que es una área protegida, y de gran atracción turística.

Implementar un proyecto de conservación y manejo de las principales áreas críticas de recarga hídrica natural (Unidades 6, 7, 13 y 15) tomando en cuenta como mínimo consideraciones generales de manejo sostenible de los recursos naturales.

Llevar a cabo en la zona estudios hidrológicos que permitan definir y caracterizar con mayor precisión los medios acuíferos de la zona. Esto incluye estudios geofísicos con el fin de determinar y delimitar las zonas de los acuíferos en su extensión y espesor.

Mantener la cobertura boscosa existente en el área, principalmente en áreas críticas de recarga hídrica y en las áreas agrícolas, además de tratar de reducir las áreas de mayor susceptibilidad a erosión, con la implementación de programas y capacitación sobre prácticas agrícolas y forestales y de conservación de suelos, recuperación de las áreas degradadas o que han sufrido un cambio acelerado en su uso, así como relacionadas con el uso, manejo y aprovechamiento de los recursos naturales.



### **CAPITULO III**

#### **INFORME DE SERVICIOS PRESTADOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO QUISCAB.**

### 3.1 Presentación

A continuación se presenta el informe de servicios realizados dentro de la subcuenca del río Quiscab, los cuales son de mucha importancia, ya que la subcuenca es el afluente de mayor extensión que se localiza dentro de la cuenca del lago de Atitlán, a donde drena. Las actividades que se realizaron dentro de la subcuenca, son los siguientes, instalación y monitoreo climático, aforos de los principales cauces, muestreo de agua para análisis físico químico y bacteriológico de los principales cauces, cuantificación de sedimentos que arrastran los principales cauces, los cuales permitieron llevar a cabo un registro para su posterior revisión y uso en la investigación “Identificación de áreas de recarga hídrica natural en la subcuenca del río Quiscab, cuenca del lago de Atitlán”.

Con la realización de estas actividades se logro generar información de temperatura, precipitación, caudal, sedimentos, los cuales son parte de los objetivos del proyecto, “Impacto hidrológico derivado del uso del suelo en plantaciones de coníferas en la cuenca del lago de Atitlán”, financiado por el Ministerio de Alimentación y Ganadería (MAGA) a través del fondo competitivo de desarrollo tecnológico agroalimentario (Agrocyt) y la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, (FAUSAC).

El sistema hídrico superficial de la subcuenca del río Quiscab, esta dado por una serie de cursos de agua con régimen permanentes, que fluyen hacia un mismo punto y posteriormente drenan hacia el lago de Atitlán. La actividad de estas corrientes es variable aun dentro del área ya que depende de las condiciones meteorológicas, actividades humanas, que se desarrollan dentro del área, como ubicación de poblados, cultivos de hortalizas, manejo post cosecha de hortalizas (lavado y empaque de las hortalizas), y existencia de áreas con bosques de protección.

### **3.2 Objetivo general**

- Determinar el impacto hidrológico derivado del uso del suelo y prácticas silviculturales, de la subcuenca del río Quiscab, cuenca del lago de Atitlán

### **3.3 Servicios prestados.**

#### **3.3.1 Instalación y monitoreo climático e hidrométrico de la subcuenca del río Quiscab.**

##### **3.3.1.1 Definición del problema**

El río Quiscab, es el mayor afluente de la cuenca del lago de Atitlán por lo que es de vital importancia para la zona, en la generación de información en los aspectos climáticos e hidrométrica en el área, debido a que la cuenca del lago de Atitlán es considerada un área protegida y la información con la que se cuenta solo es la de la estación El Tablón, por lo que con el presente trabajo se genero mayor información para que la misma se utilice en la implementación de estrategias y proyectos sobre el manejo sostenible de los recursos suelo, agua y bosque.

##### **3.3.1.2 Objetivos específicos**

- Instalar una estación meteorológica dentro del área de la subcuenca del río Quiscab, para tener una mejor distribución de datos climáticos.
- Monitorear las estaciones meteorológicas (Agosto 2007 a Julio 2008).
- Realizar aforos de los principales cauces que drenan en la subcuenca del río Quiscab

##### **3.3.1.3 Metas**

- Lograr la instalación de por lo menos una estación en la subcuenca del río Quiscab principalmente en el área Oeste de la misma.
- Aforar los principales cauces que se localizan en la subcuenca del río Quiscab, durante los meses de Septiembre 2007 a Agosto 2008, cada 15 días en época seca y 8 días en época lluviosa.
- Realizar monitoreos y recabar datos climáticos de las estaciones ubicadas en el área y análisis la información semanal, realizando los cálculos necesarios y elaborar una base de datos para el registro de la información generada.

### 3.3.1.4 Metodología

#### A. Instalación de estación meteorológica.

Para conocer el comportamiento climático en la parte alta de la subcuenca del río Quiscab se instaló una estación meteorológica, tipo “C”, (Temperatura máxima, mínima y precipitación), en la Aldea El Novillero, Santa Lucia Uatlán, esto con la finalidad de obtener la mejor distribución de datos climáticos posibles. Ya que el cambio de altura entre la parte alta y la parte baja de la subcuenca oscila entre los 1500 metros, y las condiciones climáticas son muy cambiantes.

#### B. Monitoreo de estaciones meteorológicas

Para el monitoreo de las temperaturas máximas, mínimas y precipitación pluvial en las estaciones meteorológicas se realizó de la manera siguiente.

Cuadro 62 Tipo de estaciones meteorológicas actuales en la subcuenca del río Quiscab y río Panajachel.

Estación	Ubicación	Coordenadas (Grados)		Altitud (msnm)	Equipo	Tipo
		N	W			
Panajachel	Panajachel	14.746295	-91.151446	1590	- Pluviómetro	C
					- Termómetros de máx. y mín.	
Corazón del Bosque	Aldea El Novillero, Santa Lucia U.	14.792061	-91.262226	2380	- Termómetros de máx. y mín.	C
					- Pluviómetro	
El tablón	Aldea El Tablón, Sololá	14.810006	-91.177897	2400	- Pluviógrafo	A
					- Termómetro de máx. y mín.	
EFA	Sololá	14.762096	-91.168376	2060	- Pluviómetro	C
					- Termómetro de máx. y mín.	

##### a. Estación Panajachel

La estación se localiza en el Municipio de Panajachel, es tipo “C” cuenta con un termómetro de máxima y mínima y un pluviómetro, realizando lecturas diarias por el propietario del lugar donde se instaló la estación y monitoreada por el estudiante del ejercicio profesional supervisado de Agronomía (EPSA).

b. Estación EFA.

En la Escuela de Formación Agrícola, se instaló una estación de tipo “C”, cuenta con termómetros de máxima y mínima y un pluviómetro, en la cual se realizan lecturas diarias por personal y estudiantes de la escuela y monitoreada por el EPSA.

c. Estación El Tablón.

Esta estación se ubica en la aldea El Tablón, municipio de Sololá, es una estación tipo “A”, y es monitoreada por personas del lugar y supervisados por técnicos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, (INSIVUMEH).

d. El Novillero

La estación se ubica en la parte oeste de la subcuenca del río Quiscab en la aldea El Novillero, Santa Lucía Utatlán, y es una estación de tipo “C”, cuenta con un termómetro de máxima y mínima y un pluviómetro, en el cual las lecturas son realizadas por los trabajadores del área y monitoreada por el EPSA.

### **C. Medición de la información climática**

a. Precipitación

- Pluviómetros: El pluviómetro que se utiliza es uno estándar que tiene un colector con un diámetro de 20 cm. donde la lluvia pasa hacia un cilindro medidor o una probeta que se encuentra dentro del recipiente vertido. Según Herrera (1995), El tubo medidor tiene un área transversal que es un décimo de aquella del colector, de tal manera que 1 mm. de lluvia llenará el tubo en 1 cm. por lo tanto, 1 mm de altura de lluvia equivale a  $1 \text{ l/m}^2$ . La información generada se presenta en mm/mes y mm/año.

b. Temperatura

- La temperatura fue tomada en el campo por medio de un termómetro que mide la temperatura máxima y mínima, la temperatura media se estimó realizando la suma de los valores de temperatura máxima y mínima y luego dividido dos.

c. Evapotranspiración

- Para la determinación de la evapotranspiración, se utilizó el método de Hargreaves debido a que éste método está diseñado para la región centroamericana y por ser un método práctico y confiable.

**D. Aforo de ríos**

Para esta actividad se realizaron aforos en 12 puntos estratégicos de la subcuenca del río Quiscab, en época lluviosa los aforos fueron semanales y en época seca fueron quincenales. Al mismo tiempo se trato de realizar aforos en otros puntos importantes dentro de la subcuenca. El método de aforo es el de sección-velocidad para lo cual se utilizó molinete y/o flotador para determinar la velocidad.

a. Determinación del área

El método de sección-velocidad de acuerdo a Herrera (1995), este método se determina separadamente la sección transversal del cauce y la velocidad del agua; la sección es determinada por medio de mediciones o algún otro procedimiento topográfico y la velocidad por cualquiera de los métodos con molinete, flotador o pendiente hidráulica.

De tal manera que el caudal del río estará dado por:

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = \text{Área (m}^2\text{)} \times \text{Velocidad media (m/s)}$$

Para determinar el área de la sección, se determinó el ancho colocando dos estacas, una en cada orilla del río en dirección perpendicular a la corriente, luego se dividió el ancho del cauce en tramos según tabla 63 y luego se obtuvo la profundidad en cada uno de los tramos.

- Obtener la profundidad media del área parcial

- Obtener ancho del área parcial:

$$A_i = \frac{(a + 2b + c)}{4} \times L$$

Donde:  $A_i$  = Cualquier área parcial de la sección

$L$  = Ancho del área parcial o longitud (2 l)

$$\frac{(a + 2b + c)}{4} = \text{Profundidad media del \u00e1rea parcial}$$

4

Cuadro 63 Espaciamiento de sondeos seg\u00fan el ancho del cauce

Ancho del cauce (m)		Espaciamiento (m)
De	A	
0.00	1.00	0.20
1.00	2.00	0.25
2.00	4.00	0.50
4.00	8.00	1.00
8.00	15.00	1.50
15.00	25.00	3.00
25.00	50.00	3.00

Fuente: Herrera I. Manual de Hidrolog\u00eda, 1995

## b. Determinaci\u00f3n de la velocidad:

Para la determinaci\u00f3n de la velocidad se utiliz\u00f3 el m\u00e9todo del flotador.

## i. Flotadores

Para la realizaci\u00f3n de este m\u00e9todo se escogieron tramos que llenaran los requerimientos m\u00ednimos siguientes:

- Que el tramo de aforo fuese recto;
- Que est\u00e9 libre de obst\u00e1culos;
- La longitud debe ser no menor de seis veces el ancho del r\u00edo; y
- Se determinan tres perfiles transversales en la entrada, en el centro y en la salida del tramo escogido.

La velocidad se obtuvo tomando el tiempo que recorre el tramo conocido, dividiendo la distancia recorrida con el tiempo que el flotador tard\u00f3 en recorrer el tramo.

$$V = \frac{\text{longitud del tramo (m)}}{\text{Tiempo promedio (seg.)}}$$

El caudal (Q) se obtiene entonces de la fórmula:

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = \text{Área de la sección (m}^2\text{)} \times \text{Velocidad media (m/s)}$$

ii. Molinete

El método para obtener la velocidad media en cada área parcial se utilizó el de 6/10, es el método que más se ha empleado y consiste en colocar el molinete a 0.6 m. de la profundidad de la sección del río, midiendo de la parte superficial del espejo de agua hacia abajo. Es importante que de acuerdo al ancho del río existan espaciamentos recomendados para la toma de mediciones como se muestran en el cuadro 64.

Cuadro 64 Espaciamentos recomendados de acuerdo al ancho del río

Ancho del río (m)	Espaciamento (m)
< 1.2	0.1
1.2 – 3	0.2
3 – 5	0.3
5 – 8	0.4
8 – 12	0.5
12 – 18	0.8
18 – 25	1.0
25 – 35	1.5
35 – 50	2.0
50 – 70	3.0
70 -100	4.0
> 100	5.0

Fuente: Herrera (1995), Manual de Hidrología

### 3.3.1.5 Evaluación

- Se recolectaron y tabularon los datos diarios de la estación ubicada en el poblado de Panajachel, Escuela de Formación Agrícola (EFA), El Novillero y El Tablón tanto de precipitación como de temperaturas (máximas y mínimas). Desde agosto del 2007, hasta Julio 2008.
- Se tiene datos de caudal de los principales cauces de la subcuenca del río Quiscab, desde Septiembre del 2007 hasta Agosto 2008. En total se realizaron 33 Aforos.
- Se instaló la estación Meteorológica Tipo “C” en la aldea El Novillero, Santa Lucia Utatlán, Sololá.

### 3.3.1.6 Constancias

Cuadro 65 Precitación media mensual (mm) de las estaciones monitoreadas

Estación	Año 2007					Año 2008							Anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Panajachel	164.06	219.27	180.02	28.27	0.00	0.00	14.06	0.93	20.72	122.47	196.80	207.18	1,153.78
EFA	190.70	250.56	183.26	0.00	0.00	3.24	31.62	0.00	15.44	116.74	225.59	224.26	1,241.40
Novillero	166.14	287.98	186.34	34.08	1.15	1.64	10.71	2.53	17.15	129.95	244.87	240.77	1,323.31
El Tablón	165.86	306.23	185.36	62.56	17.65	2.75	3.23	5.16	37.66	147.79	255.03	178.84	1,368.12

Cuadro 66 Temperaturas mínima, máxima y media mensual (°C) de las estaciones monitoreadas

Estación		Año 2007					Año 2008						
		Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
EFA	T min	12.67	11.12	10.53	9.57	8.36	6.69	5.90	7.03	9.87	9.90	10.27	10.23
	T max	25.33	28.72	25.30	27.43	27.14	26.92	26.62	27.61	28.04	28.33	27.90	28.74
	T med	19.00	19.92	17.92	18.50	17.75	16.81	16.26	17.32	14.53	19.12	19.08	19.48
Novillero	T min	3.96	3.70	4.16	4.63	5.93	3.12	2.60	4.86	6.86	4.56	4.63	5.36
	T max	25.50	24.80	24.84	24.88	25.14	26.76	30.93	30.29	31.29	31.89	29.38	26.29
	T med	14.73	14.25	14.50	14.75	15.54	14.94	16.77	17.62	19.07	18.22	17.00	15.82
Panajachel	T min	14.00	14.10	14.00	11.47	12.65	11.48	10.97	11.94	12.90	12.77	12.43	12.57
	T max	27.90	26.87	28.00	28.63	29.00	30.48	30.48	30.16	30.07	29.87	29.47	29.20
	T med	20.95	20.48	21.00	20.05	20.82	20.98	20.72	21.05	21.48	21.32	20.95	20.88
El Tablón	T min	10.22	9.98	9.73	8.70	7.29	6.07	6.05	6.56	8.72	10.82	10.58	10.28
	T max	20.70	19.97	20.17	20.18	20.15	19.93	20.55	20.60	20.84	20.38	20.29	20.41
	T med	15.47	14.77	14.79	14.20	13.63	13.00	13.44	14.19	15.34	15.34	15.21	15.36

Cuadro 67 Evapotranspiración media mensual (mm) de las estaciones monitoreadas.

Estación	Año 2007					Año 2008							Anual
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
EFA	131.32	122.87	109.98	95.69	89.89	90.87	93.45	115.30	123.44	134.89	130.20	135.48	1373.37
Novillero	116.07	104.39	99.45	85.80	84.29	85.97	94.85	116.26	140.77	131.62	122.84	122.16	1304.47
Panajachel	138.29	124.71	119.48	99.78	97.66	101.85	105.71	127.53	149.99	142.95	136.79	140.57	1485.31
El Tablón	122.61	103.62	102.77	93.71	91.88	94.98	101.02	117.44	124.31	123.81	113.62	124.53	1314.31

De acuerdo al análisis de datos se logró determinar que la mayor precipitación en el área se presenta en el mes septiembre para las cuatro estaciones monitoreadas presentando una mayor precipitación la estación de El Tablón con 306.23 mm/mes, y el mes de menor precipitación fue el de diciembre, con un valor de 0.00 mm/mes, para las estaciones ubicadas en Panajachel y en la Escuela de Formación Agrícola. La menor precipitación media anual se presentó en la estación de Panajachel con 1153.78 mm/año. De acuerdo al cuadro 66 la estación que presentó la temperatura máxima fue la ubicada en el Novillero con un valor de 30.9°C en el mes de febrero y la mínima de 2.6°C para el mismo mes. En cuanto a la evapotranspiración la estación que presenta la mayor Etp, es la ubicada en Panajachel con 1485.31 mm/año.

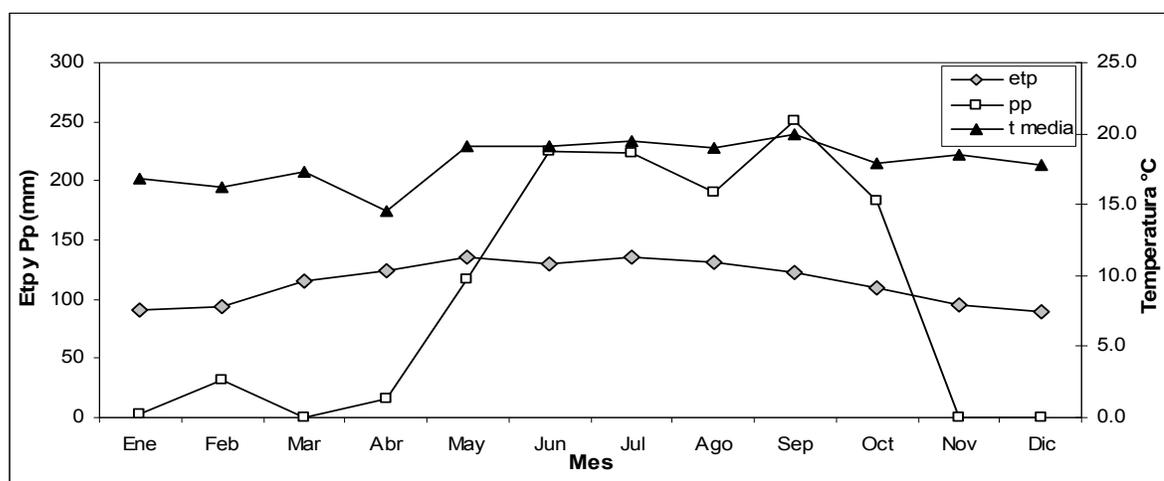


Figura 32 Climadiagrama de la estación EFA para el año 2008.

En la figura 32 se logró determinar que existe un superavit de agua entre los meses de junio a octubre, ya que al analizar los datos se determina que la época lluviosa empieza en el mes de mayo y termina en octubre y el mes que mayor precipitación presentó fue el de septiembre con 250.56 mm/mes, y la de menor precipitación fue en los meses de noviembre, diciembre y marzo con 0.00 mm/mes, captando una precipitación media anual de 1241.40 mm/año. La temperatura media anual es de 17.9 °C y una Etp de 1373 mm/año. Los valores del climadiagrama corresponden al año 2008.

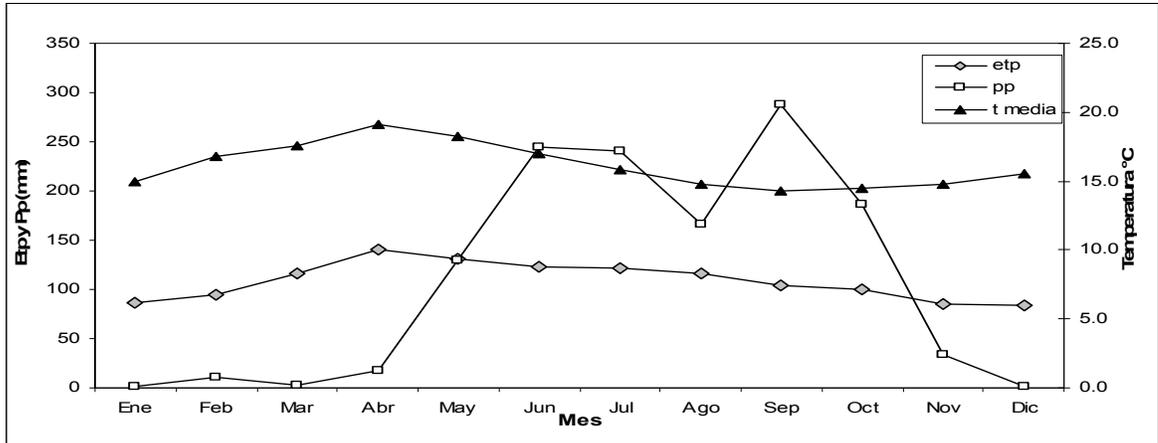


Figura 33 Climadiagrama de la estación El Novillero para el año 2008.

De acuerdo a la figura 33, se logra ver un superavit de agua el cual se localiza entre los meses de mayo a octubre, por lo que en estos meses no es necesario la aplicación de un riego constante a los cultivos, así mismo el mes que presento una mayor precipitación fue el de septiembre con 287.98 mm/mes y el de menor precipitación fue el mes de diciembre con 1.15 mm/mes, la estación ubicada en El Novillero capto un total de 1323.31 mm/año, en la cual se logra determinar que la época lluviosa inicia en el mes de mayo y termina en el mes de octubre. Presenta una Etp de 1304. mm/año y la temperatura media anual es de 16.1 °C. Los valores del climadiagrama corresponden al año 2008.

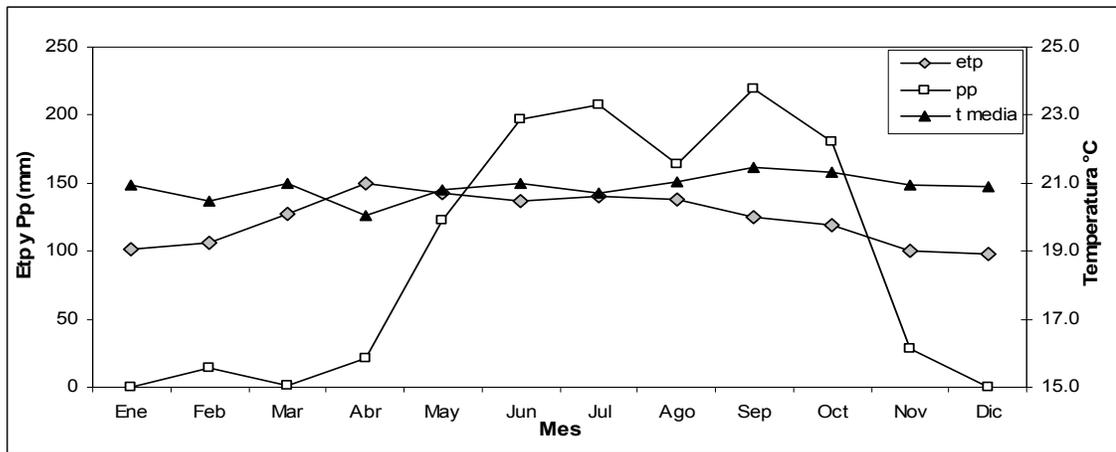


Figura 34 Climadiagrama de la estación Panajachel para el año 2008.

En la figura 34 se puede observar que el exceso de agua se presenta en los meses de junio a octubre, se logró determinar que para el ciclo de un año de estudio el mes que

mayor precipitación presentó fue el de septiembre con 219.2 mm/mes, y la de menor precipitación fue en los meses de diciembre y enero 0.00 mm/mes, la estación ubicada en el municipio de Panajachel capto un total de 1153.78 mm/año, en la cual se logra determinar que la época lluviosa inicia en el mes de mayo y termina en el mes de octubre, presentado una evapotranspiración anual de 1485 mm/año y una temperatura media anual de 20.9 °C. Esta estación es la que presenta una mayor temperatura y Etp, y la menor precipitación, ya que se ubica a una altura de 1590 msnm. Los valores del climadiagrama corresponden al año 2008.

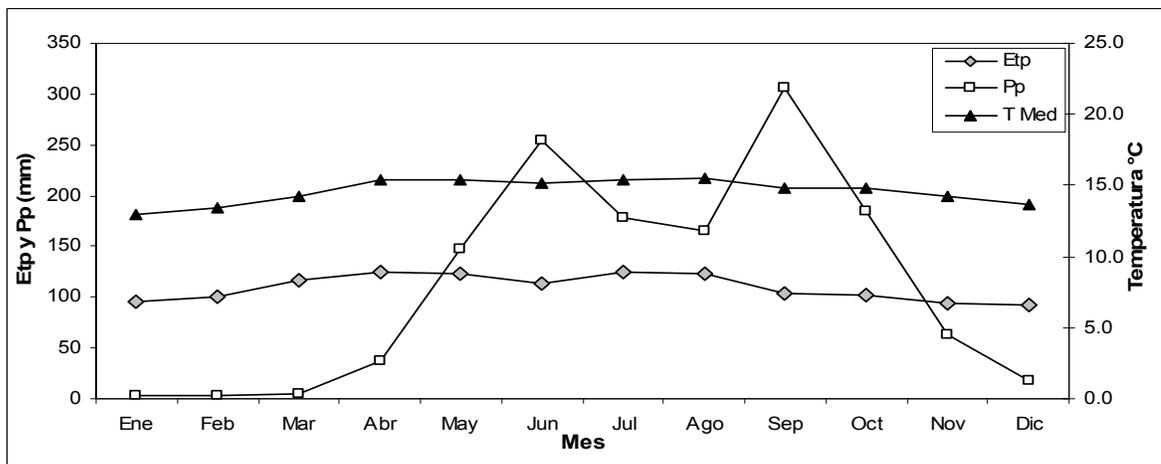


Figura 35 Climadiagrama de la estación El Tablón para el año 2008.

En la figura 35 se logró determinar que existe un superavit de agua, la cual se presenta entre los meses de mayo a octubre, por lo que en estos meses los cultivos tienen una mayor cantidad de agua en el suelo. Para el ciclo de un año de estudio el mes que mayor precipitación presentó fue el de septiembre con 306.23 mm/mes, y la de menor precipitación fue en el mes de diciembre con 2.75 mm/mes, la estación ubicada en la aldea El Tablón capto un total de 1368 mm/año, en la cual se logra determinar que la época lluviosa inicia en el mes de mayo y termina en el mes de octubre. Presentando una temperatura media de 14.5 °C y una evapotranspiración de 1314 mm/año. Los valores del climadiagrama corresponden al año 2008.

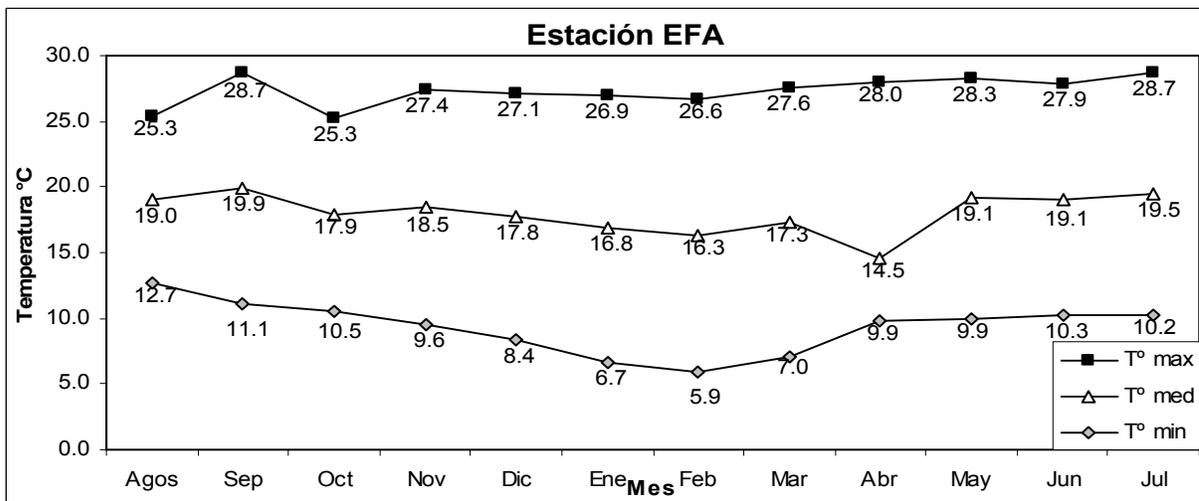


Figura 36 Temperatura máxima, mínima y media (°C) de la estación EFA.

La estación EFA, presentó una temperatura media anual de 18.0 °C, con una mínima de 9.3 °C y una máxima de 27.3 °C, la temperatura máxima se presentó en los meses julio y septiembre con 28.7 °C, y una mínima de 5.9 °C para el mes de febrero. Por lo que la amplitud térmica es de 18.0 °C.

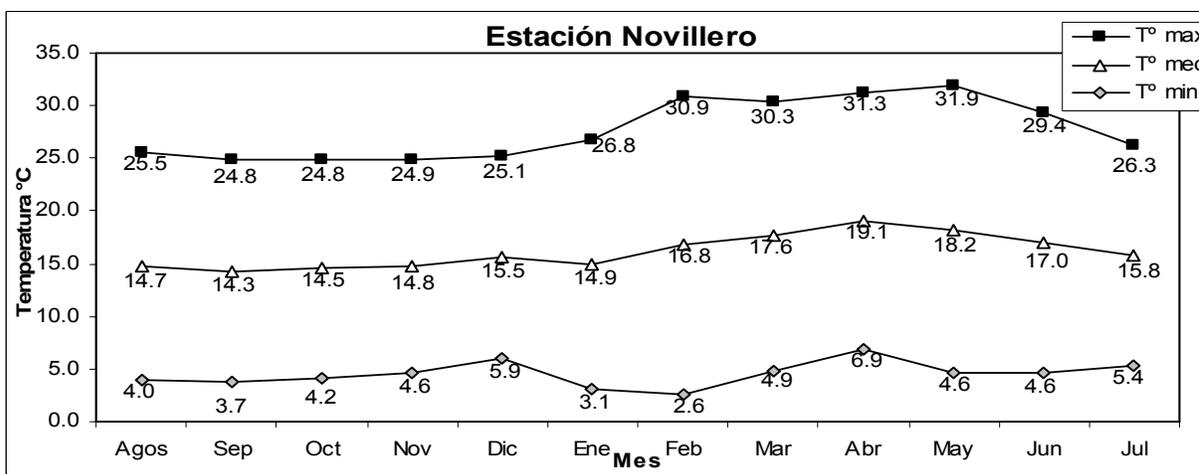


Figura 37 Temperatura máxima, mínima y media (°C) de la estación El Novillero.

La estación El Novillero, presentó una temperatura media anual de 16.1 °C, con una mínima de 4.5 °C y una máxima de 27.7 °C, la temperatura máxima se presentó en mayo con 31.9 °C, y una mínima de 2.6 °C para el mes de febrero. Por lo que la amplitud térmica es de 23.2 °C.

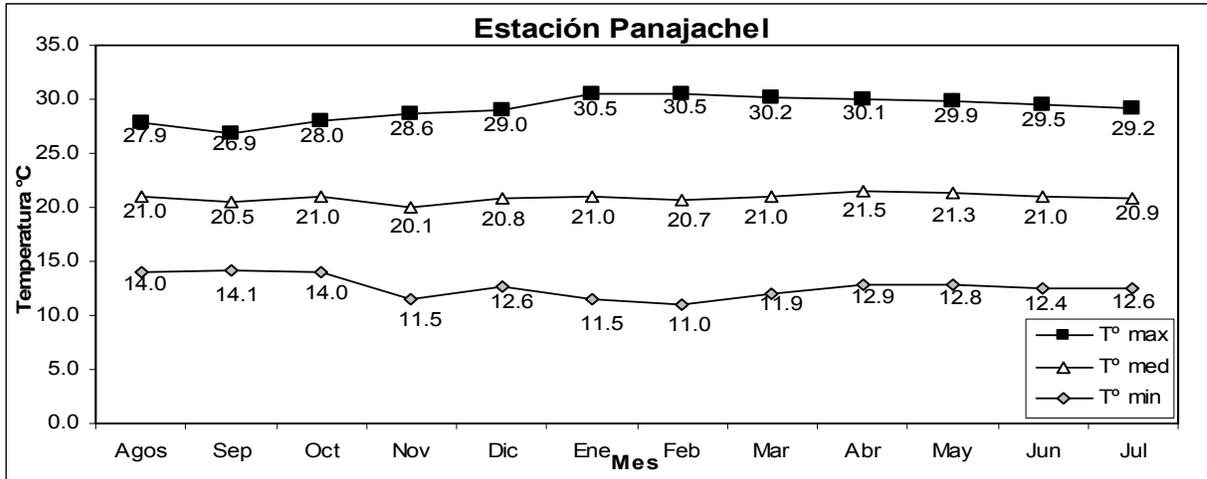


Figura 38 Temperatura máxima, mínima y media (°C) de la estación Panajachel.

La estación de Panajachel, presentó una temperatura media anual de 20.9°C, con una mínima de 11.0 °C y una máxima de 29.2 °C, los meses que presentaron la mayor temperatura fueron los meses de enero y febrero con 30.5 °C, y una mínima de 11.0 °C para el mes de febrero. Por lo que la amplitud térmica es de 16.6 °C.

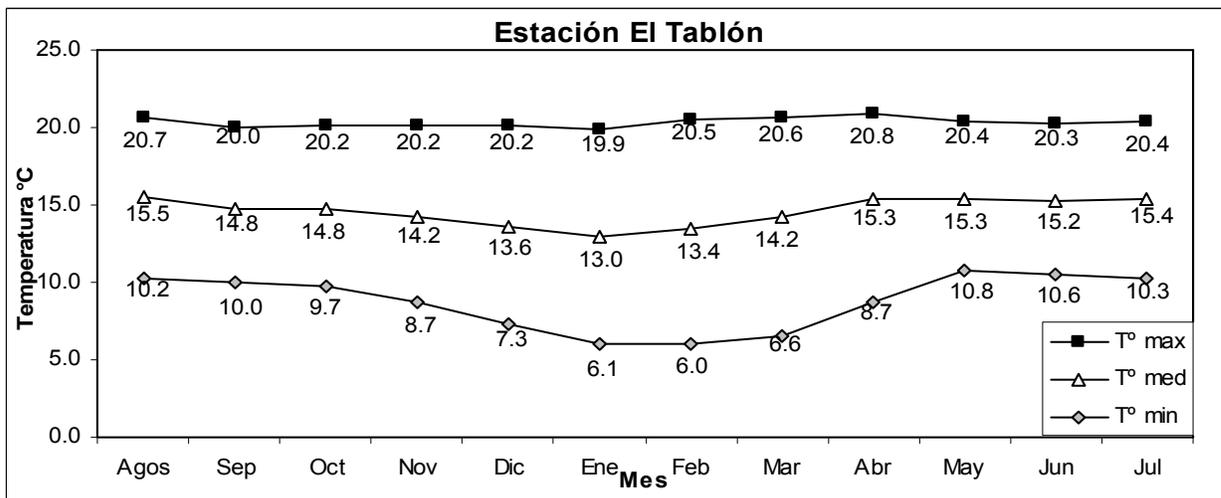


Figura 39 Temperatura máxima, mínima y media (°C) de la estación El Tablón.

La estación El Tablón, presentó una temperatura media anual de 14.6°C, con una mínima de 6.0°C y una máxima de 20.3°C, el mes que presentó la mayor temperatura fue Abril con 20.8°C, y una mínima de 6.0°C para el mes de febrero. Por lo que la amplitud térmica es de 11.6°C.

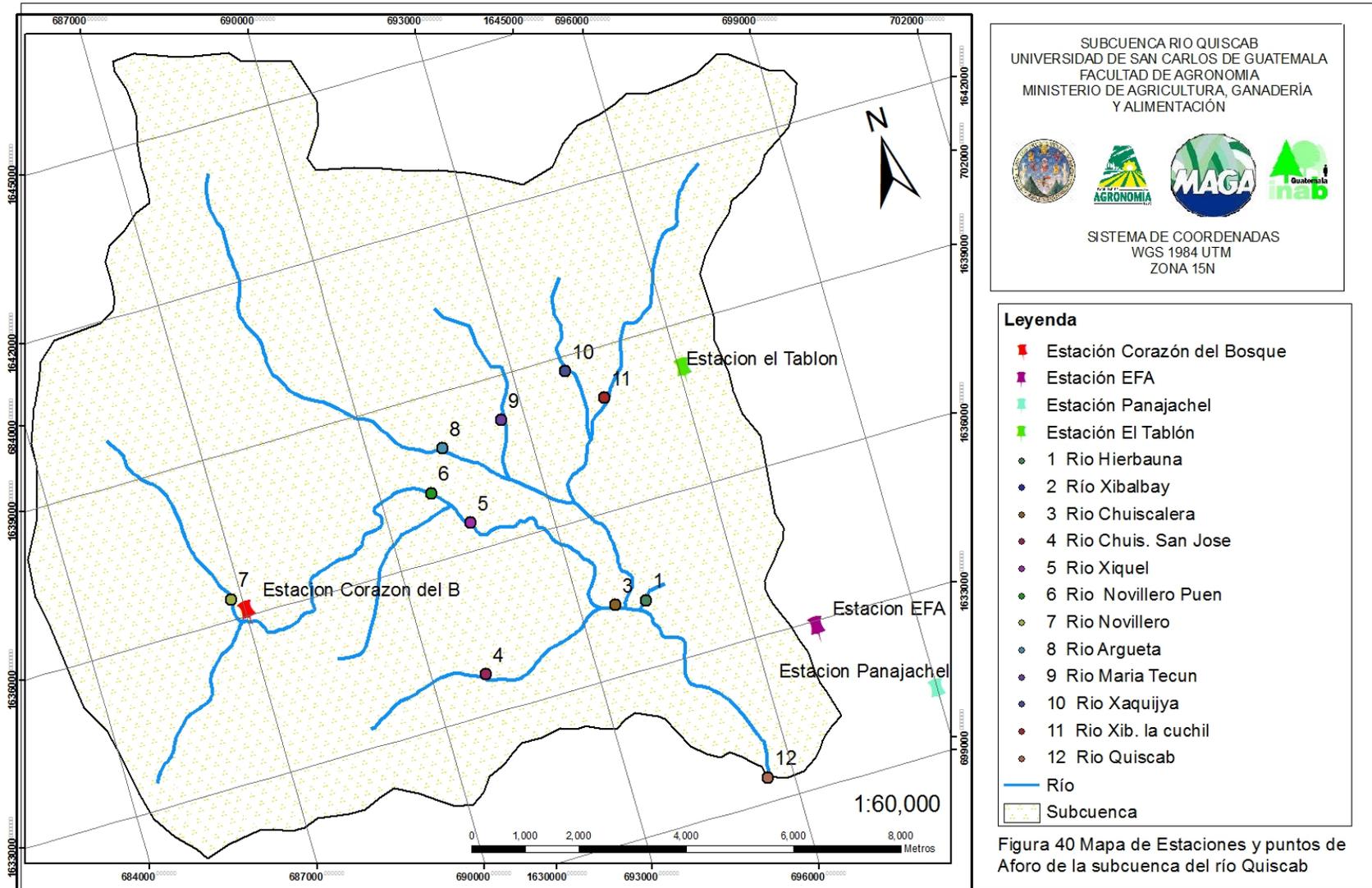


Figura 40 Mapa de Estaciones y Puntos de Aforo



Cuadro 68 Aforos realizados en los principales cauces de la subcuenca del río Quiscab (m<sup>3</sup>/seg) (2007-2008)

No.	Río	Hierbabuena	Xibalbay	Chuiscalera	San José Chuiscalera	Novillero Xiquel	Novillero Puente	Novillero Pueblo	Argueta	María Tecun	Xaquijya	Xibalbay La Cuchilla	Quiscab
	Fecha	caudal	caudal	caudal	caudal	caudal	caudal	caudal	caudal	caudal	caudal	caudal	caudal
1	01-sep			0.251									2.456
2	21-sep		0.786	0.644		0.889			0.371	0.171	0.034	0.056	2.297
3	12-oct	0.0806	4.197	4.508	0.504	1.390	1.649	0.129	2.066	0.722	0.113	0.249	
4	19-oct	0.0797	3.505	3.441	0.369	1.617	1.308	0.517	2.591	0.844	0.127	0.231	4.646
5	26-oct	0.0329	1.329	1.675	0.243	1.331	0.635	0.237	1.060	0.465	0.078	0.140	3.643
6	02-nov	0.0174	1.621	1.819	0.214	1.004	0.678	0.124	0.932	0.537	0.084	0.113	4.024
7	09-nov	0.0423	1.553	1.829	0.192	1.020	0.600	0.107	0.898	0.511	0.079	0.127	3.589
8	16-nov	0.0228	1.326	1.741	0.197	0.988	0.573	0.100	0.866	0.444	0.074	0.112	3.197
9	29-nov	0.0183	1.079	1.647	0.154	0.821	0.502	0.061	0.637	0.316	0.064	0.089	2.678
10	07-dic	0.0170	0.883	1.657	0.129	0.731	0.395	0.061	0.566	0.285	0.058	0.085	
11	15-dic	0.0148	0.874	1.615	0.111	0.724	0.389	0.057	0.522	0.135	0.054	0.080	2.179
12	19-dic	0.0109	0.873	1.620	0.116	0.721	0.364	0.053	0.521	0.116	0.048	0.071	
13	27-dic	0.0040	0.869	1.552	0.114	0.720	0.317	0.042	0.505	0.093	0.042	0.064	1.638
14	05-ene	0.0041	0.852	1.490	0.117	0.721	0.315	0.040	0.507	0.083	0.040	0.064	
15	18-ene	0.0037	0.841	1.340	0.113	0.722	0.311	0.040	0.470	0.062	0.037	0.064	1.556
16	24-ene	0.0040	0.735	0.979	0.094	0.719	0.299	0.040	0.340	0.050	0.036	0.062	1.503
17	06-feb	0.0037	0.703	0.854	0.088	0.700	0.299	0.040	0.217	0.040	0.036	0.062	1.326
18	20-feb	0.0037	0.702	0.841	0.085	0.678	0.298	0.037	0.215	0.040	0.035	0.061	1.307
19	05-mar	0.0034	0.698	0.807	0.083	0.663	0.292	0.036	0.201	0.038	0.035	0.061	1.277
20	21-mar	0.0028	0.663	0.794	0.081	0.632	0.288	0.033	0.196	0.034	0.025	0.056	1.285
21	11-abr	0.0083	0.680	0.798	0.086	0.602	0.297	0.237	0.193	0.036	0.022	0.077	1.293
22	25-abr	0.0142	0.742	1.142	0.130	0.610	0.313	0.279	0.196	0.045	0.019	0.170	1.294
23	02-may	0.0194	0.787	1.388	0.161	0.630	0.331	0.330	0.199	0.053	0.021	0.222	1.324
24	14-may	0.0250	0.727	0.972	0.180	0.610	0.311	0.282	0.181	0.036	0.020	0.133	1.332
25	30-may	0.0520	1.118	1.604	0.192	0.917	0.564	0.377	0.777	0.408	0.057	0.222	2.103
26	12-jun	0.0780	1.574	1.977	0.179	1.046	0.658	0.454	2.130	0.486	0.062	0.309	2.557
27	26-jun	0.0760	1.579	1.879	0.201	1.034	0.669	0.420	2.103	0.414	0.062	0.331	2.170
28	02-jul	0.0830	3.000	1.927	0.184	1.117	0.825	0.427	2.658	0.478	0.071	0.261	2.467
29	09-jul	0.0790	3.221	3.318	0.289	1.754	1.454	0.772	2.603	0.801	0.124	0.570	3.095
30	16-jul	0.077	3.995	2.987	0.279	1.765	1.408	0.714	3.102	1.010	0.112	1.542	5.104
31	22-jul	0.061	4.917	3.062	0.239	2.042	1.295	0.713	3.212	1.057	0.085	1.686	5.873
32	04-ago	0.057	3.231	2.217	0.485	1.627	1.157	0.506	1.697	0.877	0.100	0.610	5.131
33	12-ago	0.049	2.758	2.418	0.508	1.815	1.085	0.726	1.243	0.811	0.083	0.217	4.405

Cuadro 69 Caudal promedio mensual de los aforos realizados en los cauces de la subcuenca del río Quiscab (m<sup>3</sup>/seg)

Año	Río \ Mes	Hierbabuena	Xibalbay	Chuiscalera	San José Chuiscalera	Novillero Xiquel	Novillero Puente	Novillero Pueblo	Argueta	Maria Tecun	Xaquijya	Xibalbay La Cuchilla	Quiscab
2007	Sep		0.7856	0.4478		0.889			0.3708	0.1710	0.0339	0.0556	2.3762
	Oct.	0.0644	3.0106	3.2082	0.3719	1.4459	1.1972	0.2946	1.9055	0.6772	0.1063	0.2068	4.1444
	Nov	0.0252	1.3951	1.7591	0.1893	0.9584	0.5884	0.0980	0.8331	0.4522	0.0752	0.1104	3.3719
	Dic	0.0117	0.8746	1.6111	0.1176	0.7239	0.3663	0.0531	0.5286	0.1573	0.0505	0.0751	1.9086
2008	Ene	0.0040	0.8095	1.2695	0.1081	0.7208	0.3084	0.0399	0.4391	0.0651	0.0376	0.0633	1.5297
	Feb	0.0037	0.7025	0.8474	0.0864	0.6890	0.2986	0.0384	0.2160	0.0397	0.0352	0.0614	1.3164
	Mar	0.0031	0.6806	0.8006	0.0819	0.6477	0.2900	0.0342	0.1986	0.0357	0.0298	0.0585	1.2810
	Abr	0.0112	0.7110	0.9696	0.1080	0.6059	0.3047	0.2579	0.1946	0.0405	0.0205	0.1234	1.2935
	May	0.0321	0.8772	1.3212	0.1777	0.7189	0.4019	0.3297	0.3855	0.1658	0.0327	0.1922	1.5863
	Jun	0.0770	1.5765	1.9280	0.1900	1.0400	0.6635	0.4370	2.1165	0.4500	0.0620	0.3200	2.3635
	Jul	0.0750	3.7833	2.8235	0.2478	1.6695	1.2455	0.6565	2.8938	0.8365	0.0980	1.0148	4.1349
	Ago	0.0530	2.9945	2.3175	0.4965	1.7210	1.1210	0.6160	1.4700	0.8440	0.0915	0.4135	4.7680

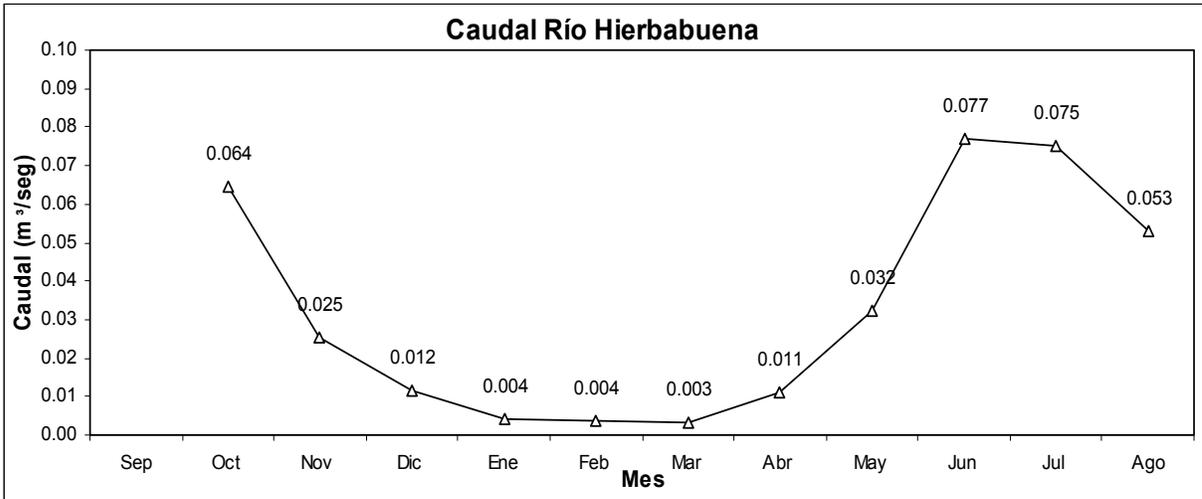


Figura 41 Caudal promedio mensual del río Hierbabuena

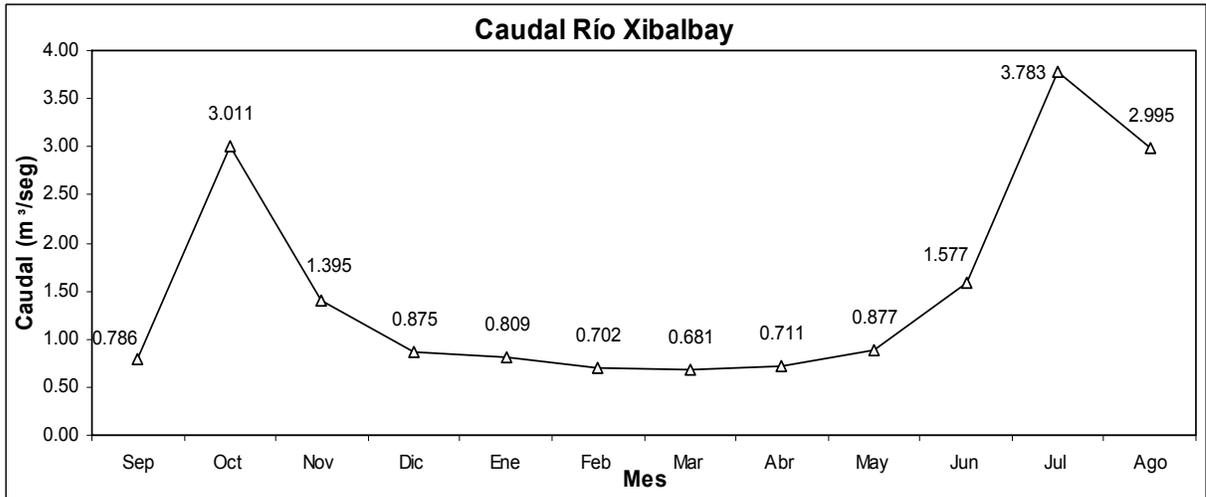


Figura 42 Caudal promedio mensual del río Xibalbay

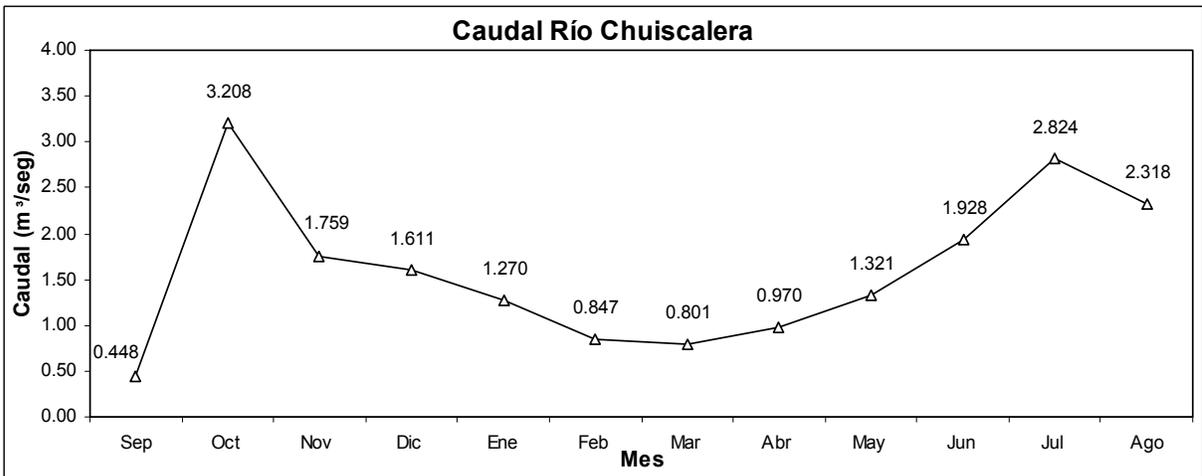


Figura 43 Caudal promedio del río Chuiscalera

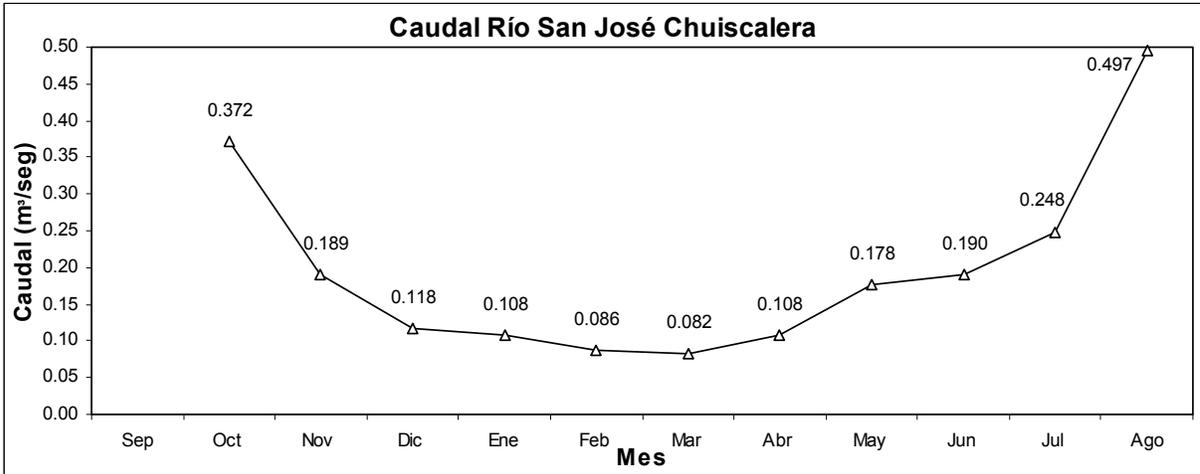


Figura 44 Caudal promedio mensual del río San José Chuiscalera

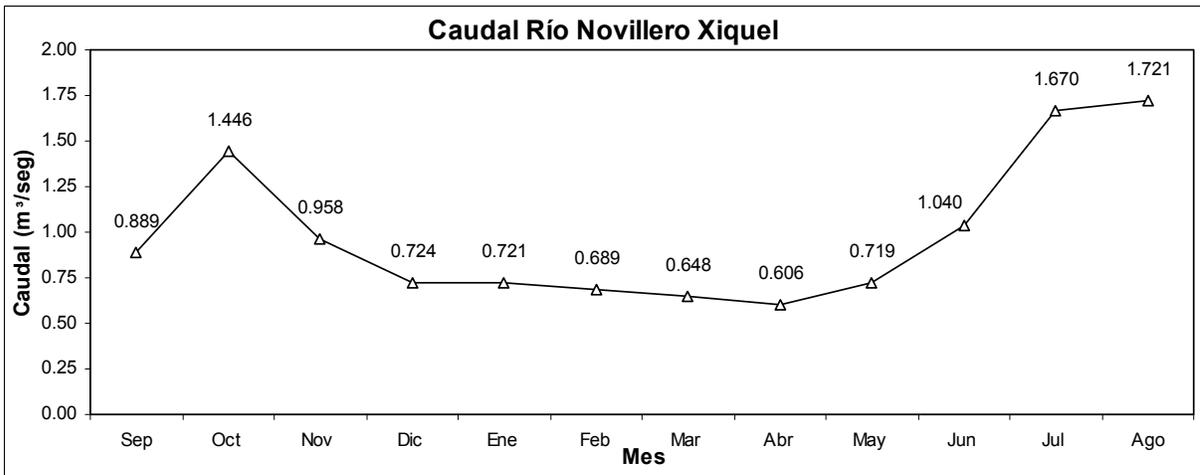


Figura 45 Caudal promedio mensual del río Novillero Xiquel

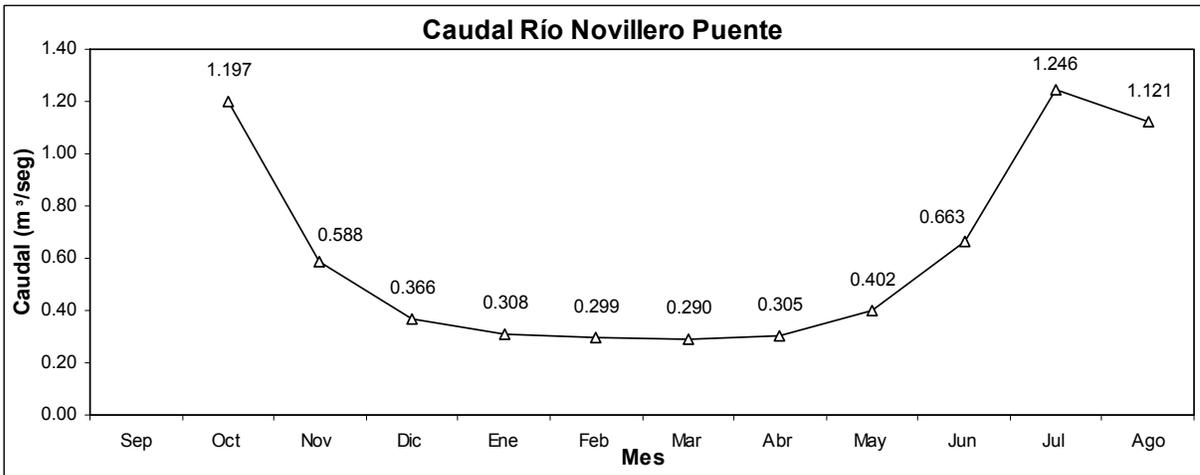


Figura 46 Caudal promedio mensual del río Novillero puente

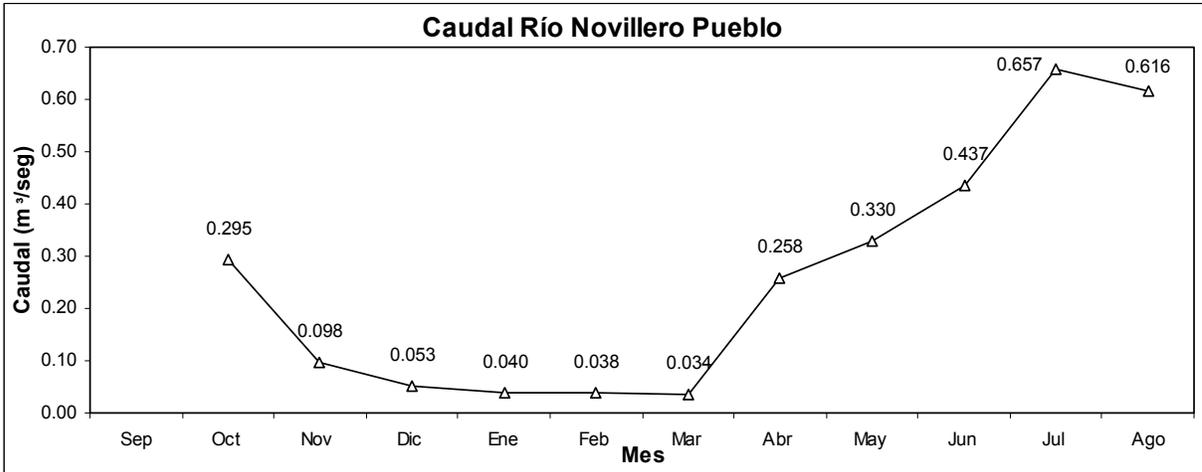


Figura 47 Caudal promedio mensual del río Novillero Pueblo

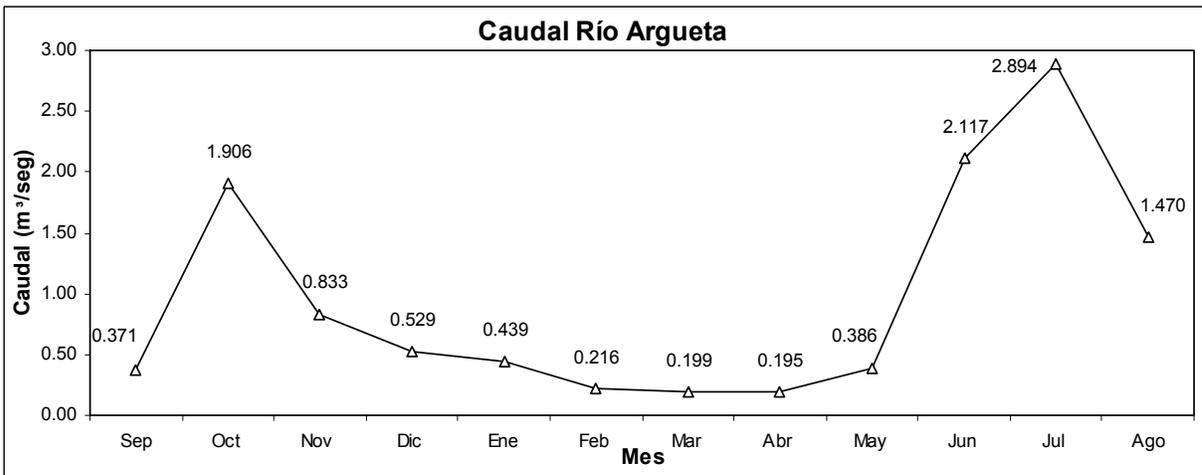


Figura 48 Caudal promedio mensual del río Argueta

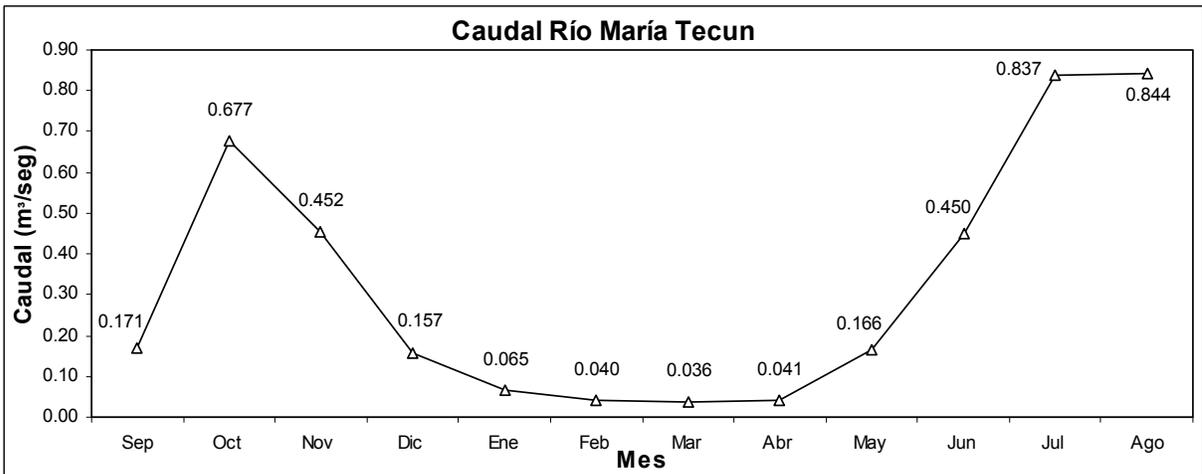


Figura 49 Caudal promedio mensual del río María Tecun

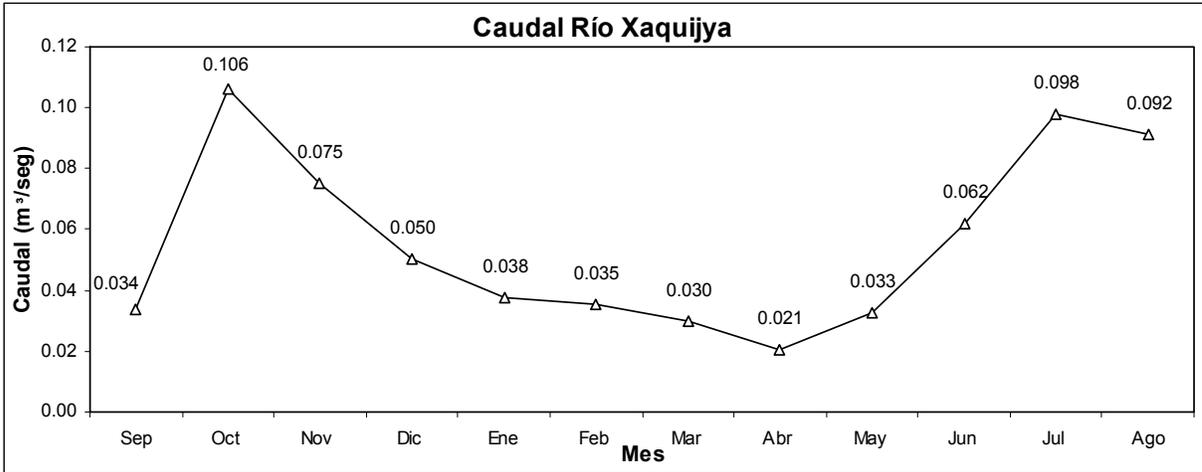


Figura 50 Caudal promedio mensual del río Xaquijya

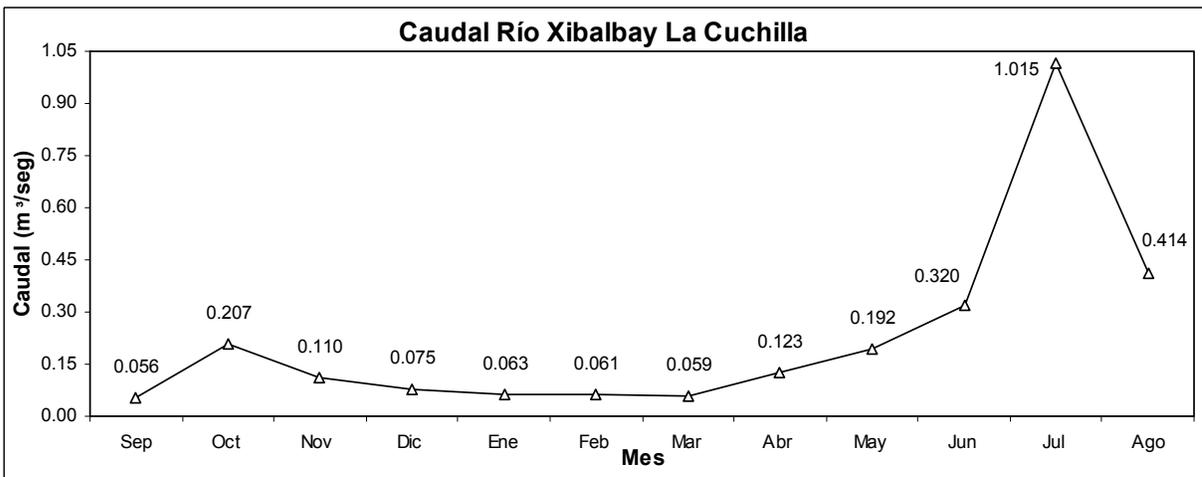


Figura 51 Caudal promedio mensual del río La Cuchilla

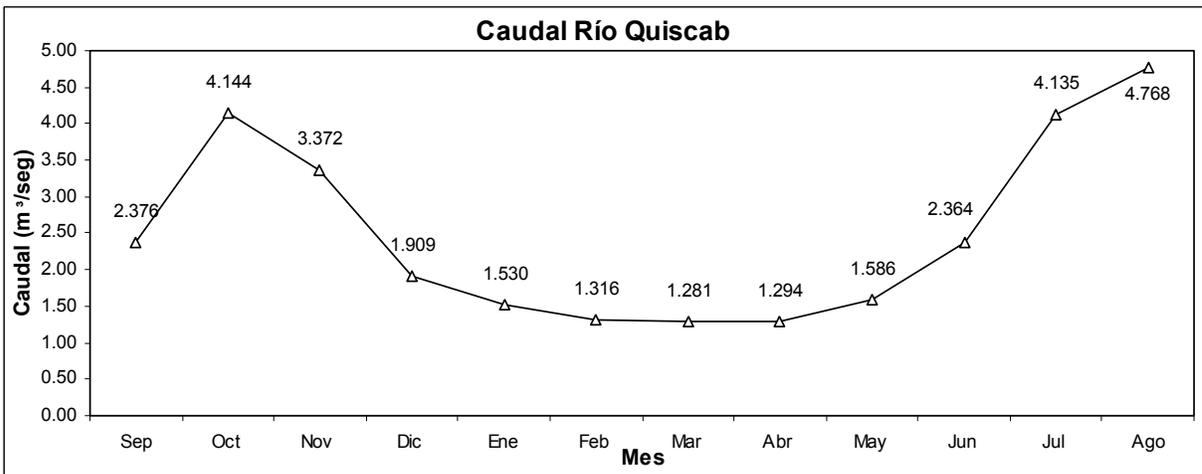


Figura 52 Caudal promedio mensual del río Quiscab

De acuerdo al análisis de datos realizados a los principales cauces de la subcuenca del río Quiscab, y la generación de figuras, se logra visualizar que en todos los cauces hay un incremento de su caudal a partir del mes de mayo y tiende a descender hasta el mes de noviembre, siguiendo el patrón de lluvias de la región que empieza en mayo y finaliza en octubre. Se determinaron los mayores en el punto de aforo ubicado en la desembocadura del río Quiscab, hacia el lago de Atitlán donde el mayor caudal se dio en el mes de agosto (2008) con 4.768 m<sup>3</sup>/seg. Y un caudal mínimo de 1.281 m<sup>3</sup>/seg el cual se presentó en el mes de marzo (2008). El comportamiento observado en todas las figuras (41- 52) de caudales promedios mensuales, se manifiesta un incremento en el caudal en los meses de octubre y julio, los cuales son los máximos durante el periodo de estudio y los caudales mínimos se dieron en los meses de febrero, marzo y abril.

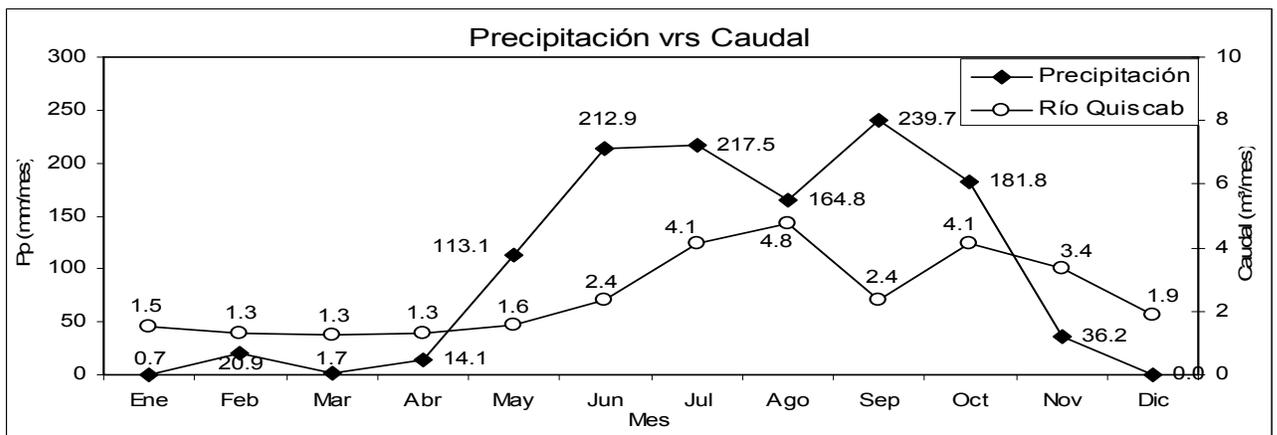


Figura 53 Relación entre precipitación (mm) y caudal (m<sup>3</sup>/seg) durante el año 2008.

De acuerdo a la figura 53, se logra determinar que conforme la precipitación aumenta así lo hace el caudal del río Quiscab, se determina que en el mes de agosto la precipitación descende y el caudal aumenta esto se debe a que el suelo tiene un alto grado de saturación de agua y lo sigue liberando, para el mes de septiembre las lluvias se intensifican siendo este el mes de mayor precipitación en la subcuenca del río Quiscab, y los caudales descienden, se da ya que el suelo retiene agua para poder llegar a su capacidad de campo, el cual lo ha perdido por el descenso de precipitación del mes anterior, y en el mes de octubre se da lo mismo en relación al mes de agosto, donde el suelo ya allegado a su capacidad de campo y el resto de agua lo está liberando por medio de manantiales los cuales alimentan al cauce, aun cuando la precipitación descende.

### **3.3.2 Muestreo de agua para análisis físico, químico y bacteriológico en los principales afluentes del río Quiscab.**

#### **3.3.2.1 Definición del problema**

La alta contaminación de los principales ríos de Guatemala, es uno de los factores más importantes para la proliferación de enfermedades gastrointestinales, por lo que la subcuenca del río Quiscab no es la excepción, este tipo de análisis brindará información importante para determinar las principales características físicas, químicas y bacteriológicas que presenta el agua en la región.

La subcuenca del río Quiscab es habitada por gente de ingresos económicos bajos por lo que muchos no cuentan con agua potable y el agua que consumen es extraída de los ríos o de pozos artesanales, esto ha provocado la proliferación de enfermedades en la población como diarrea, vómitos, y otras enfermedades gastrointestinales, afectando principalmente a los niños, al mismo tiempo que muchas de las personas que se dedican a la agricultura tiende a regar sus cultivos con esta agua.

La región no cuenta con infraestructura para el tratamiento de aguas residuales, los cuales son drenados al cauce de los ríos, así como la existencia de basureros clandestinos que se localizan a orillas de los ríos los cuales afectan la calidad del agua, otro factor importante es la existencia de letrinas ya que son una fuente alta de contaminación de los mantos acuíferos. Esto debido a que no hay programas de saneamiento ambiental bien definidos y proyectos ambientales, por parte de las autoridades locales y nacionales, como la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, esto a pesar de que el lago de Atitlán es uno de los lugares de más visitados Guatemala.

#### **3.3.2.2 Objetivos específicos**

- Estimar los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de los principales cauces de la subcuenca del río Quiscab, tanto para la época seca como la lluviosa.
- Indicar las principales fuentes contaminantes del agua

### 3.3.2.3 Metas

- Lograr tener dos muestras de agua por cauce, uno para la época seca y otro para la época lluviosa.
- Determinar las fuentes principales que provocan la contaminación en los cuerpos de agua.

### 3.3.2.4 Metodología

- Tomar muestras de agua de los principales cauces que se ubican en la subcuenca del río Quiscab.
- Tomar datos importantes como temperatura del agua, conductividad eléctrica y pH.
- Colocar las muestras de agua en una hielera para su traslado al laboratorio.
- Llevar las muestras de agua al laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para el análisis correspondiente.
- Recoger resultados y tabular la información.

### 3.3.2.5 Evaluación

Se logró realizar las dos muestras de agua en los principales cauces de la subcuenca del río Quiscab, los cuales fueron tomados el 11 de octubre de 2007 para la época lluviosa y 04 de Febrero de 2008 para la época seca.

Cuadro 70 Puntos de muestreo de agua para el análisis físico, químico y bacteriológico, de la subcuenca del río Quiscab.

id	Lugar	altitud	Norte	Oeste
1	Río Hierbabuena	1960	14.775951	-91.195058
2	Río Xibalbay	1970	14.778202	-91.198314
3	Río Chuiscalera	2000	14.776101	-91.199511
4	Río Chuiscalera San José	2280	14.772403	-91.225383
5	Río Xiquel	2260	14.795884	-91.220132
6	Río Novillero Puente	2280	14.802455	-91.224284
7	Río Novillero pueblo	2340	14.795049	-91.264286
8	Río Argueta	2280	14.809654	-91.220459
9	Río Maria Tecun	2300	14.810945	-91.210669
10	Río Xaquijya	2360	14.814995	-91.198207
11	Río Xibalbay la cuchilla	2300	14.809628	-91.193213
12	Río Quiscab	1600	14.740832	-91.183884

### A. Análisis físico y bacteriológico de las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab.

Cuadro 71 Análisis físico y bacteriológico de las muestra de agua para la época lluviosa, de la subcuenca río Quiscab

Río	Aspecto	Color Unid.	Turbiedad UNT	Olor	pH	Temp. °C	Conduct. Elect. Mmhos/cm	Sólidos Tot. Mg/l	Clase Agua Riego	No. de Coliformes		Clasif bacterio
										Total/ 100 cm <sup>3</sup>	Fecal /100 <sup>3</sup>	
Chuiscalera	Turbio	365	272	Tierra	7.8	16.5	122	957	C1 S1	□ 16 *10 <sup>3</sup>	□ 16 *10 <sup>3</sup>	II
Xibalbay	Turbio	195	170	Tierra	7.4	15.9	130	474	C1 S1	□ 16 *10 <sup>3</sup>	□ 16 *10 <sup>3</sup>	II
San José Chuiscalera	Lig-Turbio	35	20	Inodora	7.4	16.5	88	117	C1 S1	□ 16 *10 <sup>3</sup>	□ 16 *10 <sup>3</sup>	II
Novillero	Turbio	1560	1300	Tierra	7.4	16.5	108	1977	C1 S1	□ 16 *10 <sup>3</sup>	□ 16 *10 <sup>3</sup>	II
Argueta	Claro	18	10	Inodora	7.5	16.4	90	108	C1 S1	□ 16 *10 <sup>3</sup>	□ 16 *10 <sup>3</sup>	II
María Tecun	Lig-Turbio	20	12.7	Inodora	7.4	16.9	117	106	C1 S1	□ 16 *10 <sup>3</sup>	□ 16 *10 <sup>3</sup>	II
Xibalbay la Cuchilla	Turbio	170	154	Tierra	7.3	16.1	136	406	C1 S1	□ 16 *10 <sup>3</sup>	□ 16 *10 <sup>3</sup>	II
Xaquijya	Lig-Turbio	18	12	Inodora	7.4	16.6	137	110	C1 S1	□ 16 *10 <sup>3</sup>	□ 16 *10 <sup>3</sup>	II
Quiscab	Turbio	270	215	Tierra	7.5	15.5	130	648	C1 S1	□ 16 *10 <sup>3</sup>	□ 16 *10 <sup>3</sup>	II

Cuadro 72 Análisis físico y bacteriológico de las muestra de agua para la época seca, de la subcuenca río Quiscab

Río	Aspecto	Color Unid.	Turbiedad UNT	Olor	pH	Temp. °C	Conduct. Elect. Mmhos/cm	Sólidos Tot. Mg/l	Clase Agua Riego	No. de Coliformes		Clasif. bacterio
										Total/ 100 cm <sup>3</sup>	Fecal /100 <sup>3</sup>	
Chuiscalera	Lig-Turbio	22	9.17	Inodora	7.5	11.1	137	91	C1 S1	□ 16 *10 <sup>2</sup>	□ 16 *10 <sup>2</sup>	II
Xibalbay	Turbio	42	19	Inodora	7.6	10.5	182	140	C1 S1	220	220	II
San José Chuiscalera	Claro	11	5.6	Inodora	7.5	11.4	102	69	C1 S1	350	33	I
Novillero	Claro	14	4.28	Inodora	7.6	11.7	123	77	C1 S1	280	90	I
Argueta	Claro	10	2.1	Inodora	7.6	12.6	124	73	C1 S1	33	14	I
María Tecun	Claro	13	6.7	Inodora	7.5	13.6	158	98	C1 S1	170	27	I
Xibalbay la Cuchilla	Turbio	210	187	Tierra	7.4	13	155	177	C1 S1	110	50	II

En los cuadros 71 y 72, se logra determinar que el agua es apta para riego ya que se clasifica en orden C1S1, según Sandoval (1989), este tipo de agua puede ser utilizado para riego en la mayoría de cultivos y suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable con el suelo y desarrollo de salinidad, en la época lluviosa el 100% de las muestras de agua bacteriológicamente se enmarca en la clasificación II, calidad bacteriológica que precisa la aplicación de los métodos habituales de tratamiento (coagulación, sedimentación, filtración, desinfección). Y para la clasificación I, el 43% se presenta en la época seca en los ríos San José Chuiscalera, Novillero, Argueta y María Tecun, la calidad bacteriológica no exige más que un simple tratamiento de desinfección. Aun así no cumplen con las normas COGUANOR para consumo humano ya que esta pide que la cantidad de bacterias presentes en el agua para consumo humano sea menor a 2.

En lo que se refiere al aspecto del agua, las muestras que presentaron un aspecto turbio, ligeramente turbio son rechazadas para consumo humano, si no se les aplica algún tratamiento (sedimentación, filtración y desinfección), en lo que se refiere al olor todas las muestras son aptas. Todo esto según las normas internacionales de la Organización Mundial de la Salud para fuentes de agua y COGUANOR.

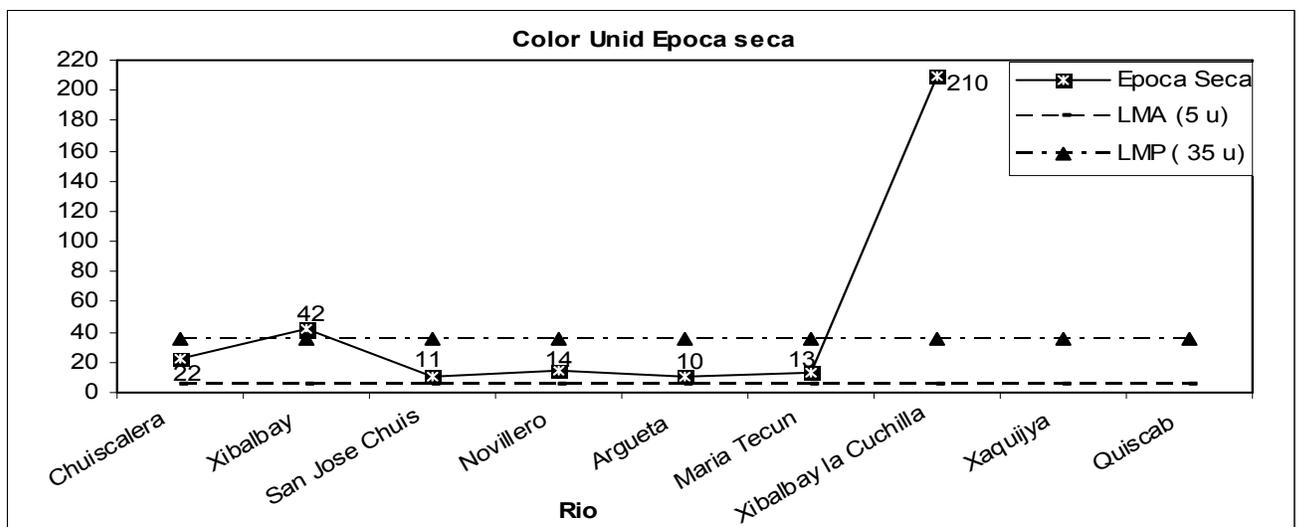


Figura 54 Características físicas de color para época seca, de los principales ríos de la subcuenca del río Quiscab.

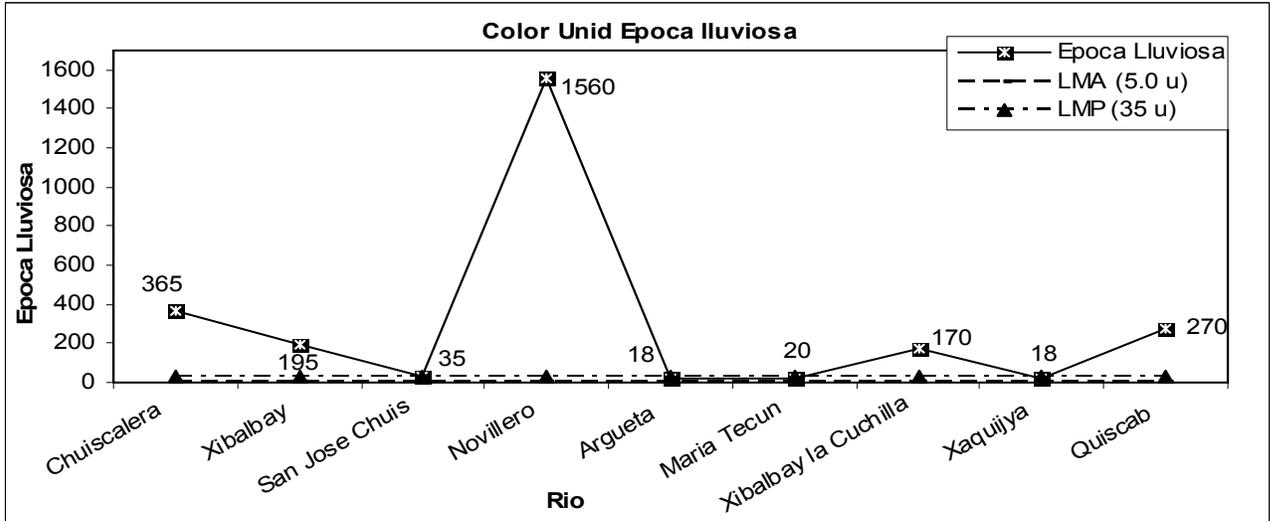


Figura 55 Características físicas de color para época lluviosa, de los principales ríos de la subcuenca del río Quiscab.

Como se logra ver en la figura 54 y 55 el agua de los principales ríos los únicos que se localizan debajo del limite máximo permisible (LMP), son los de río San José Chuiscalera, río Argueta, río María Tecun y el río Xaquijya, para los ríos Chuiscalera, Novillero, presenta valores menores al limite máximo permisible solo en época seca, el resto se localizan muy por lo alto de lo permitido, esto se da ya que hay una alta perdida de sedimentos en la parte alta de la subcuenca la cual llega a los ríos.

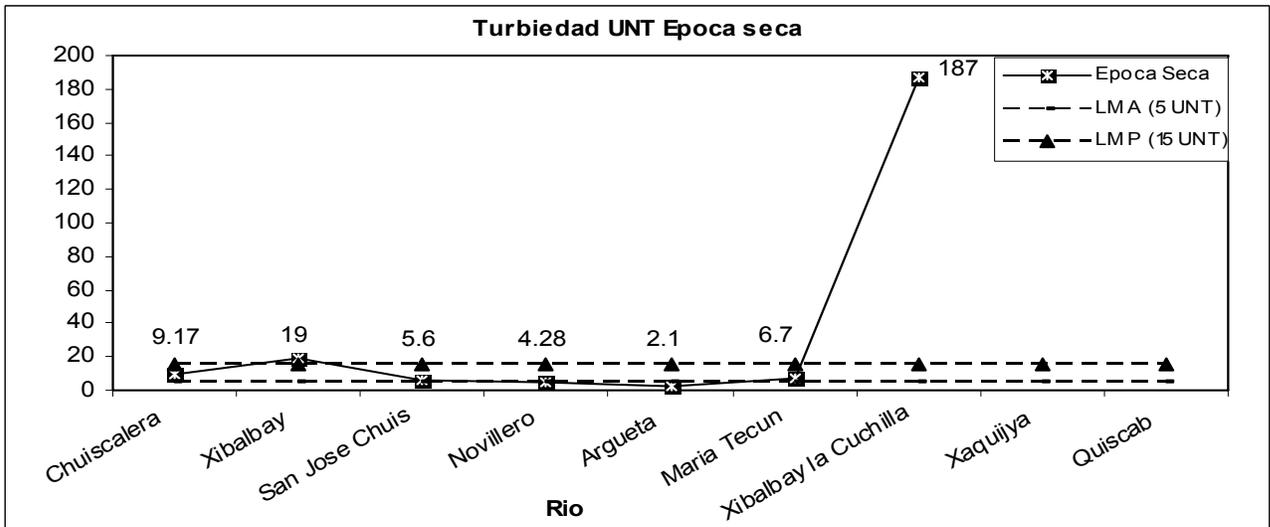


Figura 56 Características de turbiedad para época seca, de los principales ríos de la subcuenca del río Quiscab.

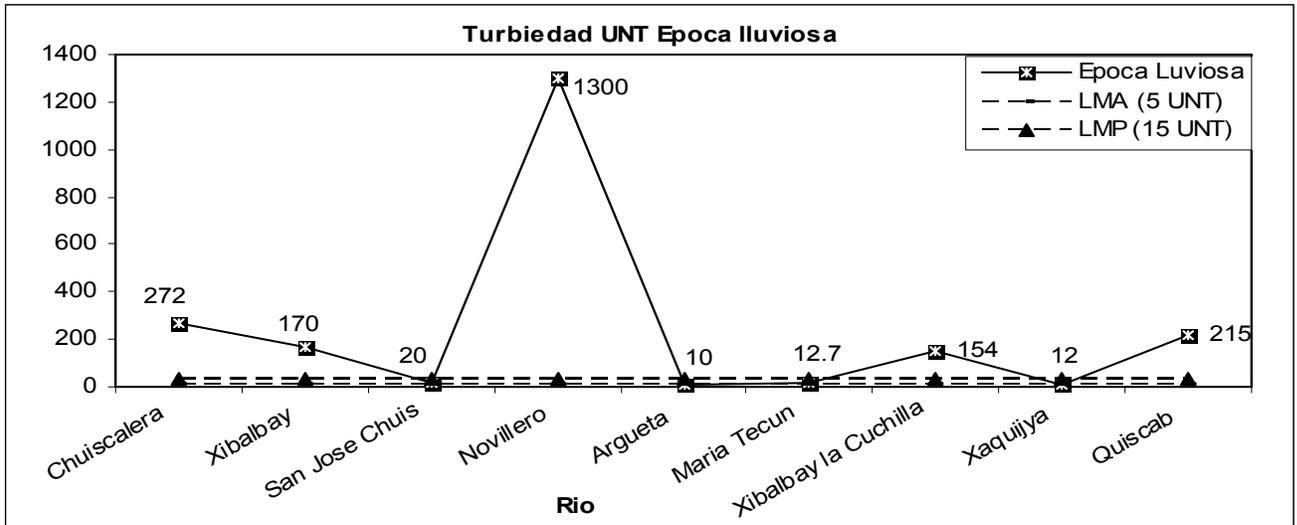


Figura 57 Características de turbiedad para época lluviosa, de los principales ríos de la subcuenca del río Quiscab.

Como se logra ver en la figura 56 y 57 la turbiedad menor al limite máxima permisible, para la época seca solo se presenta en los ríos Chuiscalera (9.17 UNT), Chuiscalera San José (5.6 UNT), Novillero(4.28 UNT), Argueta (2.1 UNT) y María Tecun (6.7 UNT), y para la época lluviosa los ríos menores al limite permisible son: Argueta (10.0 UNT), María Tecun (12.7 UNT) y el Xaquijya (12.0 UNT), por lo que se determina que los cauces que todo el año presentan una turbiedad aceptable son el río Argueta y María Tecun.

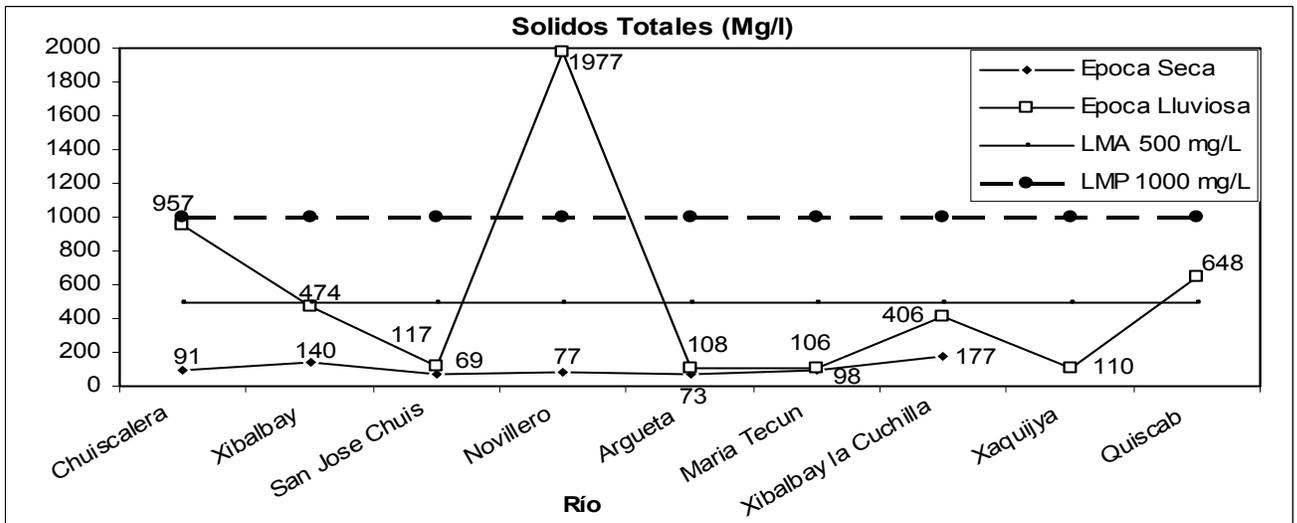


Figura 58 Sólidos totales presentes, en las muestras de agua, de la subcuenca del río Quiscab

Como se logra ver en la figura 58 los sólidos totales presentes en los cauces para la época seca son menores al límite máximo aceptable, esto se debe a que no hay arrastre de partículas, para la época lluviosa los ríos que aun presentan valores por debajo del límite máximo aceptable son, río Xibalbay, San José Chuiscalera, Argueta, María Tecun, Xibalbay la cuchilla y Xaquijya, el cauce que se localiza debajo del límite máximo permisible el río Chuiscalera, en tanto el río Novillero se localiza muy por alto de los valores máximos permisibles, esto debido a la cantidad de partículas y sedimentos que arrastra.

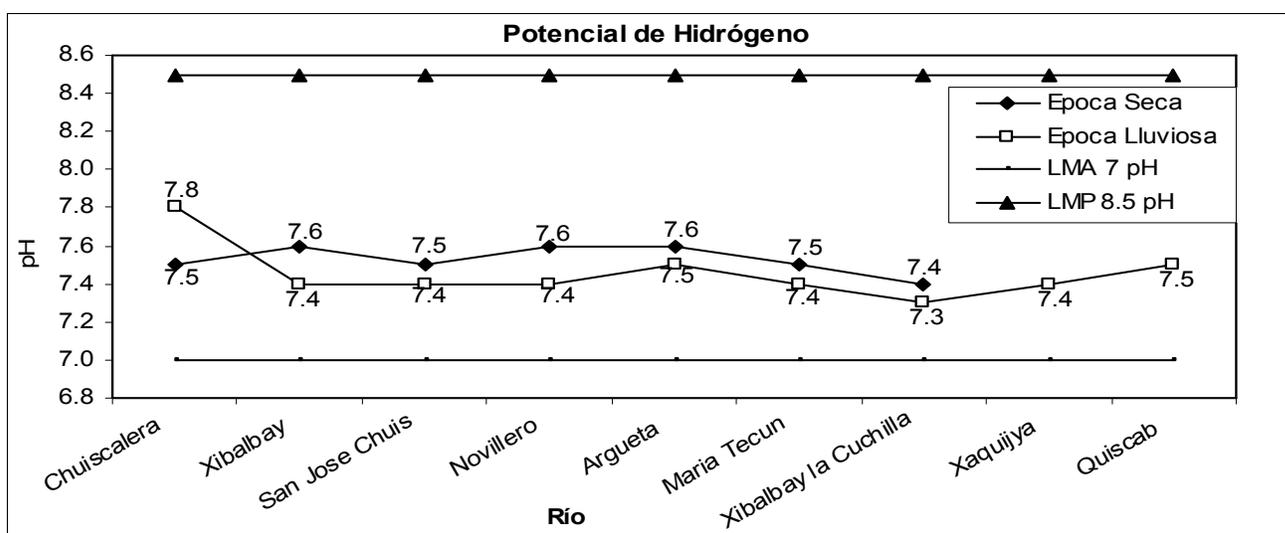


Figura 59 pH de las muestras de agua para época seca y época lluviosa, de los principales ríos de la subcuenca del río Quiscab.

En la figura 59 se logró determinar que el agua presenta un pH aceptable ya que los valores para la época seca y lluviosa se localizan entre los valores 7.3 – 7.8, los cuales se localizan dentro del límite máximo permisible.

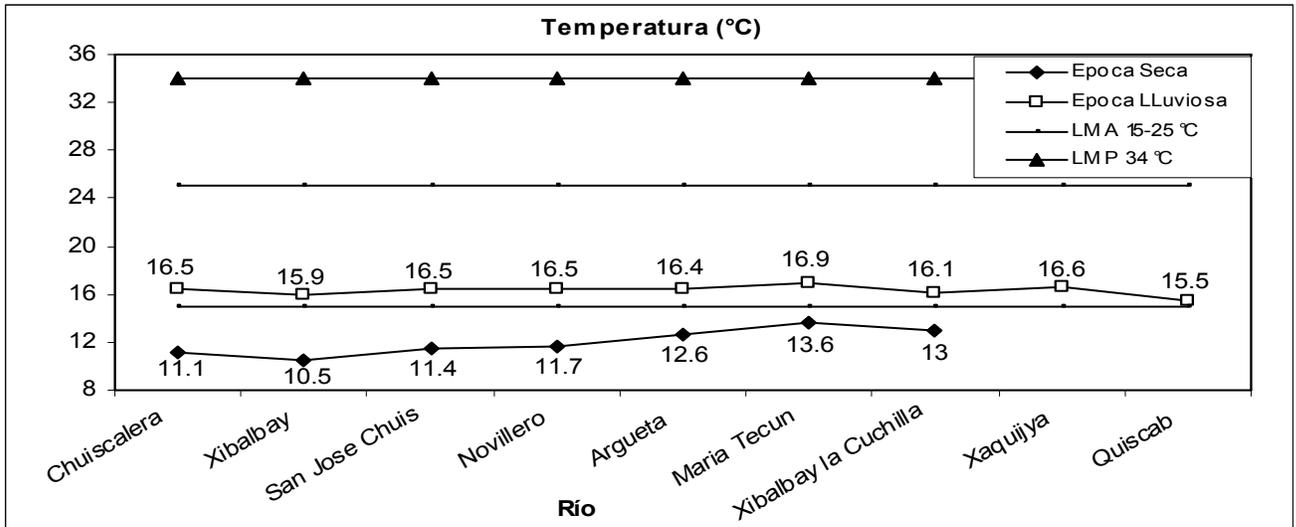


Figura 60 Temperatura del agua, época seca y época lluviosa, de los principales ríos de la subcuenca del río Quiscab.

En la figura 60 se logra determinar que el agua de los cauces durante la época lluviosa tiende a mantener su temperatura constante con un promedio de 16.32 °C, lo cual se localiza dentro del límite máximo permisible, caso contrario sucede en época seca en donde las rangos de temperatura van de 10.5 °C (río Xibalbay) a 12.6 °C (Xibalbay la cuchilla), con un promedio de 12°C, los cuales se encuentran muy por debajo del límite máximo aceptable (15.0 °C – 25.0 °C), lo cual puede disminuir la calidad de el agua de acuerdo a la norma COGUANOR NGO 29 2001.

Es de hacer notar que la temperatura media del agua tiene una estrecha relación con la temperatura media anual ambiental de la subcuenca cuyo valor es de 17.4 °C. Según Custodio y Llamas (2001), indica que las aguas cuya temperatura tenga una variación igual o menor a los 4 °C, se les llama aguas ortótermas o normales por lo que se considera que todos los puntos de muestreo entran dentro de este tipo. Además este autor cita a Bogamolov (1966), en donde establece una clasificación de las temperaturas del agua, determinándolas como moderadamente frías ya que están dentro del rango de 10 °C y 18 °C.

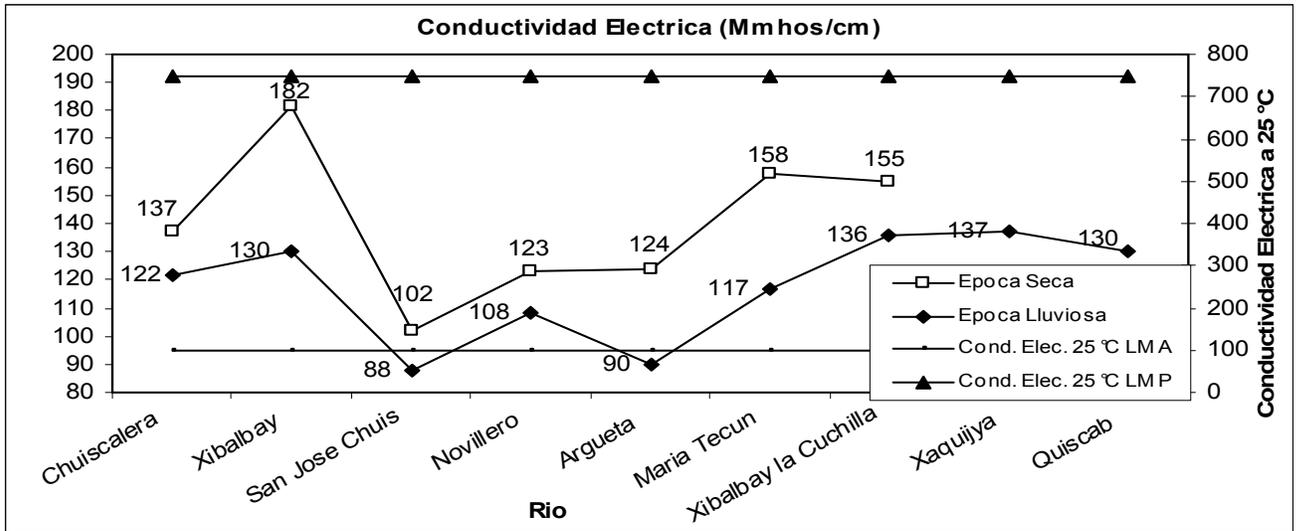


Figura 61 Conductividad eléctrica de las muestras de agua, para época seca y lluviosa de la subcuenca del río Quiscab

Como se logra ver en la figura 61 el río San José Chuiscalera para la época lluviosa y el río Argueta presentan valores menores al límite máximo aceptable (LMA), esto se debe a que hay poca concentración de sales en el agua y la falta de compuestos orgánicos conductores de electricidad. Para el resto de ríos los valores se encuentran dentro de límite máximo permisible de la norma COGUANOR NGO 29 2001.

En las figuras 54 y 55 (color), 56 y 57 (Turbiedad) y 58 (Sólidos Totales), podemos observar que hay un incremento en los valores para la época lluviosa, en los ríos Novillero, Chuiscalera, Xibalbay la Cuchilla y Quiscab, ya que los puntos de muestreo presentan influencia de áreas de cultivos, establecidos en terrenos con pendientes mayores al 30%, por lo esto favorece los procesos erosivos, dando como resultado el arrastre de sedimentos.

Con respecto a los demás cauces o ríos, Argueta, María Tecun, San José Chuiscalera, estas tiene la influencia de de zonas boscosas y de protección, por lo que la cobertura protege al suelo, disminuyendo el proceso erosivo.

**B. Análisis químico (cationes, aniones y sólidos) de las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab.**

Cuadro 73 Análisis Químico (Cationes) de muestra de agua para la época seca (mg/L)

Río	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)	Sodio (Na)	Potasio (K)	Hierro (Fe)	Manganeso (Mn)	Nitrato (NO <sub>3</sub> )	Nitrito (NO <sub>2</sub> )	Amoniaco (NH <sub>3</sub> )
Chuiscalera	13.63	8.27	11.50	2.50	0.39	0.027	4.62	0.0099	0.25
Xibalbay	16.03	4.86	11.30	2.50	1.75	0.087	7.04	0.0066	0.29
San José Chuiscalera	8.82	6.82	10.40	2.10	0.31	0.033	3.30	0.0000	0.17
Novillero	11.22	5.35	9.90	2.00	0.41	0.041	3.74	0.0140	0.22
Argueta	12.02	5.84	11.70	2.10	0.22	0.036	3.52	0.0180	0.25
Maria Tecun	16.03	5.35	11.20	2.90	0.22	0.044	6.82	0.0170	0.22
Xibalbay la Cuchilla	14.43	5.84	12.50	4.30	2.55	0.100	18.70	0.1700	0.40

Cuadro 74 Análisis Químico (Aniones) y sólidos presentes en las muestra de agua para la época seca (mg/L)

Río	Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> )	Carbonatos	Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	Fluoruro (F)	Sólidos Totales	Sólidos Volátiles	Sólidos Fijos	Sólidos en Suspensión	Sólidos Disueltos	Dureza Total
Chuiscalera	72.00	35.40	8.50	1.0	0.14	91	12.00	79.00	14.00	73.00	68.0
Xibalbay	48.00	23.60	9.00	37.0	0.33	140	31.00	109.00	22.00	96.00	60.0
San José Chuiscalera	58.00	28.52	6.00	1.0	0.20	69	9.00	60.00	6.00	55.00	50.0
Novillero	64.00	31.47	8.00	1.0	0.17	77	8.00	69.00	4.00	65.00	50.0
Argueta	60.00	29.50	8.50	1.0	0.14	73	5.00	68.00	3.00	66.00	54.0
Maria Tecun	70.00	34.42	12.00	5.0	0.13	98	10.00	88.00	7.00	84.00	62.0
Xibalbay la Cuchilla	66.00	32.45	12.50	4.0	0.09	177	88.00	89.00	66.00	82.00	60.0

Cuadro 75 Análisis Químico (Cationes) de muestra de agua para la época lluviosa (mg/L)

Río	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)	Sodio (Na)	Potasio (K)	Hierro (Fe)	Manganeso (Mn)	Nitrato (NO <sub>3</sub> )	Nitrito (NO <sub>2</sub> )	Amoníaco (NH <sub>3</sub> )
Chuiscalera	11.22	7.30	8.20	2.60	6.65	0.061	6.16	0.008	0.21
Xibalbay	12.02	4.87	7.30	2.20	3.9	0.044	7.48	0.004	0.16
San José Chuiscalera	8.02	7.79	6.30	2.00	0.87	0.022	5.28	0.010	0.18
Novillero	4.81	12.19	7.70	2.50	15.5	0.210	5.72	0.014	0.14
Argueta	6.41	11.70	6.00	1.40	0.46	0.015	5.94	0.011	0.12
Maria Tecun	11.22	3.89	7.90	1.60	0.79	0.035	6.46	0.008	0.24
Xibalbay la Cuchilla	11.22	5.84	9.10	3.10	3.1	0.070	18.26	0.022	0.21
Xaquijya	11.22	3.89	7.90	2.10	0.68	0.019	12.32	0.020	0.11
Quiscab	12.02	3.40	8.60	2.40	4.25	0.047	6.60	0.010	0.59

Cuadro 76 Análisis Químico (Aniones) y sólidos presentes en las muestra de agua para la época lluviosa (mg/L)

Río	Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> )	Carbonatos	Cloruro (Cl)	Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	Fluoruro (F)	Sólidos Totales	Sólidos Volátiles	Sólidos Fijos	Sólidos en Suspensión	Sólidos Disueltos	Dureza Total
Chuiscalera	56.00	27.54	6.00	8.0	0.05	957	858.0	99.0	780.0	65.0	52.0
Xibalbay	40.00	19.67	7.50	29.0	0.07	474	368.0	106.0	436.0	69.0	50.0
San José Chuiscalera	46.00	22.62	7.50	2.0	0.07	117	57.0	60.0	24.0	47.0	52.0
Novillero	58.00	28.52	7.50	6.0	0.00	1977	1858.0	119.0	1744.0	57.0	62.0
Argueta	40.00	19.67	7.00	2.0	0.12	108	53.0	55.0	18.0	48.0	64.0
Maria Tecun	58.00	28.52	7.50	4.0	0.14	106	34.0	72.0	19.0	62.0	44.0
Xibalbay la Cuchilla	44.00	21.63	10.00	9.0	0.06	406	287.0	119.0	347.0	72.0	52.0
Xaquijya	46.00	22.62	7.50	7.0	0.09	110	18.0	82.0	20.0	73.0	44.0
Quiscab	36.00	17.70	8.50	24.0	0.04	648	546.0	102.0	518.0	69.0	44.0

En el cuadro 73, 74, 75 y 76 se dan a conocer las sustancias químicas que presentaron los análisis de agua, los cuales afectan la potabilidad del agua para consumo humano y de riego, por lo que es importante tomar en cuenta los valores. Para el análisis de bicarbonato, este se convierte a alcalinidad de carbonato, multiplicando el primero (Bicarbonato) por un factor gravimétrico que es de 0.4917, es decir que se asume que la mitad del bicarbonato se volatiliza como bióxido de carbono y agua (Hem, 1985). Los datos del cuadro 75 y 76 los cuales pertenecen a la época lluviosa hay un incremento en cuanto a sólidos presentes en las muestras de agua, ya que existe una mayor cantidad de partículas las cuales son arrastradas hasta la corrientes por la escorrentía superficial.

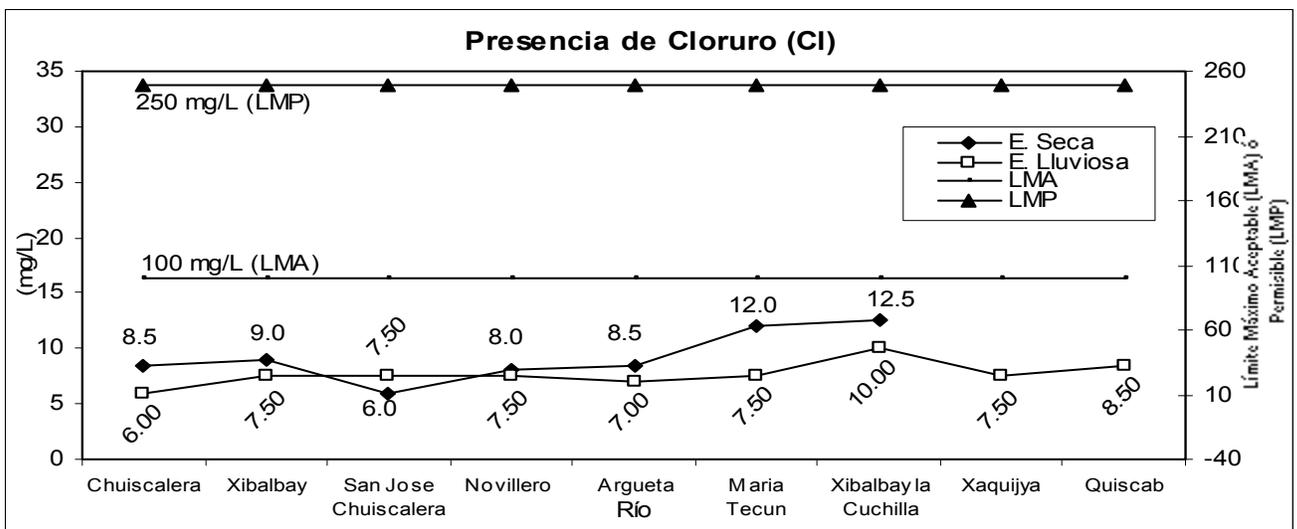


Figura 62 Presencia de Cloruro en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab

La presencia de cloruro en las muestras de aguas son muy por debajo de los niveles permitidos por la norma COGUANOR 29 001, ya que el límite máximo aceptable es de 100.0 mg/L. y los valores se encuentran entre 6.00 – 12.50 mg/L. En el análisis realizado los valores más altos se encontraron en la época seca, el cual al existir un menor caudal hay una mayor concentración de cloruro y en la época lluviosa existe una disminución del mismo ya que existe una mayor cantidad de agua, por lo que se diluye. La presencia de este ion se debe a la influencia de vertidos urbanos e industriales, ya que estos pueden aportar cantidades importantes de este ion.

Además hay que considerar que este ion es muy estable en disolución y difícil de precipitar por lo que el comportamiento en todos los puntos guarda la misma similitud en los valores.

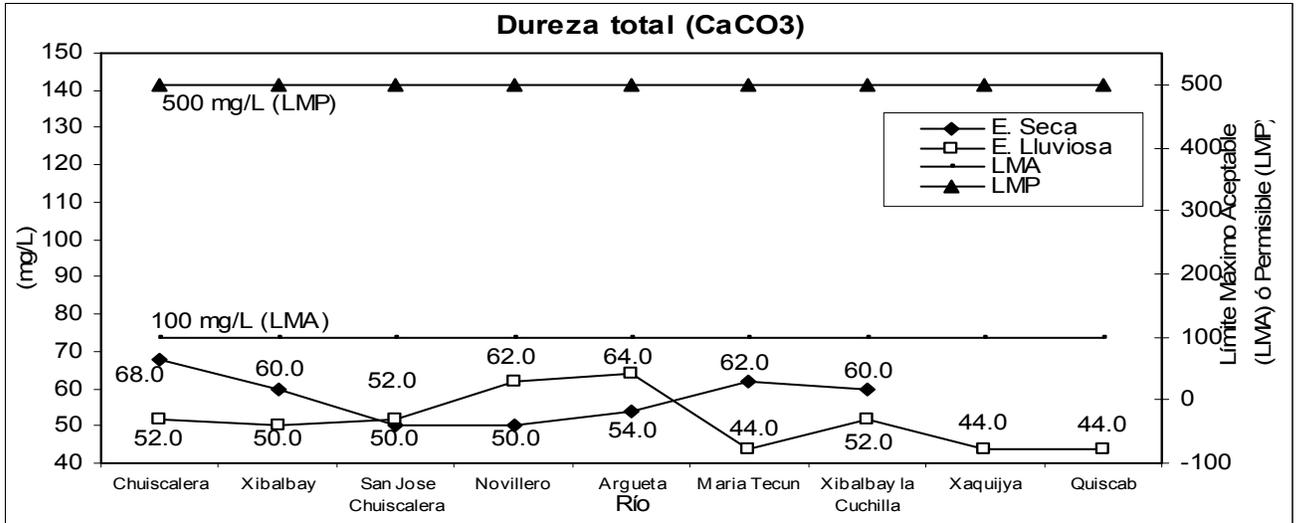


Figura 63 Dureza total de las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab.

En el análisis de dureza del agua los valores de concentración de calcio y magnesio van cambiando, ya que en algunas muestras en la época seca es menor y en la época lluviosa mayor o viceversa como sucede en el río Chuiscalera, Xibalbay, María Tecun y Xibalbay la Cuchilla, en caso de los últimos tres, hay una relación ya que el cauce es el mismo solo que las muestras fueron tomadas de diferentes puntos. Esto se debe a la variación de concentraciones de sustancias como carbonatos, calcio y magnesio. Los valores presentes se localizan por debajo del límite máximo aceptable, esto puede deberse a que es una corriente permanente.

De acuerdo a los valores de dureza las muestras de aguas de a subcuenca río Quiscab son clasificadas como aguas de dureza suaves o blandas ya que se localizan entre los valores de 0 a 75 mg/L CaCO<sub>3</sub>. La dureza mide la capacidad de un agua para consumir jabón o producir incrustaciones, la identifican con la cantidad de concentración de iones alcalinotérreos de Ca y Mg. (Castañeda, citado por Fuentes, 2005)

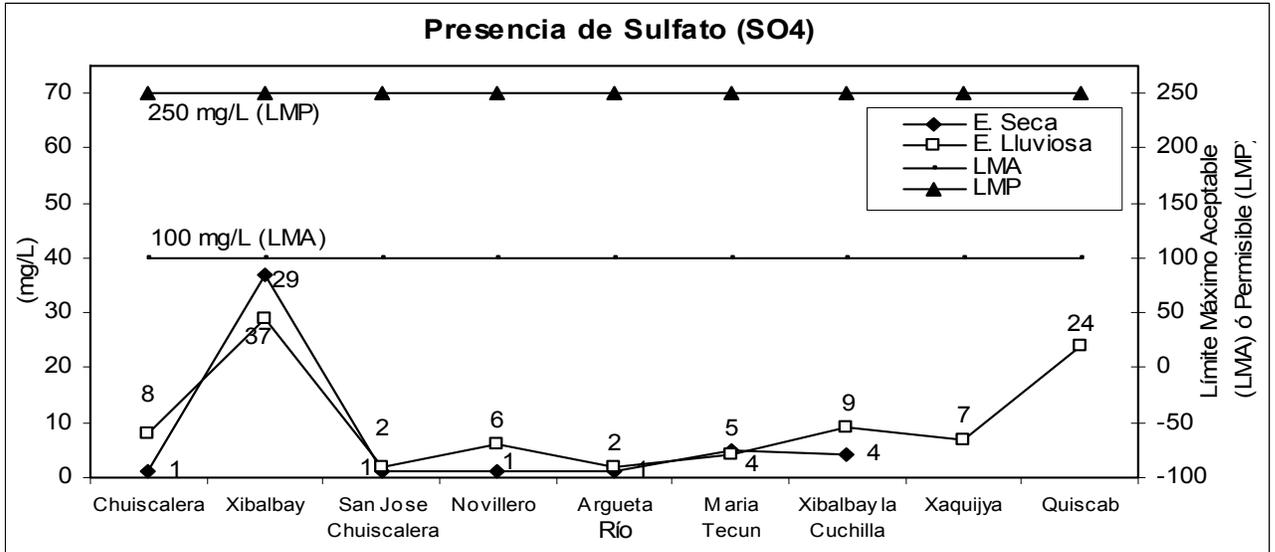


Figura 64 Presencia de sulfato en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab

Para el análisis de presencia de Sulfatos en las muestras de agua se logró determinar que los valores se localizan muy por debajo del límite máximo aceptable, ya que la cantidad máxima aceptable es de 100 mg/L, y los de las muestras se localizan dentro del rango 1.0 a 37.0 mg/L, lo cual indica que el agua es de buena calidad, el análisis demuestra que la muestra del río Xibalbay es la que presenta los valores más altos 37.0 mg/L (época seca) y 29.0 (época lluviosa). Son sales moderadamente solubles o muy solubles, es de hacer notar que las muestras de agua tomadas en los cauces del río Xibalbay y Quiscab el escurrimiento del agua se da sobre un lecho rocoso, provocando una aireación de la corriente de agua (oxidación) por lo que puede darse un incremento en la presencia del Ion sulfato.

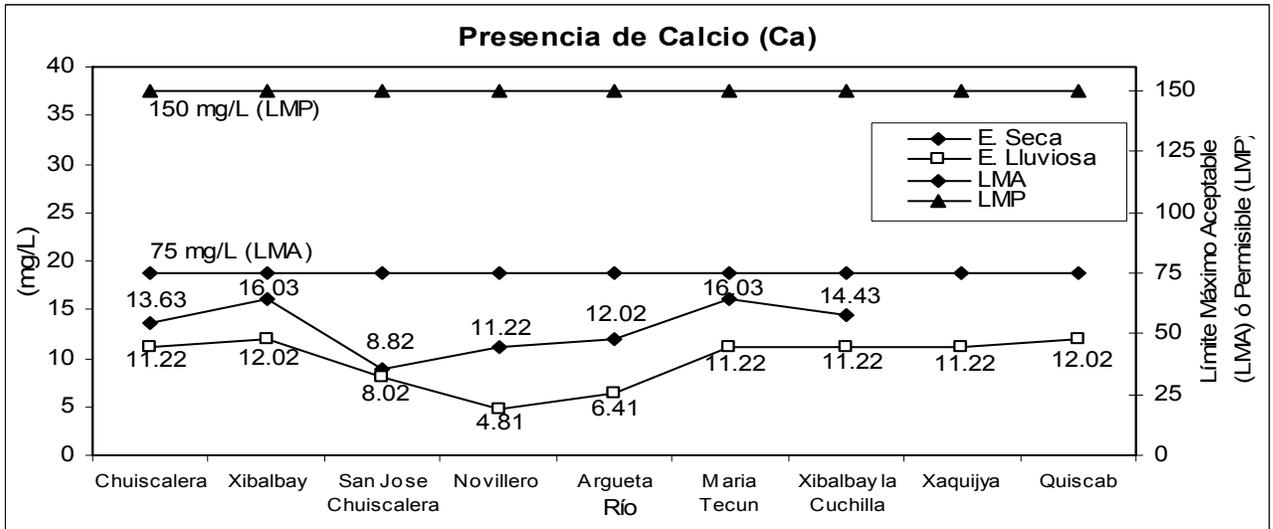


Figura 65 Presencia de calcio en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab.

Como se logra ver en la figura 65 las concentraciones de Calcio (Ca) en el agua son menores a los límites máximos aceptables (75 mg/L), ya que están por debajo de 16.03 mg/L, en el cual los valores más altos se presenta en las muestras de los ríos Xibalbay y María Tecun, también se logra ver que los valores de calcio en la época lluviosa son menores a los de la época seca. Para ambas muestras de agua las concentraciones de calcio no son dañinas para la salud, según la norma COGUANOR NGO 29 2001. Son sales desde moderadamente solubles o muy solubles, son muy fáciles de precipitar como  $\text{CaCO}_3$  por lo que va asociado a iones de  $\text{CO}_3$  y  $\text{HCO}_3$  en muchas aguas naturales, pudiéndose precipitar y disolver con facilidad al cambiar el pH o la presión parcial de  $\text{CO}_2$ . Es el principal componente de la dureza del agua.

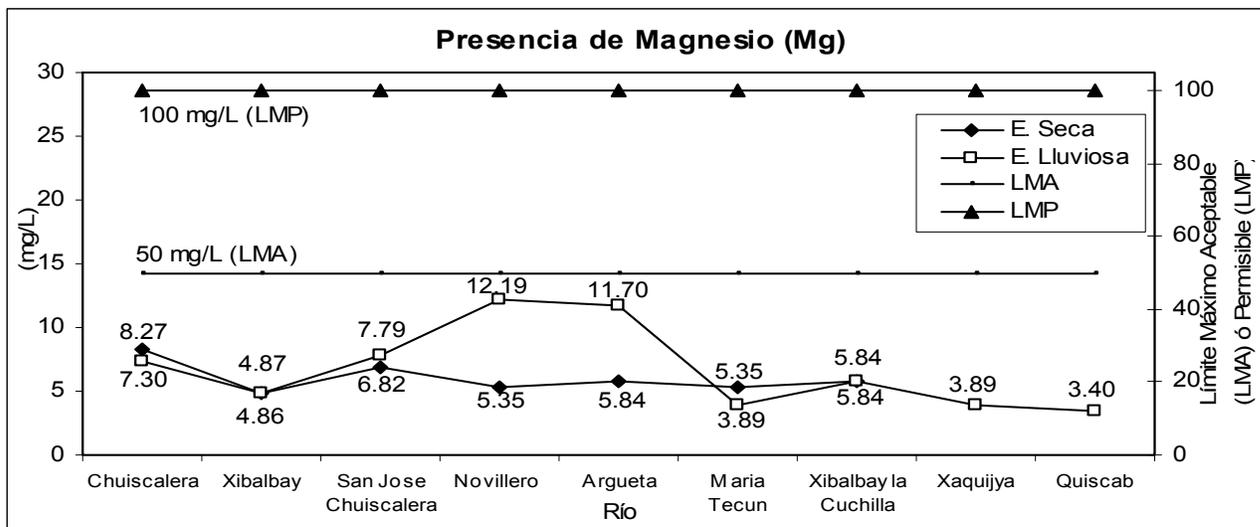


Figura 66 Presencia de Magnesio en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab.

El Magnesio al ser un metal en abundancia disuelto en el agua del mar y esencial para las células vivas, se encuentra por debajo del límite máximo aceptable (50 mg/L), el cual en la época lluviosa existió un aumento, esto debido al arrastre de minerales y rocas con alta presencia de magnesio dentro de agua. Aun existiendo un incremento de magnesio dentro del agua, esta aun se localiza por debajo del límite máximo aceptable, según la norma COGUANOR NGO 29 2001.

Tiene propiedades similares al Ion Calcio, pero más soluble y más difícil de precipitar, contribuye a la dureza del agua.

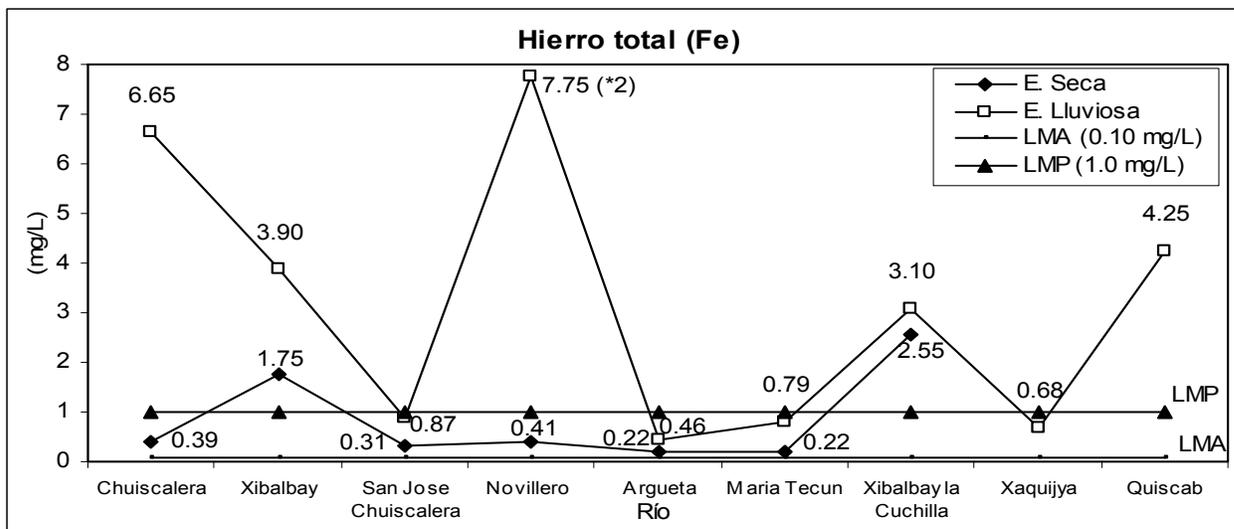


Figura 67 Presencia de Hierro en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab.

Como se logra ver en la figura 67 las concentraciones de hierro en las muestras de agua el río San José Chuiscalera, Argueta, Maria Tecun, presentan valores menores al limite máximo permisible tanto en la época seca como la lluviosa, el río Novillero, Chuiscalera, Quiscab, Xibalbay y Xibalbay la Cuchilla, presenta un aumento significativo en la época lluviosa los cuales sobrepasan el limite máximo permisible (LMP) de la norma COGUANOR NGO 29 2001. Por lo que se determina que el agua no es apta para consumo humano, ya que la alta concentración de hierro provoca conjuntivitis (inflamación de la conjuntiva ocular), coriorrentinitis (inflamación de la coroides y la retina del ojo) y retinitis (inflamación de la retina), si contacta con los tejidos y permanece en ellos. La alta presencia de hierro en los cauces, puede deberse a ciertas materias orgánicas y algunas inorgánicas ya que pueden actuar formando complejos, que aun complican más el comportamiento.

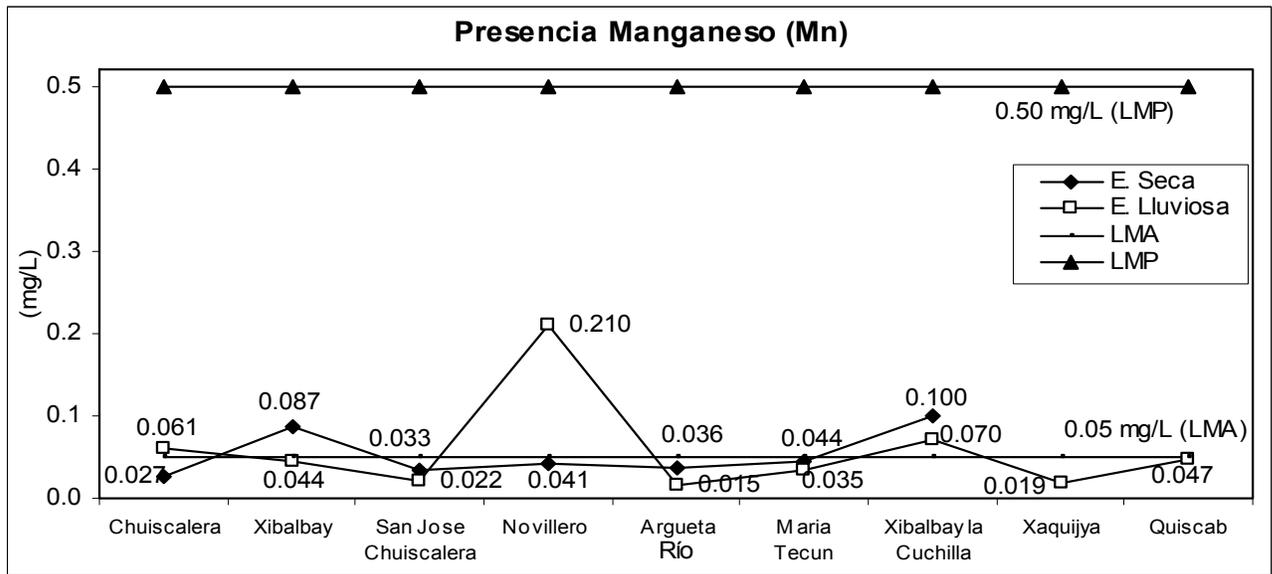


Figura 68 Presencia de Manganese en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab.

En lo que se refiere a la presencia de Manganese (Mn), los valores se localizan dentro del límite máximo permisible (LMP), en el cual el valor más alto se encuentra en la muestra de agua del río Novillero (0.21 mg/L), para la época lluviosa y el de menor concentración el río Argueta en la época lluviosa (0.15 mg/L).

El Manganese tiene un comportamiento similar al Hierro, ya que puede presentarse en varias formas dando lugar a complejos orgánicos estables, tienden a formar manchas negruzcas y favorecen el crecimiento de ciertas bacterias.

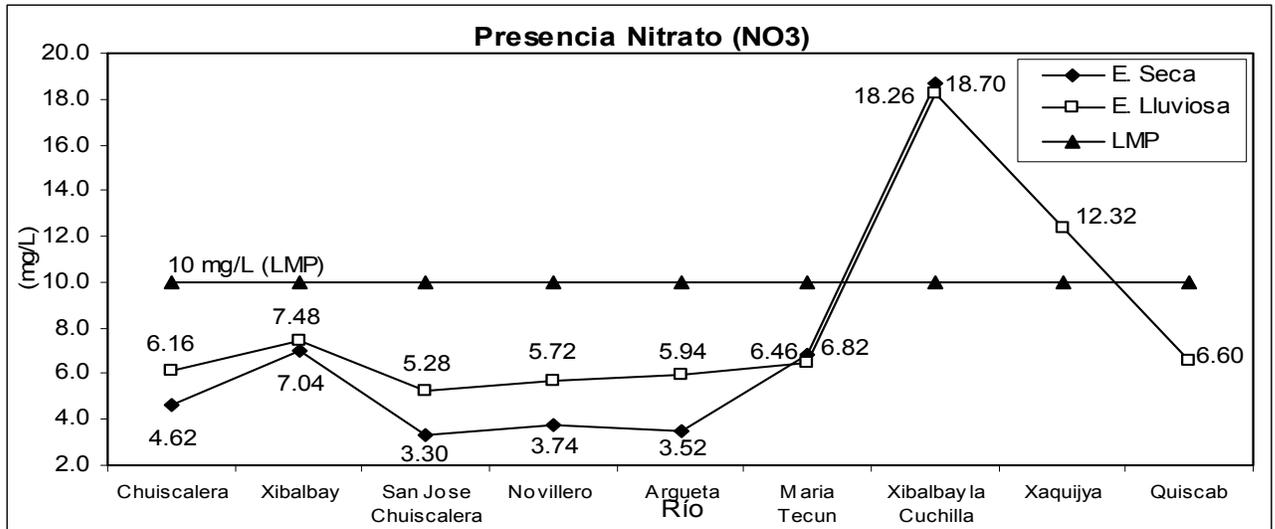


Figura 69 Presencia de Nitrato en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab.

El análisis de las muestras de agua nos da como resultado que 7 de 9 muestras se localizan dentro del límite máximo permisible (LMP) tanto en la época seca así como la lluviosa, para las muestras de agua del río Xibalbay la Cuchilla se observa que los valores se localizan por encima del límite (10.0 mg/L), lo cual nos indica que existe una contaminación del cauce aguas arriba, así mismo los valores del río Xaquijya son mayores al límite máximo permisible (LMP), pero conforme avanzan pierden la concentración de Nitratos ya que en la muestra del río Xibalbay los niveles de Nitrato son menores a los del límite máximo permisible en el cual drenan los dos muestras que presentan alta concentración.

Son sales muy solubles y por lo tanto es muy difícil de precipitar, tiene tendencia a ser muy estable aun en medios reductores, puede pasar a  $N_2$ ,  $NH_4$  y excepcionalmente a  $NO_2$ , las altas concentraciones de Nitrato en los cauces, son de origen local y se da por el desarrollo de actividades antropogénicas, como ocurre en el área del río Xibalbay la Cuchilla y Xaquijya, que se localizan en una región de producción de hortalizas, donde se realizan actividades de fertilización del suelos y manejo post cosecha de las hortalizas (lavado y empaqué). Concentraciones elevadas en el agua de consumo humano puede provocar cianosis en los niños y alta corrosividad (oxidación) al agua y producen interferencias en fermentaciones.

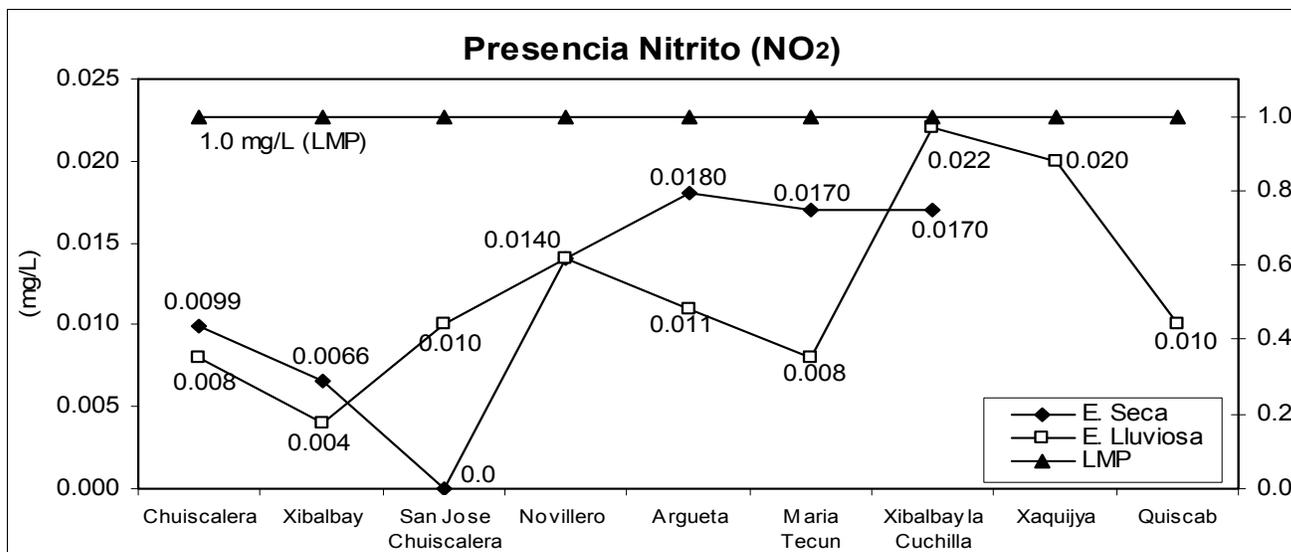


Figura 70 Presencia de Nitrito en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab.

Las concentraciones de Nitrito (NO<sub>2</sub>), en ambas épocas se mantuvieron constantes y las concentraciones que se encuentran no afectan a la salud; principalmente a los bebés, ya que son los más susceptibles. Estos valores se localizan por debajo del límite máximo permisible (LMP), en el cual el único valor atípico lo presenta el río San José Chuiscalera en la época seca.

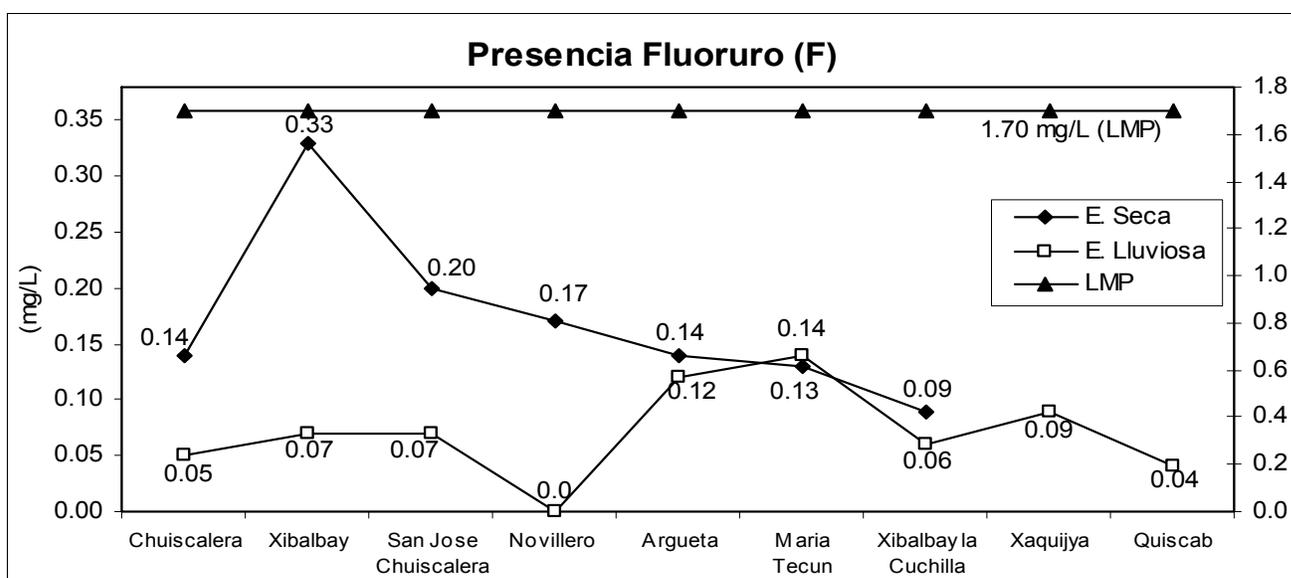


Figura 71 Presencia de fluoruro en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab.

Las concentraciones de Fluoruro (F), en el agua se localizan por debajo del límite máximo permisible (LMP), en la cual se logra determinar que la mayor concentración de Fluoruro se presentan en la época seca en el río Xibalbay (0.33 mg/L). En la época lluviosa no se encontró Fluoruro en el río Novillero, y el resto de muestra mantiene una constante en sus valores en cuanto a concentración de Fluoruro. La solubilidad en general es limitada y al parecer contribuye ligeramente a la alcalinidad del agua pues se hidroliza ligeramente.

Se logra determinar que el análisis químico nos da como resultado que el agua del río Quiscab presentan valores menores a los del límite máximo permisible (LMP) y del límite máximo aceptable (LMA), excepto en el análisis de presencia de hierro para la época lluviosa que presenta valores por arriba del LMP en los cauces del río Novillero, Chiscalera, Quiscab, Xibalbay y Xibalbay la Cuchilla,, por lo que se infiere que el agua presenta las características de calidad para el consumo humano, en lo que respecta a las características químicas, en cuanto al carácter bacteriológico y físico precisa de la aplicación de métodos habituales de tratamiento, para lograr la desinfección total del agua. En lo que refiere a la presencia de coliformes se determina que el agua se enmarca en la clasificación II. Según precisa las normas internacionales de la Organización Mundial de la salud para fuentes de agua. De acuerdo a las normas COGUANOR N60 29-2001, de agua para consumo humano y según normas internacionales de la organización mundial de la salud para fuentes de agua. Bacteriológicamente no son aguas para consumo humano ya que en la época lluviosa se clasificaron todas las fuentes como tipo II (dos), lo que precisa previo a consumir la aplicación de métodos habituales de tratamientos (coagulación, sedimentación, filtración y desinfección) y en la época seca el 43% es de tipo I, por lo que se recomienda una simple desinfección, y el restante 57% son de tipo II.

Considerando que la contaminación es de tipo antropogénico debido a actividades de rellenos sanitarios (acumulación de basura), materia orgánica (procesos de elaboración de abono orgánico sin manejo) aplicación de abonos de origen animal en áreas de cultivos de hortalizas (estiércol de ganada bovino y aves de corral), presencia de letrinas o fosas sépticas (elaboradas en forma rudimentaria y sin manejo de desechos), manejo post cosecha de hortalizas, vertidos líquidos (drenajes de poblados, la escorrentía superficial

que arrastra todo lo que se encuentra sobre la superficie de la tierra). En general la contaminación bacteriológica de las corrientes superficiales de agua en la subcuenca del río Quiscab, se origina principalmente desde la superficie de la tierra a través de procesos de infiltración y percolación de lixiviados que se producen a consecuencia de la actividad antropogénica.

Para determinar la calidad y potencialidad del uso de agua para la agricultura es importante conocer la concentración y composición de los constituyentes disueltos que tenga la misma y de esta manera no causar efectos dañinos al suelo y plantas. En cuanto a la clasificación para riego de estas aguas según Sandoval (1989), tanto en la época lluviosa y seca, son de tipo C1S1, el cual puede ser utilizado para riego en la mayoría de cultivos y suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable con el suelo y desarrollo de salinidad. En cuanto a la actividad de recreación, se debe de tomar en cuenta el criterio de que la calidad del agua para este fin llena lo requerimientos de proteger la salud y seguridad del usuario, debido a que se va a estar en contacto con ella, esta no solamente debe de ser estrictamente agradable a la vista y al tacto, si no que también debe de estar exenta de sustancias tóxicas y debe de estar libre de organismos patógenos. Por lo tanto para la época lluviosa no debe ser utilizada para esta actividad. En cuanto al carácter químico se considera que todas las fuentes de agua son aptas para actividades humanas y agrícolas, cabe destacar que la presencia de Hierro en los puntos de muestreo se debe a construcción de estructuras, como puentes en la ampliación de la carretera interamericana. En la parte física los aspectos de turbiedad, color, aspectos, olor y sólidos en suspensión limitan el agua para actividades higiénicas, recreativas y de consumo humano en el 100% en la época lluviosa, esto como consecuencia de procesos de erosión en el cual se da el desprendimiento y transporte de sedimentos en las corrientes superficiales como efecto de la utilización de áreas con altas pendientes para la producción agrícola sin la implementación de prácticas adecuadas de conservación del suelo y bosque. Es de hacer notar que en la época seca los valores de estos parámetros presentaron una tendencia a la disminución, esto debido a la disminución del proceso erosivo de los suelos.

### C. Hidrogeoquímica de las fuentes de agua, de la subcuenca del río Quiscab.

Cuadro 77 Porcentaje (%) de cationes presentes en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab. (Época seca)

Río	Sodio (Na)			Potasio (K)			Magnesio (Mg)			Calcio (Ca)			Manganeso (Mn)			Hierro (Fe)			Amoníaco (NH <sup>3</sup> )		
	mg/L	me/L	%	mg/L	me/L	%	mg/L	me/L	%	mg/L	me/L	%	mg/L	me/L	%	mg/L	me/L	%	mg/L	me/L	%
Ch	11.50	0.50	25.59	2.50	0.06	3.27	8.27	0.68	34.82	13.63	0.68	34.80	0.03	0.00	0.05	0.39	0.01	0.71	0.25	0.01	0.75
Xi	11.30	0.49	26.74	2.50	0.06	3.48	4.86	0.40	21.76	16.03	0.80	43.52	0.09	0.00	0.17	1.75	0.06	3.41	0.29	0.02	0.93
SJC	10.40	0.45	29.57	2.10	0.05	3.51	6.82	0.56	36.69	8.82	0.44	28.77	0.03	0.00	0.08	0.31	0.01	0.73	0.17	0.01	0.65
Nov	9.90	0.43	28.50	2.00	0.05	3.39	5.35	0.44	29.14	11.22	0.56	37.05	0.04	0.00	0.10	0.41	0.01	0.97	0.22	0.01	0.85
Arg	11.70	0.51	30.53	2.10	0.05	3.22	5.84	0.48	28.83	12.02	0.60	35.98	0.04	0.00	0.08	0.22	0.01	0.47	0.25	0.01	0.88
MT	11.20	0.49	26.71	2.90	0.07	4.07	5.35	0.44	24.14	16.03	0.80	43.86	0.04	0.00	0.09	0.22	0.01	0.43	0.22	0.01	0.71
XC	12.50	0.54	27.56	4.30	0.11	5.57	5.84	0.48	24.36	14.43	0.72	36.50	0.10	0.00	0.19	2.55	0.09	4.63	0.40	0.02	1.19

Cuadro 78 Porcentaje (%) de Aniones presentes en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab. (Época seca)

Río	Fluoruro (F)			Cloruro (Cl)			Sulfatos (SO <sup>24</sup> )			Nitrato (NO <sub>3</sub> )			Nitrito (NO <sub>2</sub> )			Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> )		
	mg/L	me/L	%	mg/L	me/L	%	mg/L	me/L	%	mg/L	me/L	%	mg/L	me/L	%	mg/L	me/L	%
Chuiscalera	0.14	0.01	0.46	8.50	0.24	15.01	1.00	0.02	1.30	4.62	0.15	9.33	0.01	0.00	0.03	72.00	1.18	73.87
Xibalbay	0.33	0.02	0.84	9.00	0.25	12.35	37.00	0.77	37.48	7.04	0.23	11.05	0.01	0.00	0.01	48.00	0.79	38.27
San José Chuiscalera	0.20	0.01	0.84	6.00	0.17	13.46	1.00	0.02	1.66	3.30	0.11	8.46	0.00	0.00	0.00	58.00	0.95	75.58
Novillero	0.17	0.01	0.63	8.00	0.23	15.83	1.00	0.02	1.46	3.74	0.12	8.46	0.01	0.00	0.04	64.00	1.05	73.58
Argueta	0.14	0.01	0.54	8.50	0.24	17.56	1.00	0.02	1.52	3.52	0.11	8.31	0.02	0.00	0.06	60.00	0.98	72.01
María Tecun	0.13	0.01	0.38	12.00	0.34	18.63	5.00	0.10	5.73	6.82	0.22	12.10	0.02	0.00	0.04	70.00	1.15	63.12
Xibalbay la Cuchilla	0.09	0.00	0.22	12.50	0.35	16.53	4.00	0.08	3.90	18.70	0.60	28.28	0.17	0.01	0.35	66.00	1.08	50.71

Ch = Chuiscalera

Xi = Xibalbay

SJC = San José Chuiscalera

Nov = Novillero

Arg = Argueta

MT = María Tecun

XC = Xibalbay la cuchilla

Xa = Xaquijya

Qu = Quiscab

Cuadro 79 Porcentaje (%) de cationes presentes en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab. (Época lluviosa)

Río	Sodio (Na)			Potasio (K)			Magnesio (Mg)			Calcio (Ca)			Manganeso (Mn)			Hierro (Fe)			Amoniacó (NH <sup>3</sup> )		
	mg/L	me/L	%	mg/L	me/L	%	mg/L	me/L	%	mg/L	me/L	%	mg/L	me/L	%	mg/L	me/L	%	mg/L	me/L	%
Ch	8.20	0.36	19.42	2.60	0.07	3.62	7.30	0.60	32.71	11.22	0.56	30.49	0.06	0.00	0.12	6.65	0.24	12.97	0.21	0.01	0.67
Xi	7.30	0.32	20.82	2.20	0.06	3.69	4.87	0.40	26.28	12.02	0.60	39.33	0.04	0.00	0.11	3.90	0.14	9.16	0.16	0.01	0.62
SJC	6.30	0.27	19.45	2.00	0.05	3.63	7.79	0.64	45.50	8.02	0.40	28.40	0.02	0.00	0.06	0.87	0.03	2.21	0.18	0.01	0.75
Nov	7.70	0.33	15.14	2.50	0.06	2.89	12.19	1.00	45.33	4.81	0.24	10.85	0.21	0.01	0.35	15.50	0.56	25.08	0.14	0.01	0.37
Arg	6.00	0.26	16.28	1.40	0.04	2.23	11.70	0.96	60.04	6.41	0.32	19.95	0.02	0.00	0.03	0.46	0.02	1.03	0.12	0.01	0.44
MT	7.90	0.34	26.27	1.60	0.04	3.13	3.89	0.32	24.47	11.22	0.56	42.80	0.04	0.00	0.10	0.79	0.03	2.16	0.24	0.01	1.08
XC	9.10	0.40	24.11	3.10	0.08	4.83	5.84	0.48	29.28	11.22	0.56	34.11	0.07	0.00	0.16	3.10	0.11	6.76	0.21	0.01	0.75
Xa	7.90	0.34	26.26	2.10	0.05	4.10	3.89	0.32	24.46	11.22	0.56	42.78	0.02	0.00	0.05	0.68	0.02	1.86	0.11	0.01	0.49
Qu	8.60	0.37	24.88	2.40	0.06	4.08	3.40	0.28	18.61	12.02	0.60	39.89	0.05	0.00	0.12	4.25	0.15	10.12	0.59	0.03	2.30

Cuadro 80 Porcentaje (%) de Aniones presentes en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab. (Época lluviosa)

Río	Fluoruro (F)			Cloruro (Cl)			Sulfatos (SO <sup>24</sup> )			Nitrito (NO <sup>3</sup> )			Nitrito (NO <sup>2</sup> )			Bicarbonatos (HCO <sup>3</sup> )		
	mg/L	me/L	%	mg/L	me/L	%	mg/L	me/L	%	mg/L	me/L	%	mg/L	me/L	%	mg/L	me/L	%
Chuiscalera	0.05	0.00	0.18	6.00	0.17	11.63	8.0	0.17	11.45	6.16	0.20	13.65	0.008	0.00	0.02	56.00	0.92	63.07
Xibalbay	0.07	0.00	0.21	7.50	0.21	12.33	29.0	0.60	35.19	7.48	0.24	14.06	0.004	0.00	0.01	40.00	0.66	38.20
San José Chuiscalera	0.07	0.00	0.31	7.50	0.21	17.91	2.0	0.04	3.52	5.28	0.17	14.41	0.010	0.00	0.04	46.00	0.75	63.81
Novillero	0.00	0.00	0.00	7.50	0.21	14.37	6.0	0.12	8.49	5.72	0.18	12.53	0.014	0.00	0.04	58.00	0.95	64.57
Argueta	0.12	0.01	0.58	7.00	0.20	18.07	2.0	0.04	3.81	5.94	0.19	17.53	0.011	0.00	0.04	40.00	0.66	59.97
María Tecun	0.14	0.01	0.50	7.50	0.21	14.48	4.0	0.08	5.70	6.46	0.21	14.26	0.008	0.00	0.02	58.00	0.95	65.04
Xibalbay la Cuchilla	0.06	0.00	0.18	10.00	0.28	15.82	9.0	0.19	10.51	18.26	0.59	33.02	0.022	0.00	0.05	44.00	0.72	40.43
Xaquijya	0.09	0.00	0.31	7.50	0.21	13.97	7.0	0.15	9.63	12.32	0.40	26.24	0.020	0.00	0.06	46.00	0.75	49.79
Quiscab	0.04	0.00	0.14	8.50	0.24	15.52	24.0	0.50	32.35	6.60	0.21	13.78	0.010	0.00	0.03	36.00	0.59	38.19

De acuerdo al análisis de los cuadros 77, 78, 79 y 80, más del 90% de los sólidos disueltos en las aguas de los ríos de la subcuenca del río Quiscab, pueden ser atribuidos a ocho iones, los cuales tienen una mayor presencia: Sodio (Na), Potasio (K), Magnesio (Mg), Calcio (Ca), Cloruro (Cl), Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ). Estos iones normalmente se encuentran presentes, en grandes concentraciones en el agua (mayor 1 mg/L), controlan las condiciones hidrogeoquímicas e indirectamente controlan el comportamiento de los iones de otras especies químicas menores, incluso de las que son tóxicas (Fetter, 2001).

Los análisis de electroneutralidad de las aguas del río Quiscab, muestra que no existe un catión dominante (Cuadro 77 y 79) pero si una mayor presencia de Sodio (Na), Magnesio (Mg), Calcio (Ca) y que el Bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), es el anión dominante (Cuadro 78 y 80).

Cuadro 81 Sumatoria de los aniones y cationes y de mayor presencia en las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab.

Río	Época Seca				Época Lluviosa			
	Na + K %	Ca + Mg %	Cl + SO4	CO3 + HCO3	Na + K %	Ca + Mg %	Cl + SO4	NO3 + HCO3
Chuiscalera	28.87	69.62	16.31	73.87	23.04	63.20	23.08	63.07
Xibalbay	30.22	65.27	49.83	38.27	24.51	65.61	47.52	38.20
San José Chuiscalera	33.08	65.46	15.11	75.58	23.08	73.90	21.43	63.81
Novillero	31.89	66.19	17.29	73.58	18.02	56.17	22.86	64.57
Argueta	33.75	64.81	19.08	72.01	18.51	79.99	21.88	59.97
María Tecun	30.78	67.99	24.35	63.12	29.40	67.27	20.18	65.04
Xibalbay la Cuchilla	33.14	60.86	20.44	50.71	28.94	63.38	26.32	40.43
Xaquijya					30.36	67.23	23.60	49.79
Quiscab					28.96	58.50	47.87	38.19

Cuadro 82 Total de Aniones, cationes y clasificaron de las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab.

Río	Época Seca			Época Lluviosa		
	Total Cationes	Total Aniones	Clasificación del agua	Total Cationes	Total Aniones	Clasificación del agua
Chuiscalera	1.95	1.60	Mg-Ca-Na-HCO3	1.84	1.46	Mg-Ca-Na-HCO3
Xibalbay	1.84	2.06	Ca-Na-Mg-HCO3-SO4	1.53	1.72	Ca-Na-Mg-HCO3-SO4
San José Chuiscalera	1.53	1.26	Mg-Na-Ca-HCO3	1.41	1.18	Mg-Ca-Na-HCO3
Novillero	1.51	1.43	Ca-Mg-Na-HCO3	2.21	1.47	Mg-Fe-HCO3
Argueta	1.67	1.37	Ca-Na-Mg-HCO3	1.60	1.09	Mg-Ca-Na-HCO3
María Tecun	1.82	1.82	Ca-Na-Mg-HCO3	1.31	1.46	Ca-Na-Mg-HCO3
Xibalbay la Cuchilla	1.97	2.13	Ca-Na-Mg-HCO3	1.64	1.78	Ca-Mg-Na-HCO3
Xaquijya				1.31	1.51	Ca-Na-Mg-HCO3
Quiscab				1.50	1.54	Ca-Na-Mg-HCO3-SO4

En el cuadro 81, se presentan los valores de las relaciones de los cationes y aniones de mayor presencia en las aguas del río Quiscab, en donde se logra determinar que existe una mayor concentración de calcio y magnesio en el agua ya que ocupan más del 69% del total de cationes presentes en el agua. Así mismo la relación carbonato y bicarbonato es la de mayor presencia de aniones en las muestras de agua ya que están por encima del 50% exceptuando las muestras del río Xibalbay en donde existe una predominancia de Cloruro y Sulfato, este cauce drena directamente al río Quiscab, que presenta las mismas características en cuanto a presencia de cloruros y sulfatos.

De acuerdo al análisis químico, se determinó que el tipo de agua hidrogeoquímico, de las muestras de agua de la subcuenca del río Quiscab, se encontraron 6 clasificaciones o tipos de agua (Cuadro 82), en donde se puede observar que el cauce principal presenta un tipo de agua Ca-Na-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>, por lo que se determina que el cauce que tiene mayor presencia en cuanto a aniones y cationes sobre el río Quiscab es el río Xibalbay, ya que también presentó el mismo tipo de agua para las dos muestras tomadas en diferentes fechas. Y el tipo de agua Ca-Na-Mg-HCO<sub>3</sub>, es la que se localizó en la mayor cantidad de ríos, Argueta, Xibalbay la cuchilla, Xaquijya y María Tecun. La tipo de agua del río Novillero para la época lluviosa presentó gran cantidad de hierro (Fe), por lo que el tipo de agua fue clasificada como Mg-Fe-HCO<sub>3</sub>.

Cuadro 83 Características físico-químicas de las aguas del lago de Atitlán.

Variable / Río	Río Quiscab 0 m	Lago Atitlán 5 m	Lago Atitlán 10 m	Lago Atitlán 30 m	Lago de Atitlán
Temperatura °C	20.02	23.52	22.97	22.68	
pH	8.17	8.54	8.47	8.41	8.739
Dureza CaO3					178.557
Oxígeno Disuelto (mg/L)	6.59	6.7	6.84	7.01	8.091
Oxígeno Disuelto (%)	88.1	93.75	94.54	95.48	
Conductividad $\mu$ S/cm	148.000	452.53	451.18	451.6	476.971
Salinidad	0	0	0	0	
Sólidos Totales Disueltos	0.1	0.29			
Turbidez	410	72.01			
Presencia de E Coli.	si			si	
Coliformes Totales (NMP/100ml)	309				78
Escherichia coli (NMP/100ml)	10				0
Alcalinidad Total CaCO <sub>3</sub> (mg/L)					227.782
NO <sub>3</sub>					0.5656
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>					0.0179
Ca <sup>2+</sup>					28.591
Mg <sup>2+</sup>					19.897
Na					38.403
K					5.72
HCO <sub>3</sub>					181.243
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>					17.93
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>					37.343
CL					32.21

Cuadro 84 Cationes mayores presentes en las aguas del lago de Atitlán.

Cationes	Concentración mg/L	Peso Atómico gr/mol	mmol/L	Z	Concentración meq/L	%
Ca	28.59	40.08	0.71	2	1.43	29.23
Mg	19.90	24.31	0.82	2	1.64	33.55
Na	38.40	22.99	1.67	1	1.67	34.23
K	5.72	39.10	0.15	1	0.15	3.00
Total					4.88	100.00

Cuadro 85 Aniones mayores presentes en las aguas del lago de Atitlán.

Aniones	Concentración mg/L	Peso Atómico gr/mol	mmol/L	Z	Concentración meq/L	%
HCO <sub>3</sub>	181.24	61.02	2.97	1	2.97	52.64
NO <sub>3</sub>	17.93	60.01	0.30	2	0.60	10.59
SO <sub>4</sub>	37.34	96.06	0.39	3	1.17	20.67
CL	32.21	35.45	0.91	1	0.91	16.10
Total					5.64	100.00

Las aguas del lago de Atitlán son clasificadas como fuertemente básicas, con un pH promedio de 8.73, valores de pH altos generalmente son asociados con la actividad de fitoplancton, que emplea el bicarbonato disponible y causa un cambio en el pH haciéndolo más básico. Las aguas del lago son clasificados como duras (178.55 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ), lo que indica que tienen disueltas altas concentraciones de calcio y magnesio, teniendo estas las características de neutralizar, en parte, el efecto limpiador del jabón, debido a la formación de sales entre los iones de carboxilato y los del calcio y magnesio.

De los gases disueltos en el agua, el Oxígeno ( $\text{O}_2$ ) es la más importante y crucial para la vida vegetal y animal interactuando en muchas reacciones químicas y biológicas. Los lagos contienen naturalmente entre 8 y 12 mg/L de  $\text{O}_2$ . (Vila 2003). El lago de Atitlán, presenta una media de 8.091 mg/L  $\text{O}_2$  disuelto (Cuadro 83).

El lago de Atitlán se clasifica como un lago de alcalinidad alta (227.78 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ) ya que esta es mayor a los 150 mg/L  $\text{CaCO}_3$  esto quiere decir que el lago tiene un alto potencial de productividad debido a que cuenta con altas reservas de carbono, esencial para el proceso fotosintético. El principal ión responsable de la alcalinidad de las aguas del lago es el bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) especie de carbono que mantiene su forma iónica debido a la basicidad del lago (pH alto).

La clasificación hidrogeoquímica de las aguas del lago de Atitlán, de acuerdo a la presencia de iones y cationes en el agua se determino que es de tipo Sódica-Magnésica-Cálcica-Bicarbonatada ( $\text{Na-Mg-Ca-HCO}_3$ ) al realizar este análisis nos permite conocer y determinara el origen de los principales componentes químicos de la misma y sirve además como una referencia base para mostrar la evolución de las aguas a lo largo del acuífero.

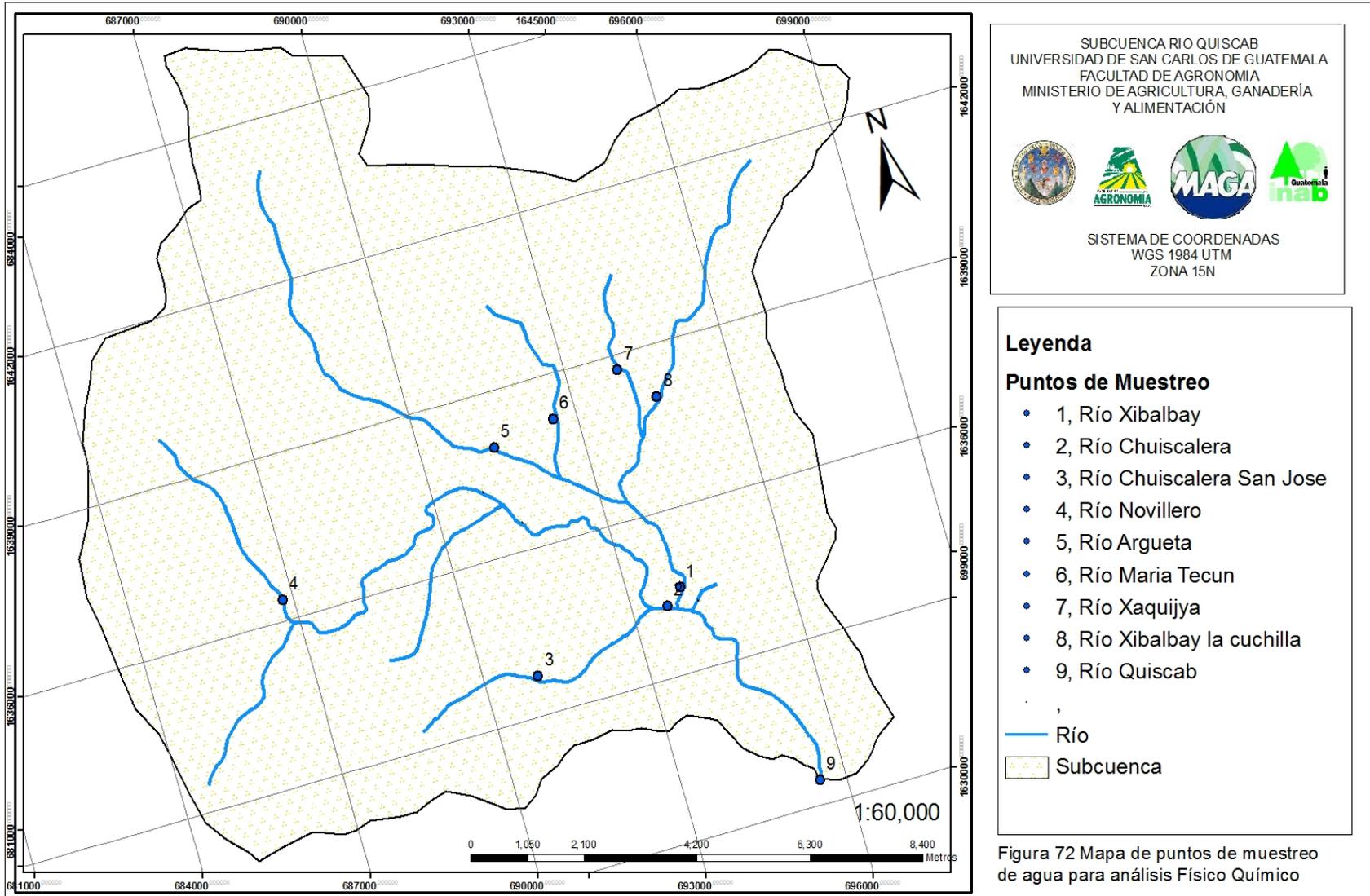


Figura 72 Mapa de puntos de muestreo de agua para análisis físico-químico



### **3.3.3 Muestreo de agua para determinación de sedimentos en los principales ríos, de la subcuenca del río Quiscab.**

#### **3.3.3.1 Definición del problema**

Actualmente existe una alta pérdida de suelo por erosión, no solo por el viento si no que por la precipitación, y este es un factor muy importante que se ve influida por la cobertura vegetal y pendiente existente en el área. Este tipo de información brindará importante información para determinar la cantidad de suelo perdido, el cual es arrastrado por las corrientes a las partes más bajas de la subcuenca.

La gran pérdida de sedimentos y nutrientes de los suelos, se da ya que no existe un manejo o conservación de suelos adecuados, por lo que se determinará la cantidad de suelo perdido en el área.

#### **3.3.3.2 Objetivos específicos**

Estimar la pérdida de suelo en los principales ríos de la subcuenca del río Quiscab.

#### **3.3.3.3 Metas**

Tabular los datos de sedimentos de los ríos muestreados.

Determinar la cantidad de suelo perdido en la parte alta y media de la subcuenca.

#### **3.3.3.4 Metodología**

A. Fase de campo.

- Tomar muestras de agua de los principales cauces que se ubican en la subcuenca del río Quiscab.

B. Fase Gabinete Final

- Pesar el papel filtro. (gr.).
- Agitar la muestra de agua, tomada en el campo
- Medir en una probeta 100 ml de agua.
- Colocar el papel filtro en un embudo y depositar los 100 ml de agua.
- Dejar que escurra toda el agua, y que seque el papel filtro con los sedimentos.

- Ya seco, pesar el papel filtro con sedimentos (gr/100 ml).
- Al peso anterior restarle el peso del papel filtro (paso 1)
- Proyectar el peso (gr/100 ml) a gr/l y luego a lb/m<sup>3</sup>.

#### **3.3.3.5 Evaluación**

Se lograron cuantificar los sedimentos arrastrados en los principales ríos, en el cual se trato de tomar la mayor cantidad de muestras durante el ciclo que duro la investigación (1 año).

Cuadro 86 Sedimento arrastrado por los principales cauces de la subcuenca del río Quiscab (Ton/m<sup>3</sup>/año)

Río		Hierbabuena			Xibalbay			Chuiscalera			San José Chuiscalera			Novillero Xiquel		
Peso		gr/L	Caudal m <sup>3</sup> /seg	Ton/año	gr/L	Caudal m <sup>3</sup> /seg	Ton/año	gr/L	Caudal m <sup>3</sup> /seg	Ton/año	gr/L	Caudal m <sup>3</sup> /seg	Ton/año	gr/L	Caudal m <sup>3</sup> /seg	Ton/año
Fecha																
Año 2007	02-nov	0.65	0.02	356.67	0.80	1.62	40895.88	0.94	1.82	53922.14	0.45	0.21	3036.92	0.89	1.00	28179.31
	29-nov	0.56	0.02	323.18	0.74	1.08	25180.23	0.80	1.65	41551.83	0.40	0.15	1942.62	0.75	0.82	19418.29
	19-dic	0.46	0.01	158.12	0.60	0.87	16518.56	0.82	1.62	41892.42	0.48	0.12	1755.92	0.85	0.72	19326.84
Año 2008	05-ene	0.48	0.00	62.06	0.65	0.85	17464.64	0.80	1.49	37590.91	0.50	0.12	1844.86	0.82	0.72	18644.71
	18-ene	0.47	0.00	54.84	0.68	0.84	18034.81	0.80	1.34	33806.59	0.30	0.11	1069.07	0.85	0.72	19353.64
	06-feb	0.40	0.00	46.67	0.69	0.70	15297.17	0.56	0.85	15081.78	0.35	0.09	971.31	0.80	0.70	17660.16
	20-feb	0.40	0.00	46.67	0.70	0.70	15496.79	0.55	0.84	14586.98	0.45	0.09	1206.25	0.69	0.68	14753.17
	21-mar	0.43	0.00	37.97	0.72	0.66	15054.02	0.56	0.79	14022.17	0.50	0.08	1277.21	0.67	0.63	13353.60
	11-abr	0.46	0.01	120.40	0.74	0.68	15868.92	0.54	0.80	13589.49	0.39	0.09	1057.72	0.70	0.60	13289.27
	25-abr	0.54	0.01	241.82	0.77	0.74	18017.78	0.90	1.14	32412.70	0.49	0.13	2008.84	0.75	0.61	14427.72
	02-may	0.70	0.02	428.26	0.99	0.79	24570.64	1.01	1.39	44209.69	0.60	0.16	3046.38	0.70	0.63	13907.38
	30-may	0.68	0.05	1115.11	0.89	1.12	31378.95	0.99	1.60	50077.91	0.66	0.19	3996.24	0.95	0.92	27472.59
	26-jun	0.63	0.08	1509.94	0.90	1.58	44815.81	0.90	1.88	53330.53	0.61	0.20	3866.63	0.95	1.03	30977.81
	02-jul	0.76	0.08	1989.29	1.15	3.00	108799.20	0.95	1.93	57731.38	0.69	0.18	4003.81	0.92	1.12	32407.66
	22-jul	0.75	0.06	1442.77	1.19	4.92	184524.39	1.23	3.06	118772.78	0.68	0.24	5125.23	0.97	2.04	62464.62
	04-ago	0.72	0.06	1294.24	1.20	3.23	122271.38	1.05	2.22	73411.08	0.56	0.49	8565.18	0.98	1.63	50282.89
	12-ago	0.69	0.05	1066.23	1.00	2.76	86976.29	1.05	2.42	80066.75	0.55	0.51	8811.16	0.97	1.82	55520.70
	Prom.	0.575	0.028	517.06	0.847	1.538	41112.89	0.850	1.578	42321.31	0.509	0.185	2980.49	0.835	0.9643	25419.17

Cuadro 87 Sedimento arrastrado por los principales cauces de la subcuenca del río Quiscab (Ton/año)

Río		Novillero Puente			Novillero Pueblo			Argueta			María Tecun			Xaquijya		
Peso		gr/L	Caudal m³/seg	Ton/año	gr/L	Caudal m³/seg	Ton/año	gr/L	Caudal m³/seg	Ton/año	gr/L	Caudal m³/seg	Ton/año	gr/L	Caudal m³/seg	Ton/año
Fecha																
Año 2007	02-nov	0.51	0.68	10904.52	0.70	0.12	2737.32	0.86	0.93	25276.73	0.60	0.54	10160.90	0.56	0.08	1483.45
	29-nov	0.59	0.50	9340.33	0.36	0.06	692.53	0.69	0.64	13861.02	0.62	0.32	6178.53	0.40	0.06	807.32
	19-dic	0.56	0.36	6428.30	0.40	0.05	668.56	0.64	0.52	10515.36	0.70	0.12	2560.72	0.36	0.05	544.94
Año 2008	05-ene	0.60	0.32	5960.30	0.42	0.04	529.80	0.70	0.51	11192.13	0.50	0.08	1308.74	0.38	0.04	479.35
	18-ene	0.61	0.31	5982.69	0.41	0.04	517.19	0.61	0.47	9041.37	0.50	0.06	977.62	0.39	0.04	455.06
	06-feb	0.68	0.30	6411.90	0.45	0.04	567.65	0.50	0.22	3421.66	0.51	0.04	643.33	0.39	0.04	442.77
	20-feb	0.65	0.30	6108.52	0.41	0.04	478.40	0.56	0.22	3796.93	0.52	0.04	655.95	0.37	0.04	408.39
	21-mar	0.64	0.29	5812.72	0.40	0.03	416.28	0.71	0.20	4388.55	0.49	0.03	525.39	0.36	0.03	283.82
	11-abr	0.64	0.30	5994.36	0.84	0.24	6278.19	0.60	0.19	3651.87	0.49	0.04	556.30	0.36	0.02	249.77
	25-abr	0.61	0.31	6021.17	0.85	0.28	7478.76	0.64	0.20	3955.88	0.55	0.05	780.52	0.36	0.02	215.71
	02-may	0.66	0.33	6889.35	0.90	0.33	9366.19	0.80	0.20	5020.53	0.55	0.05	919.27	0.36	0.02	238.41
	30-may	0.76	0.56	13517.59	0.95	0.38	11294.62	0.94	0.78	23033.26	0.67	0.41	8620.68	0.59	0.06	1060.56
	26-jun	0.80	0.67	16878.07	0.96	0.42	12715.32	0.90	2.10	59688.19	0.75	0.41	9791.93	0.64	0.06	1251.35
	02-jul	0.80	0.83	20813.76	0.92	0.43	12388.60	0.96	2.66	80469.78	0.79	0.48	11908.62	0.60	0.07	1343.43
	22-jul	0.96	1.30	39205.56	0.98	0.71	22035.46	0.99	3.21	100280.70	0.99	1.06	33000.22	0.63	0.09	1688.75
	04-ago	0.96	1.16	35027.67	0.89	0.51	14201.92	0.89	1.70	47629.77	0.91	0.88	25167.94	0.66	0.10	2081.38
12-ago	0.91	1.09	31137.07	0.76	0.73	17400.30	0.70	1.24	27439.47	0.95	0.81	24296.91	0.62	0.08	1622.84	
	Prom.	0.70	0.56	12496.17	0.68	0.26	5623.97	0.75	0.94	22118.56	0.65	0.32	6543.30	0.47	0.05	778.98

Cuadro 88 Sedimento arrastrado por los principales cauces de la subcuenca del río Quiscab (Ton/año)

Río		Xibalbay La Cuchilla			Quiscab		
Peso		gr/L	Caudal m <sup>3</sup> /seg	Ton/año	gr/L	Caudal m <sup>3</sup> /seg	Ton/año
Fecha							
Año 2007	02-nov	0.65	0.11	2316.32	1.36	4.02	172585.18
	29-nov	0.56	0.09	1571.75	1.20	2.68	101344.09
	19-dic	0.59	0.07	1321.04			
Año 2008	05-ene	0.61	0.06	1231.17			
	18-ene	0.59	0.06	1190.80	1.23	1.56	60356.12
	06-feb	0.60	0.06	1173.14	1.25	1.33	52270.92
	20-feb	0.65	0.06	1250.40	1.25	1.31	51521.94
	21-mar	0.64	0.06	1130.25	1.26	1.29	51059.94
	11-abr	0.70	0.08	1699.79	1.26	1.29	51377.82
	25-abr	0.72	0.17	3860.01	1.26	1.29	51417.56
	02-may	0.80	0.22	5600.79	1.30	1.32	54279.76
	30-may	0.86	0.22	6020.85	1.36	2.10	90195.48
	26-jun	0.89	0.33	9290.19	1.40	2.17	95806.37
	02-jul	0.80	0.26	6584.72	1.39	2.47	108141.04
	22-jul	0.89	1.69	47321.03	1.70	5.87	314858.58
	04-ago	0.80	0.61	15389.57	1.69	5.13	273460.96
	12-ago	0.80	0.22	5474.65	1.69	4.41	234768.18
	Prom.	0.71	0.26	5801.79	1.37	2.55	110398.65

En los cuadros 86, 87 y 88 se muestran los resultados obtenidos del monitoreo de los principales ríos de la subcuenca del río Quiscab, donde se presentan los caudales y sedimentos promedios de los 12 puntos donde se realizaron los aforos y toma de muestras de agua para la determinación de los sedimentos en suspensión contenidos en el caudal de los cauces.

El punto de aforo del río Hierbabuena presenta un promedio de arrastre de sedimentos de 517 ton/año, el río Xibalbay 41,112 ton/año, río Chuiscalera 42,321 ton/año, río Chuiscalera San José 2,980 ton/año, río Novillero Xiquel 25,419 ton/año, río Novillero puente 12,496 ton/año, río Novillero 5,623 ton/año, río Argueta 22,118 ton/año, río María Tecun 6,343 ton/año, río Xaquijya 778 ton/año, río Xibalbay la Cuchilla 5801 ton/año y el río Quiscab 110,398 ton/año.

De acuerdo a los valores anteriores el punto que presenta un mayor arrastre de sedimentos es el río Quiscab con 110,398 ton/año, ya que es el punto de aforo o desembocadura del río al lago de Atitlán, y el punto que muestra un menor arrastre de sedimentos en la subcuenca del río Quiscab es el río Hierbabuena 517 ton/año, esto se debe a que el río es pequeño en cuanto a su longitud y su ancho y caudal son menores en comparación a los otros puntos que se localizan en la parte alta de la subcuenca.

Cuadro 89 Resumen de los resultados obtenidos en el monitoreo del río Quiscab

Punto de Aforo	Área de drenaje (Ha)	Caudal anual promedio (m <sup>3</sup> /s)	Sedimentos en suspensión anual (g/L)	Sedimento total (Ton/año)	Sedimento perdido (Ton/ha/año)
Hierbabuena	186.20	0.0285	0.5753	517.06	2.78
Xibalbay	1390.40	1.5380	0.8476	41112.89	29.57
Chuiscalera	1006.10	1.5788	0.8500	42321.31	42.06
Chuiscalera San José	1073.00	0.1855	0.5094	2980.49	2.78
Novillero Xiquel	730.40	0.9643	0.8359	25419.17	34.80
Novillero Puente	1746.80	0.5642	0.7024	12496.17	7.15
Novillero Pueblo	2416.95	0.2614	0.6824	5623.97	2.33
Argueta	2785.25	0.9396	0.7465	22118.56	7.94
María Tecun	1053.95	0.3181	0.6524	6543.30	6.21
Xaquijya	803.30	0.0523	0.4724	778.98	0.97
Xibalbay La Cuchilla	1345.05	0.2574	0.7147	5801.79	4.31
Quiscab	1422.60	2.5491	1.3733	110398.65	77.60
Subcuenca del río Quiscab	15960.00	2.5491	1.3733	110398.65	6.92

Al unir los valores de arrastre de sedimentos del río Chuiscalera y Xibalbay suman un total de 83,434 Ton/año de sedimento arrastrado, estos dos cauces forman el último tramo del río Quiscab que tiene el máximo arrastre de sedimentos de 110,398 Ton/año, en el cual hay una diferencia de 26,964 Ton/año (24.42%), de sedimentos que el cauce principal del río Quiscab arrastra en su último tramo, el cual tiene un área aproximada de 1422 ha.

Al realizar el análisis de la información de cuanto sedimento que se pierden por microcuenca (Figura 72), se determina que el punto de muestreo del río Quiscab pierde aproximadamente 77.60 Ton/ha/año de suelo, lo cual es muy alto para un área tan pequeña (1422 Ha), ya que en este punto se está tomando todo el sedimento que se

pierde en la parte alta de la subcuenca. Por lo que el sedimento que pierde esta área es de 26,964 Ton/año, dando un valor de pérdida de suelo por hectárea de 18.95 Ton/ha/año, se logro determinar que al lago de Atitlán le ingresa un total de 110,398 Ton/año de sedimento perdido en toda el área dando una pérdida de sedimento por hectárea de 6.92 Ton/ha/año.

Los otros puntos de interés son las muestras que se tomaron en el río Novillero, para el primer punto de muestra que se tomo en el Aldea el Novillero presentó un arrastre de sedimentos de 5623 Ton/año, para el segundo punto que se localizó a 4 km de distancia aproximadamente su valor de arrastre de sedimentos aumento considerablemente ya que llevaba un 54.99 % más de sedimento (12,496 ton/año), y un tercer punto llamado Novillero Xiquel el cual se localiza a solo 2 km de distancia del punto 2, el arrastre de sedimentos fue de un 50.84 % (25,419 ton/año), mas que el punto denominado Novillero Puente, para lo cual existe una alta pérdida de suelo en el área.



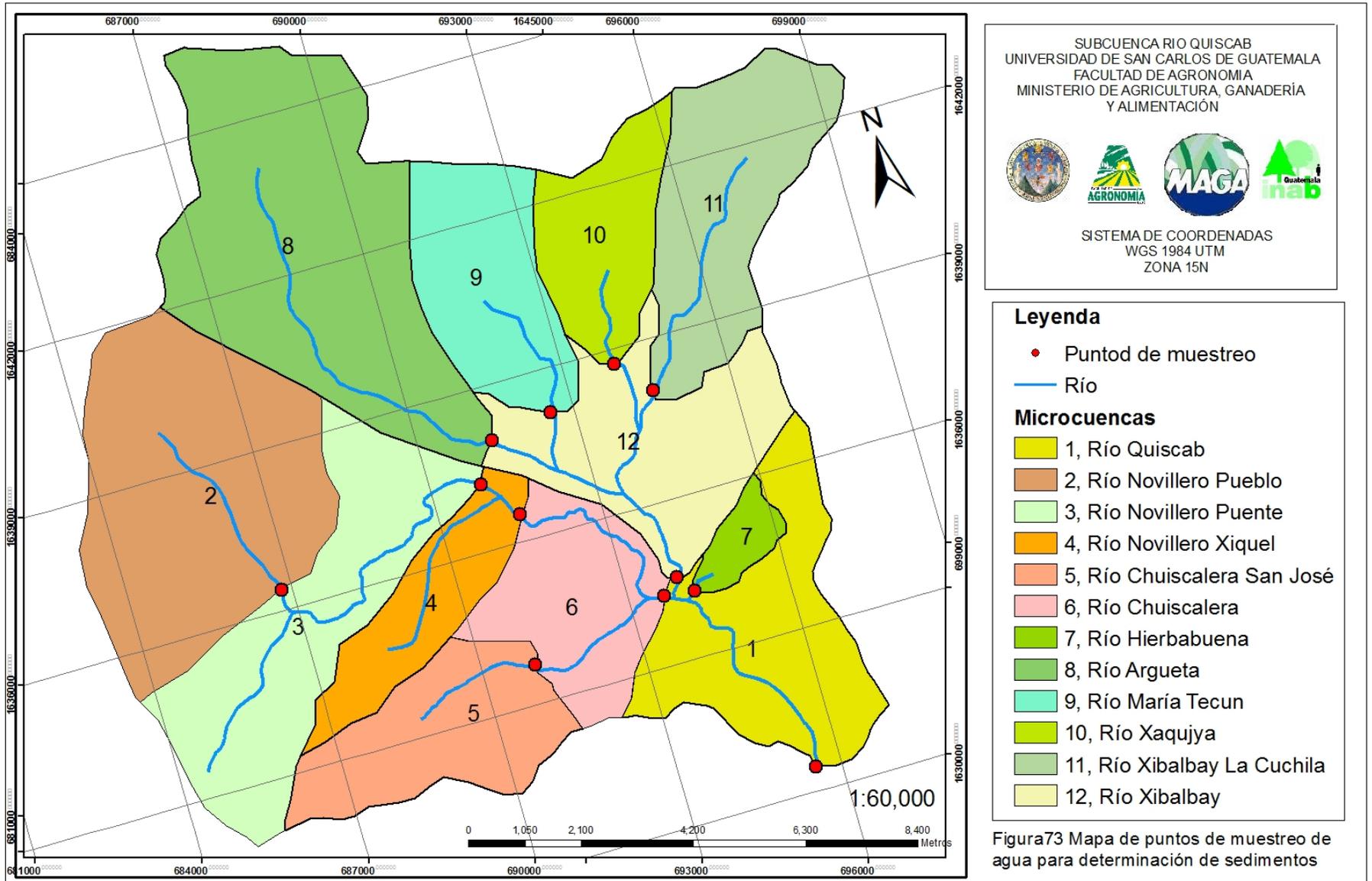


Figura 73 Mapa de puntos de muestreo de agua para determinación de sedimentos



#### 4. Bibliografía

1. Aparicio, M. 2001. Fundamentos de hidrología de superficie. México, Limusa. 303 p.
2. CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, GT). 2004. Informe Nacional de Áreas Protegidas de Guatemala. Castro E., F. y De León B, F. Guatemala. 58 p.
3. \_\_\_\_\_. 2008. Áreas protegidas: listado de áreas protegidas. Guatemala. Consultado nov 2008. Disponible en <http://conap.gob.gt:7778/conap/areas-protegidas/sigap/listado-areas-protegidas/>
4. Custodio, E; Llamas, MR. 2001. Hidrología subterránea. 2 ed. Barcelona, España, Ediciones Omega. v. 1-2, 2350 p.
5. Cruz, JR De la. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
6. Dix, M; Medinilla, O; Ríos, E; Castellanos, A. 2003. Diagnostico ecológico - social en la cuenca de Atitlán: descripción física. In Dix, M; I. Fortín, O. Medinilla y L. Ríos (editores). Diagnóstico ecológico - social en la cuenca de Atitlán. Guatemala, Universidad del Valle de Guatemala / The Nature Conservancy. 33 p.
7. Fetter, C. 2001. Applied hydrogeology. 4 ed. New Jersey, Estados Unidos. Prentice Hall. 598 p.
8. Fuentes Montepeque, JC. 2005. Determinación de principales áreas de recarga hídrica natural y de la calidad del agua en la microcuenca del río Cotón, Baja Verapaz. Tesis MSc. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 199 p.
9. García Benítez, S. 2005. Identificación de áreas de recarga hídrica natural en la microcuenca del río Tzulbá, Joyabaj, Quiché. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 91 p.
10. Herrera Ibáñez, I. 1995. Manual de hidrología. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 223 p.
11. \_\_\_\_\_. 2002. Hidrogeología práctica. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía / Red Centroamericana de Manejo de Recursos Hídricos. 190 p.
12. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1973. Mapa geológico de república de Guatemala; hoja Sololá, no. 1960 II. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
13. \_\_\_\_\_. 1973. Mapa topográfico de república de Guatemala; hoja Chichicastenango, no. 1960 I. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
14. \_\_\_\_\_. 1973. Mapa topográfico de república de Guatemala; hoja Santa Catarina Ixtahuacan, no. 1960 III. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.

15. \_\_\_\_\_. 1973. Mapa topográfico de república de Guatemala; hoja Sololá, no. 1960 II. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
16. \_\_\_\_\_. 1973. Mapa topográfico de república de Guatemala; hoja Totonicapán, no. 1960 IV. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
17. INE (Instituto Nacional de Estadística, GT). 2003. Censos nacionales XI de población y VI de habitación 2002. Guatemala. 38 p.
18. Inzunza, M. 2001. Los ríos: procesos erosivos (texto del Curso de manejo de suelos) (en línea). Chile, Universidad de Chile. 135p. Consultado el 20 de septiembre 2007. Disponible en <http://www.inzunza.uc.ac.cl/textos>.
19. Johnson, EE. 1975. El agua subterránea y los pozos. Minnessota, Estados Unidos, Johnson. 513 p.
20. Linsley, A. 1988. Hidrología para ingenieros. 2 ed. México, McGraw–Hill. 386 p.
21. Machorro, RA. 2001. Hidrología física, principios y aplicaciones. Guatemala, Sociedad Geológica Guatemalteca. 113 p.
22. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 1991. Plan maestro de riego y drenaje. Guatemala. 80 p.
23. \_\_\_\_\_. 2000. Mapas temáticos digitales de la república de Guatemala. Guatemala. Escala 1:250,000. 1 CD.
24. \_\_\_\_\_. 2001. Mapa fisiográfico - geomorfológico de la república de Guatemala, a escala 1:250,000 - memoria técnica- (en línea). Guatemala. Consultado 10 oct 2007. Disponible en <http://www.maga.gob.gt/sig>
25. Medina Silva, G. 2008. Transporte de sedimentos en río. Bogotá Colombia. Última revisión fue en Julio del 2003. Pagina Consultada el 10 de Marzo del 2009. se encuentra disponible <http://www.geocities.com/gsilvam/sedimentos.htm>
26. Monsalve Sáenz, G. 1999. Hidrología en la ingeniería. México, Alfaomega. 383 p.
27. Municipalidad de Santa Lucia Utatlán. 2002. Plan de desarrollo integral con énfasis en la reducción de la pobreza. 2002-2010. Departamento de Sololá, Guatemala.
28. Municipalidad de San José Chacaya. 2002. Plan de desarrollo integral con énfasis en la reducción de la pobreza. 2002-2010. Departamento de Sololá, Guatemala.
29. Municipalidad de Nahuala. 2006. Agenda de desarrollo municipal de Nahuala. 2006 Departamento de Sololá, Guatemala.

30. Muños Palacios, C. 1998. La conceptualización e identificación de zonas de recarga hídrica prioritarias a nivel nacional. Guatemala. 45 p. (Proyecto FAO-GCP/GUA/007/net).
31. Noriega Arriaga, JP. 2005. Determinación de las áreas principales de recarga hídrica natural en la microcuenca del río Sibacá, Chinique, Quiché. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 69 p.
32. Orozco, EO. 2003. Modelo matemático preliminar del valle aluvial de la Antigua Guatemala. Tesis MSc. Costa Rica, Universidad Nacional de Costa Rica / Escuela Centroamericana de Geología. 102 p.
33. Orozco, EO; Padilla, T; Salguero, M. 2003. Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía / Instituto Nacional de Bosques. 106 p.
34. Padilla, TA. 2003. Evaluación del potencial hídrico en la microcuenca del río Cantil, para el aprovechamiento de las aguas subterráneas en la finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla, Guatemala. Tesis MSc. Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 102 p.
35. Salguero, MR. 2007. Modulo de cuencas hidrográficas: diagnostico subcuenca río Quiscab. Sololá, Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 113 p. (sin publicar).
36. \_\_\_\_\_. 2002. Estudio hidrogeológico con fines de riego, de la cuenca del río Acomé, Escuintla, Guatemala. Tesis MSc. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 107 p.
37. Sandoval Illescas, JE. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 345 p.
38. Schosinsky, G. 2007. Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. Costa Rica, Escuela Centroamericana de geología / Universidad de Costa Rica. 18 p.
39. Schosinsky, G; Losilla, M. 2003. Notas del curso de hidrología con énfasis en balance hídrico: curso de capacitación. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 15 p.
40. Simmons, C; Tárano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación a nivel de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José De Pineda Ibarra. 1000 p.
41. Secretaria de la Presidencia, GT. 1997. Diagnostico departamento de Sololá (en línea). Guatemala. Consultado ene 2008. Disponible en <http://biblioteca.segeplan.gob.gt/glQuery.asp?titulo=diagnostico+solola&authors=&all=solola&material=&idioma=&orderBy=tituloorder%5Ba%5D&skin=&buscable=S>

42. SEGEPLAN (Secretaria General de Planificación, GT). 2006. Plan de reconstrucción y reducción de riesgos del departamento de Sololá, basado en el plan de desarrollo sostenible 2006–2007. Mansia V, A. (editora). Guatemala. 127 p. (sin publicar).
43. Vila, IC. 2003. Los sistemas acuáticos continentales. Su ontogenia natural acelerada por efecto antropico: La eutrofización y la salinidad. In El agua en iberoamérica Tópicos básicos y estudios de caso. Ed. Por Alicia Fernández Cirelli y Miguel Salgot. Buenos Aires, Argentina. CYTED. 143 p.
44. Weiss, C. 1971. Water quality investigations Guatemala, lake Atitlán 1968-1970. Carolina del Norte, Estados Unidos. University of North Carolina. 196 p.

## **Anexos 1**

### **Mapas de Pendiente, Isoyetas, Isotermas e Isopletas**



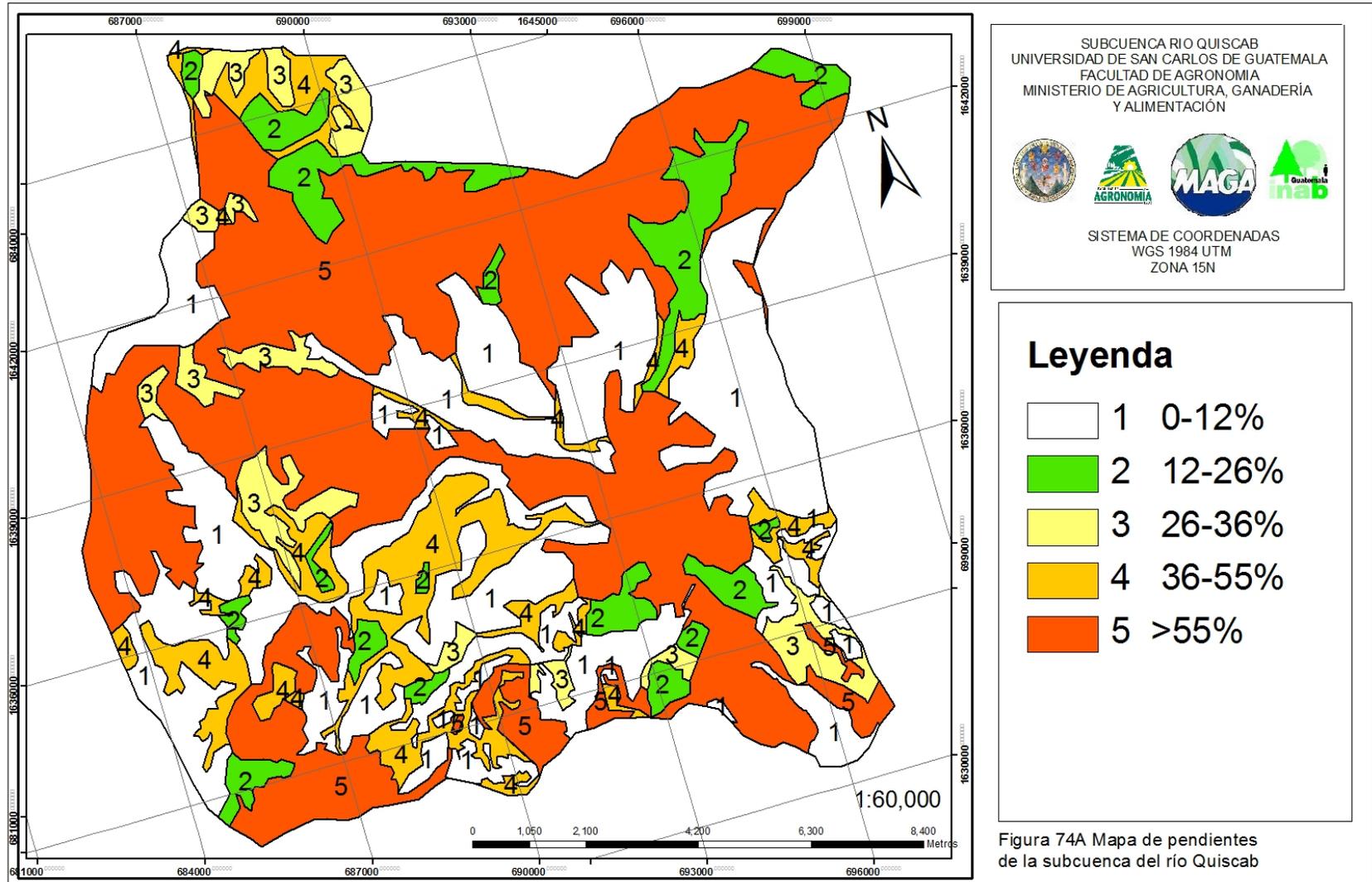


Figura 74A Mapa de pendientes de la subcuenca del río Quiscab



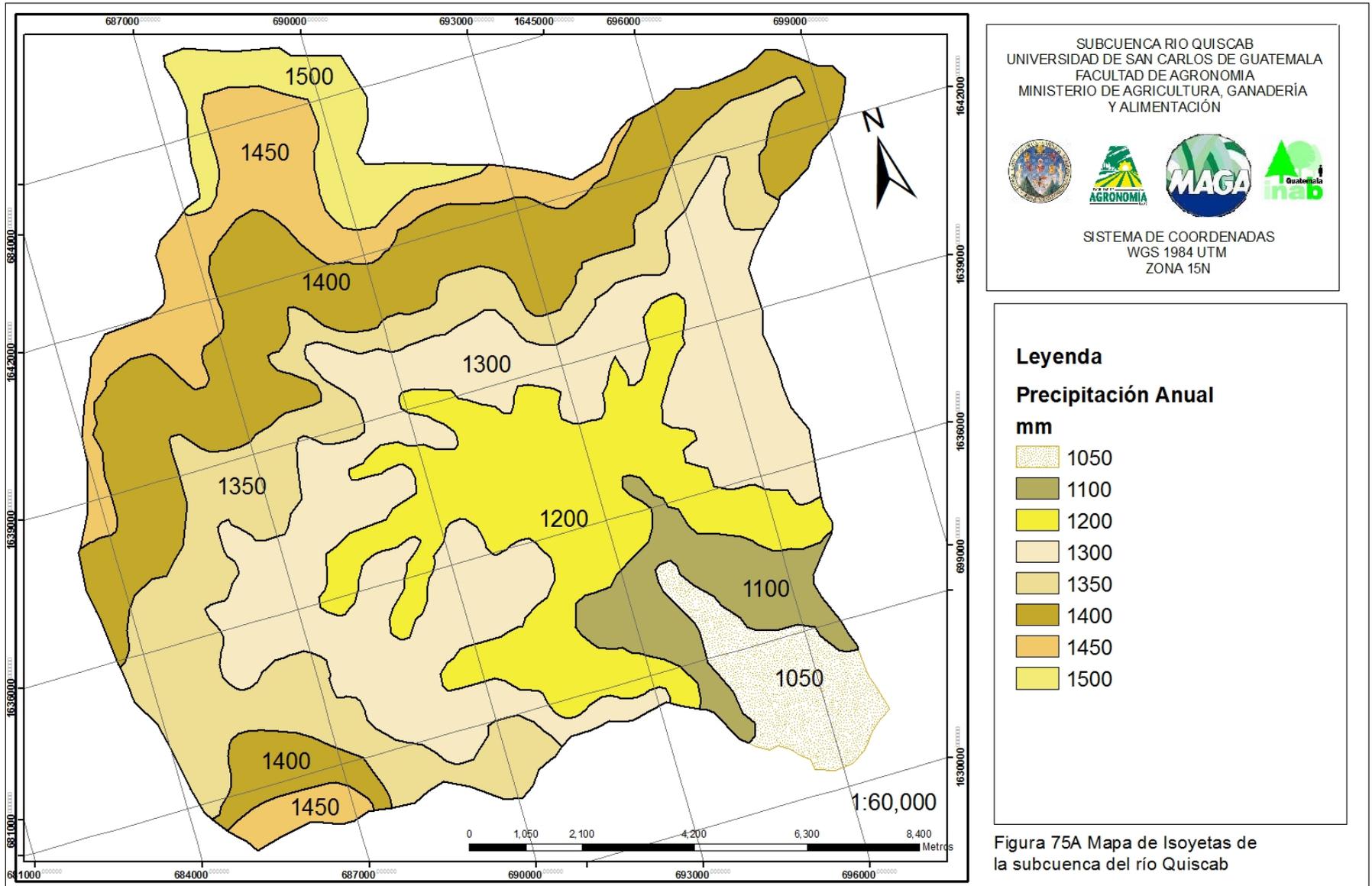


Figura 75A Mapa de Isoyetas de la subcuena del río Quiscab



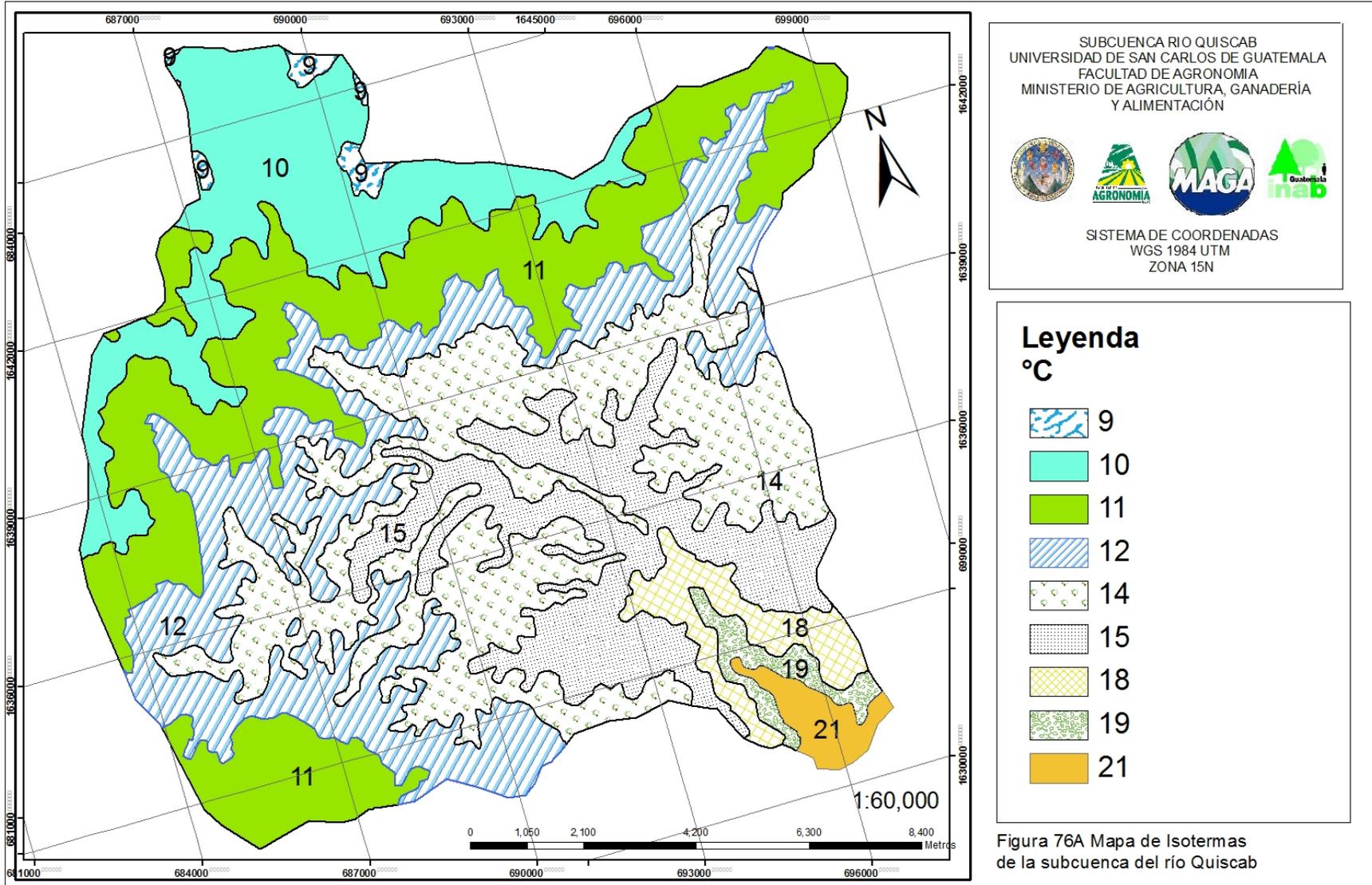


Figura 76A Mapa de Isothermas de la subcuenca del río Quiscab



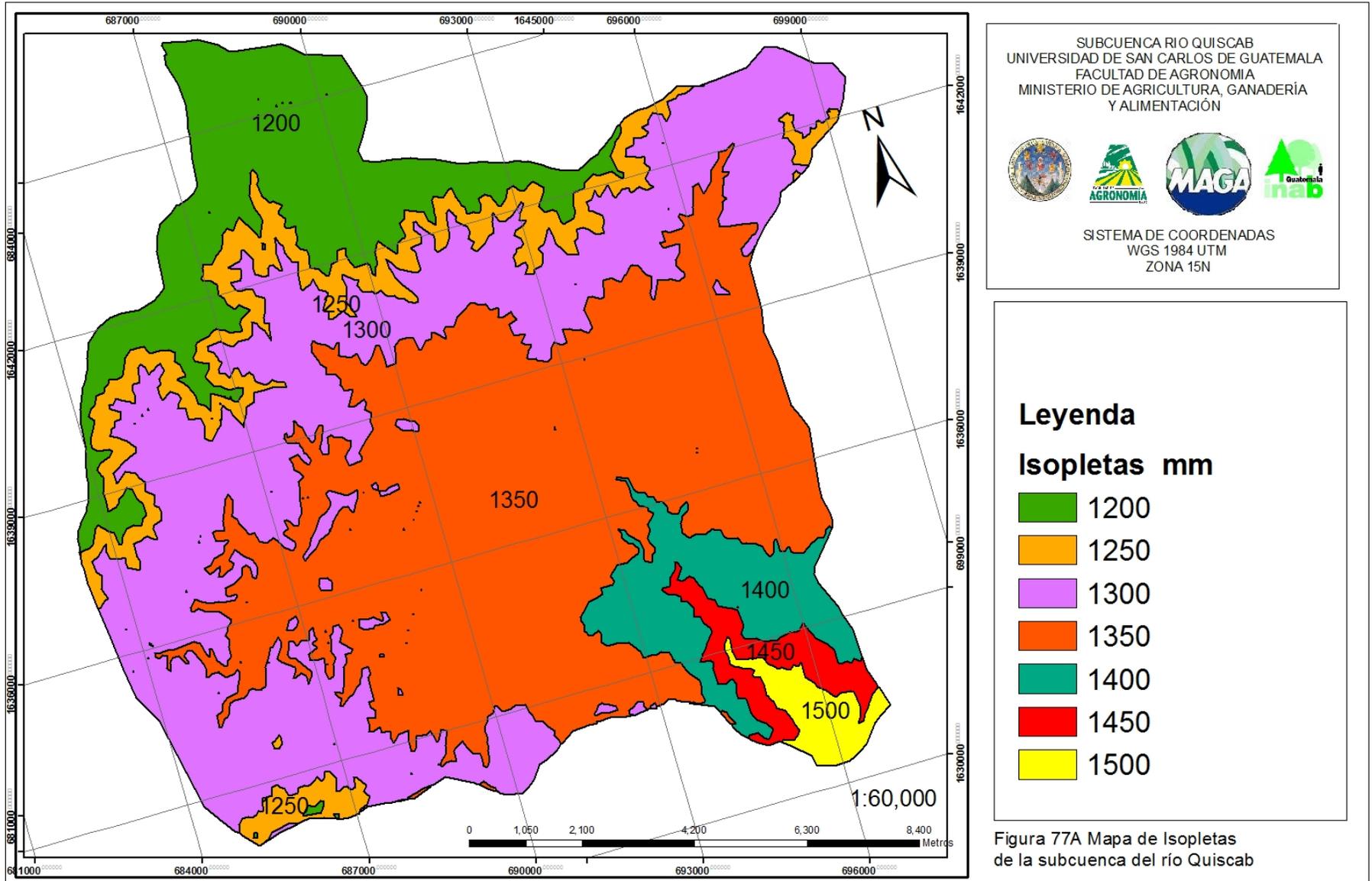


Figura 77A Mapa de Isopletas de la subcuenca del río Quiscab

